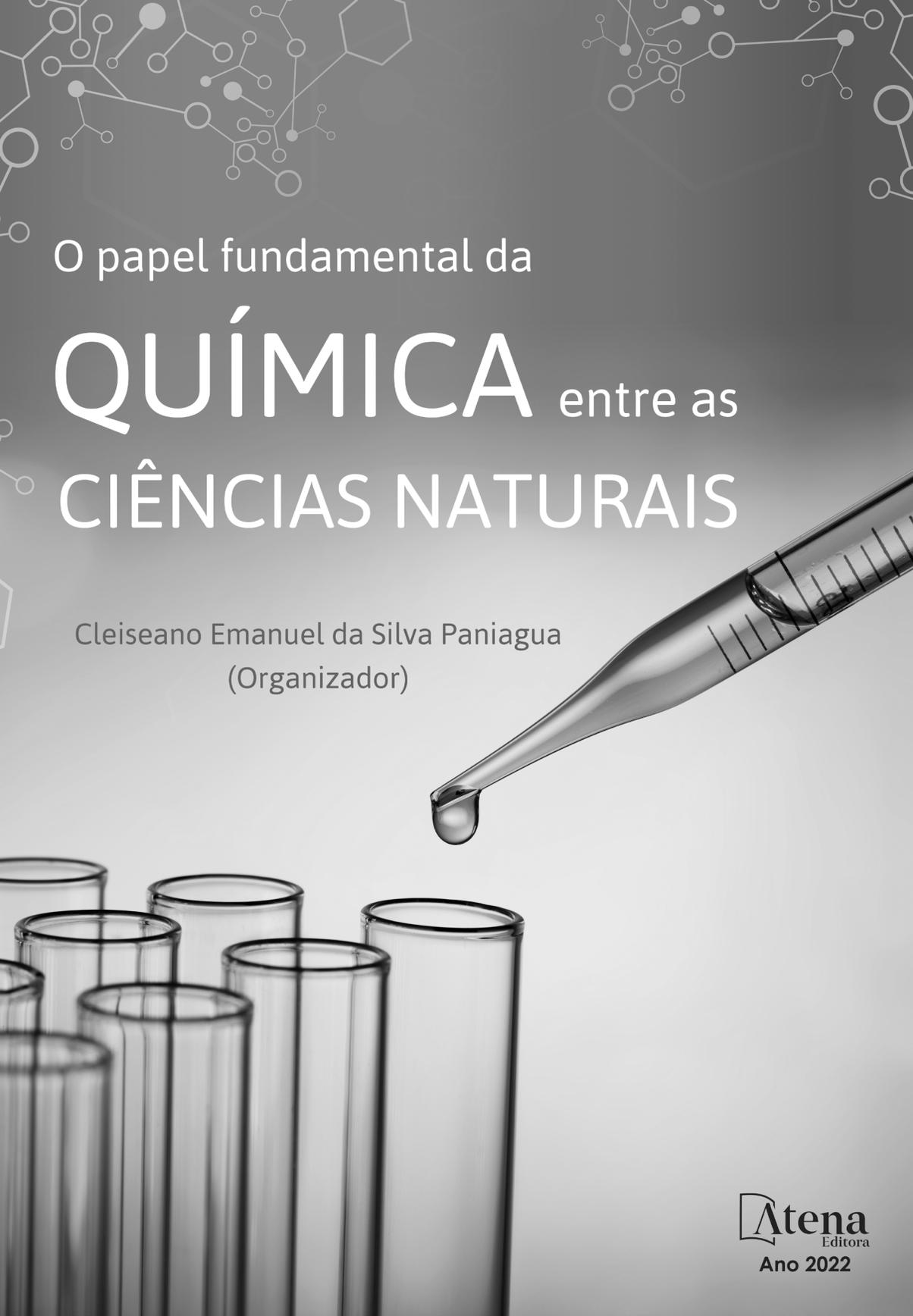
The background features a blue-to-white gradient with faint molecular structures and laboratory glassware. In the foreground, a glass dropper is positioned diagonally, releasing a single drop of liquid into a row of test tubes below it.

O papel fundamental da

QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



O papel fundamental da

QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



O papel fundamental da química entre as ciências naturais

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P214 O papel fundamental da química entre as ciências naturais /
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-950-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.506222202>

1. Química. 2. Ciências naturais. I. Paniagua, Cleiseano
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O e-book: “O papel fundamental da química entre as ciências naturais” apresenta vinte e sete capítulos de livros que foram organizados em quatro temáticas: *i)* química e sociedade: em busca da ressignificação e contextualização do processo de ensino-aprendizagem; *ii)* química orgânica e de produtos naturais; *iii)* síntese, caracterização e avaliação de materiais nanoestruturados e *iv)* química e remediação ambiental.

O primeiro tema é constituído por doze capítulos que procuraram avaliar o processo de ressignificação e contextualização do ensino de química a partir: *i)* da percepção dos estudantes em relação ao consumo de água; *ii)* o ensino de química por meio de projetos; *iii)* a visão do aluno em relação ao processo de aprendizagem; *iv)* utilização de recursos tecnológicos e midiáticos como ferramentas facilitadoras no processo de aprendizagem; e *v)* utilização de materiais alternativos para a experimentação no ensino de química.

O segundo tema possui seis capítulos que procuraram avaliar o desempenho de novas substâncias químicas com inúmeras propriedades biológicas, entre as quais: a redução do número de larvas do mosquito *Aedes Aegypti*, bem como propriedades anti-inflamatória, antimicrobiana entre outras de interesse biológica. O terceiro tema é constituído por três capítulos que investigaram a síntese de nanopartículas de polianilina para composição de tintas utilizadas na impressão e do mineral hidroxiapatita. Por fim, o último tema é composto por seis capítulos que investigaram a remediação ambiental que se utilizou de resíduos de biomassa para remoção de metais pesados, a síntese de nanopartículas de sílica para a remoção de Ba^{2+} em matrizes aquosas, remediação de efluente contaminado com cádmio e chumbo e a aplicação de diferentes Processos Oxidativos Avançados para remoção de contaminantes.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos que são disponibilizados de forma gratuita no site da Editora e em outras plataformas digitais.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

QUÍMICA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE: UMA ABORDAGEM SOBRE O LIXO

Kalebe Pinheiro Ramos
Alice Pantoja Trindade
Brennda Monteiro Gama
Fabricia Oliveira da Silva
Laura Cristina Ponte Moraes
Mateus de Jesus Silva Matos
Ruan Brandão Quintela
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos
Filipe dos Anjos Queiroz
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222021>

CAPÍTULO 2..... 10

CARACTERIZAÇÃO DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NA CONCEPÇÃO DE LICENCIANDOS EM QUÍMICA QUE DIFICULTAM O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO PROFISSIONAL DOCENTE

Graziele Borges de Oliveira Pena
Nyuara Araújo da Silva Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222022>

CAPÍTULO 3..... 34

A QUÍMICA E O USO CONSCIENTE DA ÁGUA: PERCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DE ESCOLA DA REDE PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG

Luísa Resende Lobato de Almeida
Carlos Alexandre Vieira
Alexandre Fernando da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222023>

CAPÍTULO 4..... 42

CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS DAS METODOLOGIAS DE PROJETOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Luiz Gabriel Araújo da Fonseca
Maria Fabiana Sousa Rosa
Ronilson Freitas de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222024>

CAPÍTULO 5..... 52

ENSINO DE QUÍMICA: INVESTIGAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE APRENDIZADO SEGUNDO A VISÃO DOS ALUNOS

Alan Stampini Benhame de Castro
Hauster Maximiler Campos de Paula
Cristiana Resende Marcelo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222025>

CAPÍTULO 6..... 70

**CONSTRUÇÃO DE JOGOS LÚDICOS E BRINQUEDOS A PARTIR DE GARRAFAS PET'S:
UM PROJETO DE AÇÃO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE PARINTINS, AM**

Clailson Lopes dos Santos
Gabriela Rodrigues Conceição
Ivan Souza Tavares
Pedro Campelo de Assis Junior
Raymara Fonseca dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222026>

CAPÍTULO 7..... 80

CONSTRUÇÃO DE UM KIT ALTERNATIVO PARA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE

Adriano Olímpio da Silva
Regiane Auzier Coelho
Valeria Lopes Amorim
Luciane Lasle Cordeiro da Silva
Rosângela da Silva Lopes
Aline Alves dos Santos Naujorks

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222027>

CAPÍTULO 8..... 89

**INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS PARA AULAS PRÁTICAS DE QUÍMICA NO ENSINO
REMOTO**

Alcy Favacho Ribeiro
Anderson Rogério Beltrão Franco
Geane da Silva de Souza
Karla do Socorro Ramos Gatinho
Natasha de Jesus Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222028>

CAPÍTULO 9..... 100

**APLICAÇÃO DO CONTEÚDO DE RADIOATIVIDADE E SUA INTERDISCIPLINARIDADE
ATRAVÉS DE UM JOGO LÚDICO NO ENSINO REMOTO**

Celine Eveli Teixeira de Barros
Yasmim dos Santos Barros
Alexsandro Sozar Martins
Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte
Kelly das Graças Fernandes Dantas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222029>

CAPÍTULO 10..... 107

**O USO DE MÁSCARAS COMO TEMA PARA AULA DE GASES E DIVULGAÇÃO
CIENTÍFICA NO CONTEXTO DA PANDEMIA DE COVID-19**

Igor Andrade Ribeiro
Poliane Moreira Pereira
André Luigi Soares de Souza
Matheus Conceição Jacaúna

Rosenir Xavier Tavares
Jackson Guerreiro de Almeida
Crisquelen Guimarães de Souza
José Nilton Almeida da Silva Filho
Alex Izuka Zanelato
Ataiany dos Santos Veloso Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220210>

CAPÍTULO 11..... 111

O ENSINO DE CHUVA ÁCIDA POR MEIO DE MÍDIAS DIGITAIS

Alice Pantoja Trindade
Brennda Monteiro Gama
Fabricia Oliveira da Silva
Kalebe Pinheiro Ramos
Laura Cristina Ponte Moraes
Mateus de Jesus Silva Matos
Ruan Brandão Quintela
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos
Filipe dos Anjos Queiroz
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220211>

CAPÍTULO 12..... 119

O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA POR MEIO DE JOGOS E SIMULADORES DIGITAIS

Fabricia Oliveira da Silva
Alice Pantoja Trindade
Brennda Monteiro Gama
Kalebe Pinheiro Ramos
Laura Cristina Ponte Moraes
Mateus de Jesus Silva Matos
Ruan Brandão Quintela
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos
Filipe dos Anjos Queiroz
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220212>

CAPÍTULO 13..... 126

DESENVOLVIMENTO DE UM CARBOIDRATO CONTENDO UMA UNIDADE ACEPTORA DE MICHAEL APLICADO NO COMBATE ÀS LARVAS DO MOSQUITO AEDES AEGYPTI

Herbert Igor Rodrigues de Medeiros
Rodrigo Ribeiro Alves Caiana
Rayane de Oliveira Silva
Jonh Anderson Macêdo Santos
Cláudia Laís Araújo Almeida Santos
Juliano Carlo Rufino de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220213>

CAPÍTULO 14..... 138

MOLECULAR INTERACTION PROFILES OF SOLIDAGENONE WITH INFLAMMATORY MARKERS

Simone Sacramento Valverde
Bruna Celeida Silva Santos
Temistocles Barroso de Oliveira
Orlando Vieira de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220214>

CAPÍTULO 15..... 146

ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE SUBSTÂNCIAS ISOLADAS DE *Usnea steineri* FRENTE A FITOPATÓGENOS

Lucas Silva Cintra
Marcos Gomide Tozatti
Maria Anita Lemos Vasconcelos
Carlos Henrique Gomes Martins
Márcio Luis Andrade e Silva
Ana Helena Januário
Patricia Mendonça Pauletti
Wilson Roberto Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220215>

CAPÍTULO 16..... 160

USO DE PROCESSOS MULTICOMPONENTES NA SÍNTESE DE NOVOS PEPTOIDES DE INTERESSE BIOLÓGICO

Paulo Marcos Donate
Mike Gustavo Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220216>

CAPÍTULO 17..... 172

REAÇÃO DE DEBUS-RADZISZEWSKI – RELEVANTE METODOLOGIA PARA A SÍNTESE DE 1,3-IMIDAZÓIS E 1,3-OXAZÓIS

Sidney Silva Simplicio
Victória Laysna dos Anjos Santos
Cristiane Costa Lima
Matheus Vieira Castro
Arlan de Assis Gonsalves
Cleônia Roberta Melo Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220217>

CAPÍTULO 18..... 189

ATUAÇÃO DOS NEUROTRANSMISSORES NO COMBATE À ANSIEDADE NO CENÁRIO DA PANDEMIA

Wallyson Oliveira de Sousa
Danilo Batistuta da Silva Lopes
Alexsandro Sozar Martins
Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte

Kelly das Graças Fernandes Dantas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220218>

CAPÍTULO 19..... 196

ANÁLISE DE FATORES QUE MELHORAM O ÍNDICE DE FLUIDEZ EM POLIPROPILENO

Juliano Antonio Frizzo

Andrei Goldbach

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220219>

CAPÍTULO 20..... 204

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE POLIANILINA PARA USO EM TINTAS DE IMPRESSÃO

Cristiane Krause Santin

Manuela Arend Prediger

Tatiana Louise Avila de Campos Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220220>

CAPÍTULO 21..... 211

AVALIAÇÃO DA ROTA DE SÍNTESE PARA OBTENÇÃO DE HIDROXIAPATITA NANOESTRUTURADA

Thaíla Gomes Moreira

Kaline Melo de Souto Viana

Amanda Melissa Damião Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220221>

CAPÍTULO 22..... 218

MONITORAMENTO DE RESÍDUOS DE ANTIBIÓTICOS EM LEITE PRODUZIDOS EM SERGIPE E COMERCIALIZADO NA CIDADE DE ARACAJU

Gislaine Santos Santana Leal

Adalberto Menezes Filho

Antônio Sérgio Oliveira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220222>

CAPÍTULO 23..... 228

REMOÇÃO DE METAL PESADO POR BIOMASSA OBTIDA A PARTIR DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Helder Lopes Vasconcelos

Isamara Godoi

Divair Christ

Débora Danielle Virginio Silva

Maria das Graças Almeida Felipe

Luciane Sene

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220223>

CAPÍTULO 24..... 239

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE SÍLICA

MESOPOROSA PARA REMOÇÃO DE Ba²⁺ DE MEIO AQUOSO

Daniel Walker Tondo

Caroline Mayara Meurer Reolon

Renata Mello Giona

Alessandro Bail

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220224>

CAPÍTULO 25.....252

REMEDIAÇÃO DE EFLUENTE CONTAMINADO COM CÁDMIO E CHUMBO: UMA ABORDAGEM ECO AMIGÁVEL

Ana Lúcia Eufrázio Romão

Katiany do Vale Abreu

Dalila Maria Barbosa Davi

Maria Roniele Félix Oliveira

Carlos Emanuel Carvalho Magalhães

Carlucio Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220225>

CAPÍTULO 26.....265

DETECÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E DEGRADAÇÃO EMPREGANDO DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA REMOÇÃO DOS FÁRMACOS GEMFIBROZIL, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220226>

CAPÍTULO 27.....280

PROCESSO FOTO-FENTON E FOTO-FENTON SOLAR: FUNDAMENTOS, APLICAÇÃO E PANORAMA CIENTÍFICO

Aline Aparecida Carvalho França

Carlos Ernando da Silva

Leonardo Madeira Martins

Ludyane Nascimento Costa

Gabriel e Silva Sales

Felipe Pereira da Silva Santos

Ana Karina Borges Costa

Kerlane Alves Fernandes

José Milton Elias de Matos

José Luiz Silva Sá

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220227>

SOBRE O ORGANIZADOR.....295

ÍNDICE REMISSIVO.....296

CAPÍTULO 1

QUÍMICA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE: UMA ABORDAGEM SOBRE O LIXO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 08/11/2021

Kalebe Pinheiro Ramos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2610436372756651>

Alice Pantoja Trindade

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/7829585293947820>

Brennda Monteiro Gama

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/0814104342040115>

Fabricia Oliveira da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/6461211985388062>

Laura Cristina Ponte Moraes

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/3731395740595256>

Mateus de Jesus Silva Matos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/5603144449198853>

Ruan Brandão Quintela

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/9512631311733450>

Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2365914824078283>

Filipe dos Anjos Queiroz

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8057189662871112>

Francisco Diniz da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8562429127078586>

RESUMO: O presente trabalho tratou da temática “lixo” como tema facilitador no aprendizado de química para alunos do ensino médio da E. E. Prof. Nancy Nina da Costa, tendo como objetivo a compreensão da disciplina por parte dos alunos utilizando de um conteúdo presente no cotidiano, utilizando de mídias digitais para aulas remotas, para exemplificar assuntos relacionados ao tema presentes na grade curricular dos alunos, aplicando vídeo experimental para reprodução por parte dos estudantes e questionário referente ao experimento realizado, ainda foram enviadas aos alunos mais duas atividades, os resultados obtidos apresentados em forma de gráficos para parâmetros quantitativos e qualitativos na aplicação das atividades se mostraram plenos, tendo em vista o alcance efetivo dos objetivos propostos inicialmente.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia; lixo; química.

ABSTRACT: The present work dealt with the

theme “garbage” as a facilitating theme in the learning of chemistry for high school students at E. E. Prof. Nancy Nina da Costa, aiming at the understanding of the subject by the students, using content present in everyday life, using digital media for remote classes, to exemplify issues related to the topic present in the students’ curriculum, applying experimental video for reproduction by the students and a questionnaire referring to the experiment carried out, two more activities were sent to the students, the results obtained presented in graph form for quantitative and qualitative parameters in the application of the activities, in view of the effective reach of the proposed objectives initially.

KEYWORDS: technology; garbage; chemistry.

1 | INTRODUÇÃO

A problemática no que se refere ao lixo ainda se faz notória nos dias de hoje, e quem é responsável por ele? a ciência? a sociedade? a indústria? a química? mas o que exatamente essa palavra significa? Segundo Santos e Mól (2005, p. 9) “[...] são restos de tudo aquilo que fazemos, no nosso dia-a-dia, e que consideramos inútil, indesejável ou descartável [...]”. Ou seja, o lixo está presente integralmente no nosso cotidiano, em tudo aquilo que pegamos, comemos, bebemos e usamos, tudo pode se tornar lixo cedo ou tarde; mas qual a relação do lixo com a química?

Ao falar sobre o lixo como tema gerador, logo remete-se a Educação Ambiental (EA), onde a mesma dispõe de grande visão de temas inseridos no cotidiano do indivíduo, essenciais para formar cidadãos com caráter crítico. Já que o ensino de Química nos dias atuais tem abordado conceitos sem nenhuma relação com o cotidiano do aluno, o que dificulta a compreensão de uma situação-problema (SANTOS *et al.*, 2011).

Desse modo, ao abordar um tema inserido no dia-a-dia do aluno, traz à tona um interesse significativo para o processo de ensino-aprendizagem da química já que, o mesmo não estará mais preso apenas a fórmulas e cálculos, e agora passa a interagir com algo já conhecido no seu meio social.

O estudo da química adquire um papel de suma importância no que se refere ao lixo, pois a partir da mesma podem-se obter diferentes técnicas de tratamento para esta problemática, dentre estas técnicas estão: aterros sanitários, aterros controlados, incineração, compostagem, reciclagem e ainda a coleta seletiva, a qual recupera cerca de 90% dos materiais para a reciclagem e se mostra eficiente para uma ação comunitária (SANTOS, MOL, 2005).

Faz-se necessário criar uma ponte entre o conhecimento científico e o contexto sociocultural do aluno, pois desta forma o aluno pode desenvolver uma visão mais ampla dos problemas sociais, econômicos e ambientais que o cercam, e que tira o aluno da posição de espectador passivo e o põe frente aos problemas sócias, tornando-o apto para elaborar técnicas de solução para esses problemas, desenvolvendo assim o seu senso crítico de forma efetiva (SANTOS *et al.*, 2012).

A questão do lixo atinge de forma geral a vida de toda a população mundial, direta ou indiretamente, sem exceções, por isso torna-se um tema gerador com potencial de aprendizagem contextualizada alto.

Do ponto de vista ambiental, mostra aos alunos os pontos positivos, como reciclagens e reutilização de materiais e os pontos negativos, como a poluição e contaminação do solo e água. Já do ponto de vista pedagógico, a abordagem do tema possibilita a aprendizagem de assuntos relacionados a química tendo como porta de entrada o tema lixo, assim o aluno poderá ser capaz de aprender os processos químicos presentes no tema já contextualizado no seu ambiente sociocultural, e ainda compreender os impactos ambientais, sociais, políticos e econômicos que esse problema gera. (SANTOS *et al.* 2011)

Para a oficina proposta, foram abordados os assuntos presentes na grade curricular dos alunos do ensino médio da Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa, tendo como ponto de partida o tema “lixo”, utilizando de explicação teórica e exemplificação através de experimentação para melhor compreensão dos assuntos tratados.

Justifica-se a aplicação deste trabalho por meio de experimentos e mídias digitais, em virtude de se observar a constante coleta de lixo feita de forma inadequada no cotidiano escolar, que deve ser um ambiente onde se aprenda tais práticas que seguirão para a vida dos alunos, e ainda para incentivar um interesse por parte dos mesmos para com a disciplina de química, usando de artifícios simples e comuns na vida destes discentes, os quais possuem uma visão limitada sobre a disciplina, associando a mesma a somente fórmulas e estruturas, esquecendo-se que esta apresenta ainda um caráter socioambiental, para formar cidadãos com plena consciência sobre os impactos que o descarte incorreto de resíduos pode provocar.

Esta oficina tem como objetivo, a compreensão de assuntos de química usando o tema “lixo” como objeto motivador à aprendizagem por se tratar de um assunto presente no dia-a-dia do aluno, e outros objetivos como conscientizar os alunos sobre os impactos (positivos e negativos) que o lixo causa no meio social do mesmo e ainda mostrar como a química se posiciona com relação a essa problemática.

Ao final da oficina foi proposta a confecção de uma coleta seletiva de lixo pelos alunos. Esta proposta torna-se importante tanto para uma visão tanto econômica quanto ambiental, pois, através dela pode-se obter a economia de matéria-prima, energia e ainda diminuir a poluição do solo e da água, reaproveitando o lixo e usando da coleta seletiva um incentivo para reduzir o descarte incorreto dos rejeitos usados, e maximizar a reutilização destes diminuindo assim os impactos negativos na sociedade (RIBEIRO, LIMA 2000)

2 | METODOLOGIA

O objeto deste estudo foi desenvolvido na E. E. Prof. Nancy Nina da Costa, no ano letivo de 2020/2021 em turmas de 1º e 2º ano e EJA - etapas A e B, totalizando 6 turmas

(duas turmas de cada ano), no turno da noite nos horários de 19:00 – 19:40 e 19:40 – 20:00. O tema foi proposto as turmas com o intuito de salientar aos alunos e conscientizá-los sobre o papel da química diante da problemática proposta, criando uma relação entre o aprendizado da disciplina com o problema.

Em primeiro momento foi ministrada via Google Meet a introdução aos assuntos relacionados ao tema da oficina como: “transformações químicas no lixo”, “propriedades das substâncias”. Após a introdução, foram explicados os assuntos referentes ao tema utilizando do material preparado pelo professor, onde estão inclusos: slides e vídeos como material complementar. Em seguida, foram enviados aos alunos 3 vídeos de experimento simples com materiais de fácil acesso e explicações teóricas de assuntos tratados em sala, preparados pelo próprio professor.

No 1º vídeo, o professor executou uma série de experimentos simples, com o intuito de identificar a ocorrência de uma reação química, utilizando de materiais encontrados em casa. Para avaliação os alunos deveriam reproduzir o experimento executado pelo professor, de forma individual, a partir de um roteiro experimental previamente entregue aos mesmos, onde eles enviaram o procedimento em vídeo para o professor juntamente das respostas referentes ao experimento.

No 2º vídeo, foi demonstrado e explicado como ocorrem os fenômenos químicos e físicos, exemplificando com materiais encontrados no próprio lixo, posteriormente foi proposto aos alunos, gravar exemplos de antes e depois de materiais que sofreram transformações físicas e químicas e explicar qual a diferença entre elas.

No 3º vídeo, tratou-se de forma breve a respeito da coleta de lixo e da forma como a mesma é feita nas escolas, ensinando assim a respeito das diferentes formas de tratamento de lixo. Foram feitos questionamentos como: como separar o lixo? Como saber quando o lixo é reciclável ou não? E ao final desse vídeo, foi preparado um pequeno tutorial de como construir seu próprio lixeiro utilizando balde de manteiga, o que serviu de base para a segunda tarefa avaliativa da oficina.

Posteriormente, foi proposto aos alunos a confecção de barris de lixo em suas próprias casas utilizando de baldes plásticos ou latões e do tutorial que foi enviado aos alunos, e instalá-los perto de um ponto de lixo, novamente tendo como provas da conclusão da atividade fotos ou vídeos gravados.

Por fim, foi feita a aplicação de um questionário, contendo 6 questões dissertativas e objetivas, relacionadas aos conteúdos ensinados e aos procedimentos demonstrados em vídeos, sendo este questionário aplicado de forma online com prazo de entrega de 7 dias via Whatsapp, tendo como objetivo avaliar o conhecimento absorvido pelos alunos no decorrer da realização da oficina, para a coleta de dados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Partindo-se dos dados coletados nas oficinas propostas aos alunos das turmas de 1º e 2º ano e EJA etapas A e B da Escola Estadual Professora Nancy Nina Da Costa, entende-se que estes resultados são, de acordo com a literatura, de suma importância para o corpo do presente trabalho pois, é onde se mostra o entendimento de informações obtidas direta ou indiretamente com a aplicação da oficina (MARCONI E LAKATOS, 2003).

A princípio, afim de determinar o grau inicial de conhecimento dos alunos acerca dos assuntos, ainda em sala foi feito questionamentos para se obter respostas imediatas. Alguns desses questionamentos foram: “a química está a serviço do bem ou do mal?”; “o que o lixo tem a ver com a química?”; “você sabem qual a diferença entre transformações físicas e químicas?”. Com isso foi possível obter uma base do conhecimento e assim trabalhar em cima da mesma para melhor desenvolvimento da oficina.

Após as explicações teóricas dadas em sala de aula online, foram enviados aos alunos via grupo Whatsapp 3 atividades para serem entregues no prazo de uma semana. Vale ressaltar que as mesmas atividades foram enviadas para as 6 turmas, com isso serão aqui analisadas as entregas e respostas em geral de todas as turmas juntas.

A primeira atividade consistiu em uma prática de uma série de experimentos simples, onde os alunos fizeram observações e responderam às questões propostas ao final do roteiro experimental. Segue a abaixo o gráfico de respostas classificadas em: correta, parcialmente correta e incorreta, levando em conta o número geral de alunos na turma e o número de alunos que participaram da oficina.

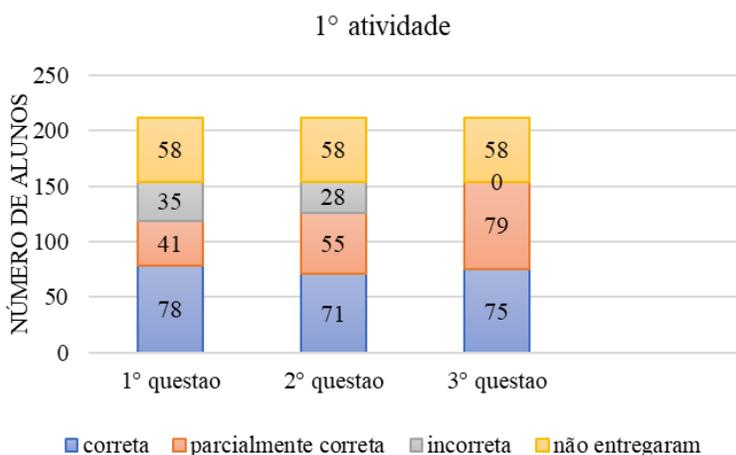


Gráfico 1- Respostas para a 1º atividade.

O número total de alunos nas turmas em que a oficina foi aplicada foi de 212 alunos,

dos quais cerca de 58 alunos não entregaram essa primeira atividade (pois, alguns alunos estavam presentes na aplicação, porém ainda assim não se interessaram em participar e resolver as atividades), o que mostra que a oficina foi aplicada parcialmente ou em sua totalidade para 154 alunos no total. Onde nesta primeira atividade é possível observar a assertividade de mais de 50% para a 1ª questão do roteiro experimental (levando em conta a participação dos alunos), pois foram respostas baseadas no acompanhamento do experimento e conceitos tratados em sala.

Já para as duas questões seguintes a taxa de acertos decaiu, devido ao fato de serem respostas baseadas em observações após o experimento com justificativas dos fenômenos, o que varia de aluno para aluno e em alguns casos até mesmo surgem respostas incongruentes (respostas parcialmente corretas e incorretas da 2ª questão). Nota-se ainda a falta de respostas incorretas para a 3ª questão, isso se deve ao fato de que os alunos conseguiram ditar pelo menos um critério válido para embasamento das respostas das questões anteriores, o que já caracteriza a questão como no mínimo parcialmente correta.

Essa prática experimental mostrou seu valor relevante para o entendimento do assunto de transformações físicas e químicas e a observação da ocorrência de reações químicas, pois grande parte dos indivíduos sabiam o que iria acontecer, mas foi apenas depois das observações feitas que conseguiram entender os processos que levam a esses acontecimentos. As práticas experimentais se tornam necessárias para o ensino da química em sala de aula, pois a utilização dessas práticas desafia as concepções previamente adquiridas pelo aluno, incentivando-o a reorganizar as teorias formadas empiricamente (MORTIMER, 1992)

Para a segunda atividade foi proposta a confecção de recipientes para resíduos, onde os alunos utilizaram de baldes plásticos, latas de tinta ou massa, garrações de água e até mesmo caixotes de madeira. Dentre as 3 atividades repassadas aos alunos, esta apresentou o menor grau de participação, da qual apenas 96 alunos se dispuseram a construir seu próprio recipiente 116 não entregaram o que foi proposto.

Contudo mesmo com a participação geral da turma se mostrando menor do que 50%, os resultados para os alunos que fizeram se mostraram satisfatórios, pois os alunos que entregaram demonstraram ânimo mediante a dinâmica diferenciada, onde foi possível obter comentários como “gostei da prática, vou utilizar na minha casa”, “vou instalar em frente à minha casa e até mesmo na escola”. Para o estudante, realizar tais práticas comprova o que aprendeu com o que foi passado em sala (tutorial enviado aos alunos), o que torna o ensino atraente e interessante (CARDOSO E COLINVAUX, 2000).

A terceira atividade consistiu em um questionário de 6 questões referentes a tudo que foi tratado na oficina desde as transformações químicas e físicas, métodos de separação até a opinião pessoal dos estudantes sobre a oficina e o que acharam da metodologia aplicada. O gráfico abaixo mostra um aparato geral para cada questão da atividade.

Assim como na primeira atividade, nesta também alguns alunos não se interessaram

em participar, contudo nota-se que o número de alunos que não entregaram essa atividade diminuiu em relação a primeira, isso porque houve alunos que participaram parcialmente da oficina entregando uma ou duas atividades e houve aqueles que participaram 100% da oficina fazendo tudo o que foi proposto.

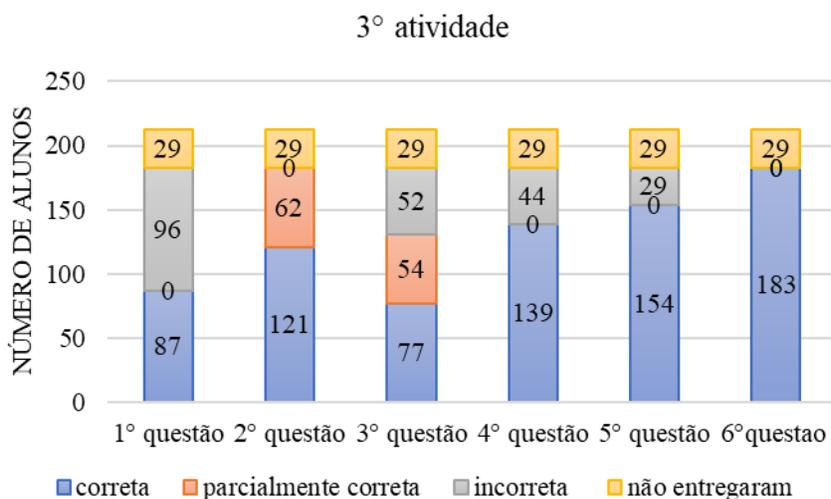


Gráfico 3- Respostas para a 3ª atividade.

Analisando os dados obtidos, nota-se a inexistência de respostas parcialmente corretas e um grande número de respostas incorretas para a primeira questão, isso se deve ao fato de que muitos alunos interpretaram a questão de forma errada, onde em seu comando pedia-se para classificar, porém alguns alunos assinalaram com um “x” na questão, o que caracterizou a resposta como incorreta. Para a segunda questão observou-se também que não houveram respostas incorretas, já que os alunos conseguiram descrever pelo menos um exemplo de outras reações que ocorrem no dia-a-dia, o que foi exatamente o que se pediu.

Já para as questões 4 e 5, tem-se também a ausência de respostas parcialmente corretas, isso porque se tratavam de perguntas objetivas, onde poucos alunos erraram a alternativa. A questão 6 foi elaborada como uma forma de feedback, os alunos deram suas opiniões em rápidas palavras, por isso não foram consideradas respostas parcialmente corretas e nem incorretas.

Buscou-se através das 3 atividades unir a prática, dinamização e a avaliação quantitativa, contudo foi considerado a aprendizagem do aluno e não suas notas em si. Com a aplicação do experimento foi possível incentivar o aluno para explorar fora da teoria aquilo que já se tinha conhecimento. Com a sugestão da confecção de recipiente do lixo, observou-se a criatividade e empenho dos alunos e com a aplicação do questionário obteve-

se uma noção do quanto foi absorvido de conhecimento através da contextualização dos assuntos de química com o cotidiano do aluno.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oficina realizada na Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa favoreceu o pensamento minucioso e crítico por parte dos alunos com relação a temática “lixo”, além de proporcionar o entendimento dos assuntos de química através da contextualização com o cotidiano, permitindo que os estudantes relacionassem o que foi aprendido e construído no decorrer da aprendizagem com o seu dia-a-dia. O que se apresenta como um dos detalhes que o professor deve praticar em sala descritos por Moretto (2010). Assim o ensino das ciências se torna efetivo e auxilia no entendimento do mundo por parte de alunos e alunas (CHASSOT, 2003).

No que se refere a prática de ensino-aprendizagem de química, a contextualização se mostra ainda como uma das melhores ferramentas facilitadoras de ensino, visto que tem como base o conhecido e que o mesmo pode ser explorado de diferentes formas atrativas aos olhos dos alunos. Sabe-se que o mundo vem se modernizando com o passar dos anos e juntamente a ele o ensino também deve acompanhar essa evolução, a contextualização temática supre essa necessidade de se adaptar ao novo, desde a utilização de temas simples como o próprio lixo até temas com tecnologias de última geração.

Os resultados se mostraram satisfatórios, visto que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados com êxito, através da temática lixo e sua relação com o dia-a-dia dos alunos, se mostrando semelhantes a resultados obtidos em outras pesquisas utilizando dessa mesma temática, onde os alunos também se dispuseram a dar a devida atenção para a problemática e montar alternativas de combate à mesma, e ainda assimilar o ensino de química à temática utilizada. Dessa forma, os alunos conseguiram compreender os assuntos propostos, bem como entenderam os impactos da problemática no mundo e obtiveram conhecimentos do papel da química em relação ao tema foco da oficina. Contudo faz-se necessário que a conscientização permaneça, caso contrário os impactos permanecerão crescentes.

AGRADECIMENTOS

Esta obra foi publicada com recursos oriundos do Programa de Apoio a Publicações Acadêmicas Nacionais e Internacionais da Universidade do Estado do Amapá (UEAP) por gratidão especial a UEAP.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, S. P.; COLINVAUX, D. **Explorando a motivação para estudar química** Química Nova. 23 (2), p.401-404, 2000

CHASSOT, A. I. **alfabetização científica: Questões e desafios para a educação**. 3.ed. Ijuí: Unijuí, 2003.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MORETT, V. P. **Prova: Um momento privilegiado de estudo, não um acerto de contas**. 9° ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

MORTIMER, E. F. **Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico**. Química Nova, vol. 15, n°. 3, p. 242– 249, 1992.

RIBEIRO, Tulio; LIMA, Samuel. Coleta Seletiva de Lixo Domiciliar – Estudo de Casos. **Caminhos de geografia**, Minas Gerais, 1(2), p.50-69, dezembro de 2000.

SANTOS, Dayane *et al.* **A Química do Lixo: utilizando a contextualização no ensino de conceitos químicos**. RBPG, Brasília, supl. 2, v. 8, p. 421-422, março de 2012.

SANTOS, P.T.A *et al.* **Lixo e reciclagem como tema motivador no ensino de química**. Scielo Brazil, 2011. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702011000100006&script=sci_arttext&tling=pt >. Acesso em: 29 jan. 2021

SANTOS, Wildson; MÓL, Gerson. **Química e sociedade**. Volume único. São Paulo: nova geração, 2005.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NA CONCEPÇÃO DE LICENCIANDOS EM QUÍMICA QUE DIFICULTAM O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO PROFISSIONAL DOCENTE

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 08/11/2021.

Graziele Borges de Oliveira Pena

Instituto de Ciências Exatas e da Terra,
Universidade Federal de Mato Grosso, Campus
Universitário do Araguaia
Pontal do Araguaia – MT, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3751753277403309>

Nyuara Araújo da Silva Mesquita

Instituto de Química, Universidade Federal de
Goiás, Campus Samambaia
Goiânia – GO, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6971106875143413>

RESUMO: A mudança na forma de ensinar Química requer, dentre outros, a ruptura das práticas de ensino já estabelecidas e envolve também o desenvolvimento profissional dos professores. Várias condições são necessárias para que essas mudanças ocorram, como o reconhecimento e a legitimação de um saber específico para ensinar Química como o Pedagogical Knowledge of Chemistry Content (PCKC) e a identificação e caracterização de obstáculos que dificultam o desenvolvimento desse conhecimento profissional. Nesse contexto, este artigo visa descrever a caracterização de dois obstáculos epistemológicos: obstáculo valorativo e obstáculo experiencial, identificados na concepção de graduandos do curso de Licenciatura em Química. A identificação de obstáculos de natureza epistemológica na

concepção de futuros professores de Química pode colaborar para a melhoria da formação docente, uma vez que dá subsídios para promover a aprendizagem do conhecimento profissional em Química e talvez para fortalecer a profissionalização desta carreira.

PALAVRA-CHAVE: Ensino de Química; Bbstáculos Epistemológicos Docentes; Obstáculo Valorativo; Obstáculo Experiencial; Pedagogical Knowledge of Chemistry Content.

CHARACTERIZATION OF EPISTEMOLOGICAL OBSTACLES IN THE CONCEPT OF GRADUATES IN CHEMISTRY THAT HAMPER THE DEVELOPMENT OF TEACHING PROFESSIONAL KNOWLEDGE

ABSTRACT: The change in the way of teaching Chemistry requires, among others aspects, the rupture of established teaching practices and involves the professional development of teachers. Several conditions are necessary for such changes to take place, such as the recognition and legitimation of a specific knowledge to teach Chemistry as the Pedagogical Knowledge of Chemistry Content (PCKC) and the identification and characterization of obstacles that hamper the development of this professional knowledge. In this context, this article aims to describe the characterization of two epistemological obstacles: valorative obstacle and experiential obstacle, identified in the concept of undergraduate students of Chemistry Degree. The identification of obstacles of an epistemological nature in the concept of future Chemistry teachers can contribute to the improvement of the teacher

training, since it gives subsidies to promote the learning of professional knowledge in Chemistry and perhaps to strengthen the professionalization of this career.

KEYWORDS: Chemistry Teaching; teaching epistemological obstacles; valorative obstacle; Experiential Obstacle, Pedagogical Knowledge of Chemistry Content

1 | INTRODUÇÃO

A relação entre ciência, sociedade e tecnologia (SANTOS e SCHNETZLER, 2003) pode ser compreendida como um dos aspectos que justificam a necessidade dos indivíduos se apropriarem de conhecimentos que lhes tornem capazes de tomarem decisões de forma consciente e crítica. Diante da mudança de comportamento que a sociedade tem vivenciado nos últimos anos, é necessária a compreensão de que não podemos ensinar química como essa era ensinada em décadas passadas (ECHEVERRIA *et al.*, 2008; MORTIMER e SANTOS, 2008). De acordo com os documentos orientadores da educação nacional e com as atuais tendências explicitadas por pesquisadores da área de Ensino de Química, os conhecimentos químicos têm o importante papel no processo de alfabetização científica (AULER e DELIZOICOV, 2001; MILARÉ *et al.*, 2009). Nesse sentido, Sasseron e Carvalho (2011) explicitam que o termo alfabetização científica designa as ideias de:

[...] um ensino que permita aos alunos interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-los e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cerceada de saberes de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico (p. 61).

Nessa perspectiva, as propostas curriculares destacam que a Química,

[...] pode ser um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania, se o conhecimento químico for promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade, se for apresentado como ciência, com seus conceitos, métodos e linguagens próprios, e como construção histórica, relacionada ao desenvolvimento tecnológico e aos muitos aspectos da vida em sociedade (BRASIL, p. 87).

Chassot (2003) salienta que um dos questionamentos que usualmente se faz ao ensino é a respeito de sua quase inutilidade na construção de uma cidadania mais crítica e afirma que: “[...] se os estudantes não tivessem, por exemplo, durante três anos a disciplina de Química no ensino médio eles não seriam muito diferentes no entender os fenômenos químicos. Nosso ensino é literalmente (in)útil [...]” (p. 41).

Segundo Maldaner, (2003) a mudança na forma de ensinar Química é demasiado complexa e para tal, necessita-se de uma mudança de paradigma e de ruptura de práticas já instauradas, “[...] a ruptura do círculo vicioso em que se encontra o atual programa de ensino de Química não é uma tarefa tão simples” (p. 221). Mellado (2001), ao argumentar sobre a complexidade do processo de mudança e desenvolvimento profissional de

professores de ciências, afirma que são necessárias muitas condições para fazer alterações e indica a existência de obstáculos que dificultam ou impossibilitam os professores de mudar suas concepções e modelos didáticos. Compreende-se que a mudança na forma de ensinar depende do professor e de seu desenvolvimento profissional e está implicado neste processo a superação de obstáculos. Desta forma, se faz necessário compreender melhor quais obstáculos impedem a mudança de paradigma e de modelo didático por professores de Química, bem como a melhoria do desenvolvimento do conhecimento profissional docente. Neste viés, é que se estrutura o objetivo desta pesquisa, que visa caracterizar obstáculos epistemológicos na concepção de licenciandos em Química que dificultam o desenvolvimento do conhecimento profissional específico para a docência em Química, que adotamos como Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química (CPCQ) (PENA e MESQUISTA, 2017). O universo de estudo relaciona-se a licenciandos de Química em fase de conclusão da formação inicial matriculados no último estágio supervisionado do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Campus Universitário do Araguaia.

A identificação de obstáculos de natureza epistemológica na concepção de futuros professores de Química pode colaborar com reflexões sobre questões formativas uma vez que subsidia discussões que podem promover a aprendizagem do conhecimento profissional docente em Química e quiçá fortalecer a profissionalização dessa carreira.

1.1 Conhecimento profissional docente: caminhos para profissionalização e melhoria da formação de professores

A formação inicial e a prática pedagógica do professor têm sido responsabilizadas pelos problemas apontados no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes da educação básica como atentam os autores Costa *et al.* (2015). Entretanto, essa responsabilização evidencia o desconhecimento dos vários fatores que envolvem esse complexo processo. Gatti (2013) menciona, alguns desses fatores:

[...] políticas educacionais postas em ação, o financiamento da educação básica, aspectos das culturas nacional, regionais e locais, hábitos estruturados, [...] a condição do professorado: sua formação inicial e continuada, os planos de carreira e salário dos docentes da educação básica, as condições de trabalho nas escolas. (p. 1359).

Segundo Marcelo (2009), a formação de professores e a melhoria da educação são processos indissolúveis. Deste modo, mudanças no processo de ensino-aprendizagem só serão alcançadas se houver o reconhecimento de que este processo é imbricado e que não ocorrerá com esforços pueris aplicados em um ou em outro fator de forma isolada. As melhorias da formação inicial docente e da prática do professor dependem de diferentes fatores, dentre eles, a consolidação da profissionalização da docência. De acordo com Montero (2001).

O conceito de profissionalização abraça ambos os níveis e procura elevar o

ensino a uma ocupação mais respeitada, responsável e melhor recompensada. Os defensores da profissionalização escoram os seus argumentos na disponibilidade de um *corpus* de conhecimento fundamentado para o ensino (p. 198).

O processo de profissionalização da docência tem contribuído, nas últimas décadas, para a legitimação deste grupo profissional. Entretanto, segundo Nóvoa (1999) “a afirmação profissional dos professores é um percurso repleto de lutas e de conflitos, de hesitações e de recuos” (p. 21). A profissionalização da docência é uma temática complexa, pois envolve várias questões, como a proletarização – perda de controle da totalidade do seu trabalho, questões de jornada de trabalho, condições e divisões de trabalho, remuneração, autonomia e saberes profissionais e a constituição de um código deontológico para a profissão (GUIMARÃES, 2009). Roldão (2009), sem desconsiderar outros elementos, afirma que a centralidade do conhecimento profissional é um fator decisivo da distinção profissional. Compreender que para a atuação docente é necessário haver um corpo de conhecimento profissional específico pode colaborar para a desconstrução de concepções simplistas sobre o fazer docente e, conseqüentemente, valorizar e incentivar a profissionalização do professor.

O estudo de Montero (2001) colabora para o entendimento do processo histórico de produção do conhecimento profissional docente, abordando dentre outras linhas de estudo as de Lee Shulman. O *Conhecimento Pedagógico do Conteúdo* (CPC ou PCK da expressão em inglês *Pedagogical Content Knowledge*) proposto por Shulman (SHULMAN, 1986; 1987) é o conceito que mais tem contribuído para a definição do conhecimento profissional docente que distingue o professor do especialista.

Maldaner (2008) defende que deve haver um conhecimento específico para a formação do educador químico:

Esse novo conhecimento precisa circular, ser recriado nas instâncias de formação de educadores químicos, ser valorizado no contexto social amplo e específico da produção dos fatos químicos. É, portanto, um conhecimento que vai além de “dar boas aulas de Química (p. 270).

Vários estudos e debates tem sido realizados para melhorar o entendimento do PCK em diversas áreas, inclusive estudos e propostas de modelos de PCK para a área de ensino de ciências e Química (TALANQUER, 2004; NEZVALOVÁ, 2011; GOE, 2014; SFERNADEZ, 2015). Há ainda estudos que se dedicam à utilização e análise do PCK na formação específica de professores de Química (LOPES, 1993; MELLADO, 1998; TARDIF e RAYMONND, 2000; MALDANER, 2008).

Pena e Mesquita (2017), a partir da análise dos trabalhos de Shulman e de trabalhos relacionados com o PCK propoem a denominação e definição de um PCK específico para a docência em Química

[...] que seria o *Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química (CPCQ)* – *Pedagogy Content Knowledge Chemistry (PCKC)* – o conhecimento

específico que distingue o educador Químico do especialista, construído ativamente pelo professor na ação e pela ação reflexiva, por um processo complexo de transformação das categorias de conhecimento da base atual de conhecimento, via processo baseado no *Modelo de Raciocínio Pedagógico da Ação (MRPA)* de Lee Shulman. (p.6).

A base de conhecimento, segundo Pena e Mesquita (2017) seria composta pelos seguintes conhecimentos: *Conhecimento do Conteúdo, Conhecimento Pedagógico, Conhecimento curricular, Conhecimento dos Alunos; Conhecimento dos Contextos, Conhecimento dos Fins e Conhecimento Pedagógico do conteúdo Tecnológico.*

Discussões que permitem a definição de um conhecimento específico para a docência em Química são importantes para valorizar e fortalecer a formação e a carreira docente. Entretanto, mesmo que os conhecimentos profissionais para a docência em Química sejam clarificados, compreendidos e que façam parte do currículo de formação de professores, não podemos deixar de considerar a pouca influência da formação inicial de professores para o exercício da docência. Mellado (1998) em seu estudo, verificou que as concepções de professores de ciência são pouco alteradas pela formação universitária. Tardif e Raymond (2000) também afirmam que crenças adquiridas na formação ambiental dificilmente são desconstruídas pela formação inicial.

Na América do Norte, percebe-se que a maioria dos dispositivos de formação inicial dos professores não consegue mudá-los nem abalá-los. Os alunos passam através da formação inicial para o magistério sem modificar substancialmente suas crenças anteriores sobre o ensino (p. 217).

Neste contexto, as experiências e crenças adquiridas durante a formação ambiental dificultam a formação de professores no que tange à aprendizagem de conhecimentos específicos para o exercício da docência e colaboram para que a formação docente tenha um papel secundário sobre o pensamento e a prática dos professores. Ao pensar em uma necessária ruptura do conhecimento adquirido pela formação ambiental, conhecimento este que contribui para obstacularizar a compreensão e desenvolvimento do conhecimento profissional, percebemos relações possíveis com a epistemologia bachelardiana, especialmente, com o conceito de obstáculo epistemológico, que pode contribuir para melhorar a compreensão sobre o processo formativo para a docência em Química tendo em vista uma formação menos pautada em conhecimentos de senso comum do fazer docente.

1.2 A epistemologia bachelardiana e o conceito de obstáculos epistemológicos

Epistemólogo francês, Gaston Bachelard viveu entre 1884 a 1962 e vivenciou um período de grandes revoluções na ciência, notadamente da Física Relativística e da Mecânica Quântica (LOPES, 1993). Bachelard contribuiu especialmente no campo da história da ciência com críticas ao pensamento comum para o desenvolvimento da ciência contemporânea e com a ideia de espírito científico, teceu ainda críticas ao “realismo ingênuo,

ao empirismo e ao racionalismo cartesiano que permeiam os discursos e as práticas científicas” (LOPES, 1993, p. 312). Um dos conceitos da epistemologia bachelardiana refere-se a obstáculo epistemológico, descrito por ele em 1938, que o define da seguinte maneira:

[...] é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996, p. 17).

O epistemólogo discute vários tipos de obstáculos epistemológicos, tais como: opinião, experiência primeira, conhecimento geral, verbal, conhecimento unitário e pragmático, substancialista, animista dentre outros (BACHELARD, 1996). Segundo Bachelard (1996) o ato de conhecer se dá contra um conhecimento anterior eliminando conhecimentos mal estabelecidos e este afirma que “um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado” (p. 19). A ruptura com o conhecimento de senso comum e a compreensão do processo de construção do conhecimento científico seria possível, segundo Bachelard, a medida que os obstáculos epistemológicos fossem superados. A noção de obstáculo epistemológico segundo Bachelard pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e também na prática da educação, conforme explicita Lopes (1993):

No campo da Educação, a análise dos obstáculos epistemológicos contribui para que se suplante o que Bachelard (1947) denomina de obstáculo pedagógico: entraves que impedem o aluno de compreender o conhecimento científico. A aprendizagem de um novo conhecimento é um processo de mudança de cultura, sendo necessário, para tal, que suplantemos os obstáculos epistemológicos existentes nos conhecimentos prévios do aluno. Torna-se necessária uma catarse intelectual e afetiva, capaz de psicanalisar o conhecimento objetivo do educando e, por que não dizer?, de todos nós, professores (p. 316).

Bachelard diz se sentir surpreendido que os professores de ciências, mais até que outros professores, não compreendam que alguém não compreenda. Segundo o epistemólogo francês a aprendizagem de um cultura científica depende de uma psicanálise dos erros iniciais dos alunos:

[...] toda cultura científica deve começar por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir. Tais razões podem, aliás, ser generalizadas: são mais visíveis no ensino de ciências, mas aplicam-se a qualquer esforço educativo (BACHELARD, p. 24).

Pesquisas sobre obstáculos epistemológicos que dificultam a aprendizagem dos conhecimentos da ciência Química por alunos foram realizadas por Lopes (LOPES, 1992; 1993a; 1993b; 2007). Baseando-se, no conceito de obstáculo epistemológico de

Bachelard aplicado para contextos de sala de aula, Brosseau apresenta a perspectiva de obstáculo didático e argumenta que este se configuraria pela falta de domínio dos conceitos fundamentais de matemática pelo professor e, como consequência, causaria dificuldade de aprendizagem dos alunos. De acordo com Gomes (2002):

Brousseau (1983) aponta que estes obstáculos didáticos se manifestam através de erros que são reprodutíveis, persistentes. Estes erros estão ligados entre si por uma fonte comum: uma maneira de conhecer, uma concepção característica, coerente, se não correto, um conhecimento antigo e que obteve êxito em todo domínio de ação. Erros que não são facilmente explícitos e não podem desaparecer radicalmente, de uma forma instantânea. Persistem num momento, ressurgem em outros, manifestam-se muito tempo depois do sujeito ter rejeitado o modelo defeituoso de seu sistema cognitivo (p. 372).

Estudos como os de Brosseau colaboraram para a aplicação da epistemologia bachelardiana no campo da didática e no contexto da formação de professores. Porlán *et al.* (2010) mencionam que os obstáculos de natureza epistemológica de Bachelard foram utilizados por diferentes autores que transferiram o conceito para o campo da didática das ciências e ampliaram seu significado. Em suas pesquisas Porlán e colaboradores aplicam o conceito de obstáculo epistemológico para o caso dos professores relacionado ao processo de desenvolvimento do conhecimento profissional docente (PORLÁN *et al.*, 1997; 1998; 2010).

[...] partimos da hipótese que uma parte importante das concepções e das atuações dos professores refletem uma determinada visão epistemológica e que esta visão tem um papel importante de estruturador, bloqueando ou dinamizando, fragmentando ou integrando, parcelas importantes de seu conhecimento profissional (PORLÁN *et al.*, 1997, p. 161).

Mellado (2001) se baseia em uma analogia com a mudança científica na filosofia da ciência para analisar os processos de mudança de concepções e práticas educativas de professores de ciências. Bachelard, sobre as razões necessárias à psicanálise da razão e consequentemente aprendizagem de uma cultura científica, afirma que elas não se aplicam somente ao ensino de ciências, podem também ser generalizadas a qualquer esforço educativo e menciona essa generalização no caso de professores.

O educador não tem o senso do fracasso justamente porque se acha um mestre. Quem ensina manda. Daí a torrente de instintos [...]. Educador e educando merecem uma psicanálise especial. [...] De maneira mais precisa, detectar os obstáculos epistemológicos é um passo para fundamentar os rudimentos da psicanálise da razão. (NEZVALOVÁ, 2001, p. 24). [grifo nosso].

Bachelard destaca a importância de detectar obstáculos epistemológicos para o caso dos professores, no que diz respeito à possível mudança de método pedagógico. Nesse sentido adotamos em nossa pesquisa a perspectiva bachelardiana de obstáculo epistemológico aplicada ao caso dos professores de Química para identificar obstáculos epistemológicos na concepção de futuros professores de Química relacionados com

dificuldades para o desenvolvimento pelo professor de seu conhecimento profissional docente, o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química - CPCQ. A partir do conhecimento desses obstáculos poderemos discutir caminhos para melhoria da formação acadêmica do professor de Química e quiçá dar subsídios para mudanças das práticas docentes relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem que se pautem em modelos didáticos mais atuais de ensino dessa ciência.

2 | CAMINHOS METODOLÓGICOS

Para identificar obstáculos epistemológicos nas concepções de futuros professores de Química acerca do conhecimento profissional docente entendemos ser necessário compreender o conhecimento objetivo do educando para retirar dele seu caráter subjetivo, pois só aí poderíamos identificar obstáculos incrustados no conhecimento prévio dos sujeitos de pesquisa. A metodologia adotada por essa pesquisa se caracteriza pela investigação qualitativa. Segundo Bodgan e Biklen (1982 *apud* Lüdke e André, 2002) a pesquisa qualitativa “envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes” (p. 13).

Já a análise de dados foi realizada segundo os pressupostos da Análise Textual Discursiva (ATD) proposta por Moraes e Galiazzi (2013).

A análise textual discursiva pode ser entendida como o processo de desconstrução, seguido de reconstrução, de um conjunto de materiais linguísticos e discursivos, produzido-se a partir disso novos entendimentos sobre os fenômenos e discursos investigados. Envolve identificar e isolar enunciados dos materiais submetidos à análise, categorizar esses enunciados e produzir textos, integrando nestes descrição e interpretação, utilizando como base de sua construção o sistema de categorias construído (p. 112).

A análise textual discursiva num ciclo de análise que se contitui de três elementos: unitarização, categorização e comunicação, possibilita um movimento do qual emergem novas compreensões com base na auto-organização (MORAES, 2003).

A decisão de investigar a concepção de licenciandos em Química que estivessem por concluir a graduação foi baseada na premissa de que poderíamos verificar a concepção deles em relação ao conhecimento profissional docente sem grandes influências do processo de socialização que ocorre no início da carreira docente, já que nesta fase da docência ocorrem várias mudanças de concepções (PENA *et al.*, 2009).

O projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética da Universidade Federal de Goiás e, após parecer favorável, iniciamos a coleta de dados que ocorreu durante um semestre e se deu pela aplicação de instrumentos de coleta de dados (questionário e entrevista) e pelo acompanhamento das aulas (observação participante) da última disciplina de estágio supervisionado do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de

Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia. Todos os alunos da disciplina concordaram em participar da pesquisa, totalizando um universo de dezesseis participantes que realizaram estágios em diferentes escolas e em duplas. Os Termos de Livre Consentimento foram assinados por todos os participantes e as identidades deles serão mantidas em sigilo. Cada sujeito de pesquisa recebeu um código de identificação que se inicia pelas letras “SP” cujo o significado é “Sujeito de Pesquisa” e é seguido por um número que varia de 01 a 16 de acordo com o número de cada participante da pesquisa. O acompanhamento presencial se deu apenas nos encontros de estágio realizados pela professora da disciplina no campus da universidade que totalizaram oito encontros de quatro horas cada, ou seja, os participantes da pesquisa não foram acompanhados durante a realização do estágio nas escolas. Além desse acompanhamento na forma de observação participante, foi aplicado um questionário de dez questões no início do semestre, respondido por quatorze sujeitos de pesquisa (dois faltaram no dia em que o questionário foi aplicado) e o outro instrumento de coleta de dados aplicado, foram as entrevistas com característica de microgrupofocal. Os sujeitos de pesquisa foram entrevistados tanto individualmente, quanto em dupla e em trio, seguindo o mesmo padrão de divisão das equipes que realizaram o estágio. As entrevistas foram realizadas quase no final do semestre e tiveram em média de 15 a 50 min e foram concedidas por um total de treze participantes. A observação participante constituiu um instrumento para orientação da análise do questionário e da entrevista, uma vez que, possibilita conhecer melhor os sujeitos de pesquisa. Dessa forma, suas contribuições são menos visíveis, mas, não menos importantes do que aquelas advindas dos outros instrumentos metodológicos utilizados nessa pesquisa. As perguntas do questionário foram elaboradas com foco no conhecimento profissional específico para a docência em Química (Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química – CPCQ) e com os sete conhecimentos da base de ensino de Química mencionados anteriormente. A entrevista também teve como objetivo investigar as concepções dos sujeitos de pesquisa com o mesmo foco, entretanto foi realizada após os sujeitos de pesquisa terem concluído a regência do estágio.

2.3 Metodologia de Análise dos dados

Segundo Moraes e Galiazzi (2013), a primeira etapa da ATD denominada *unitarização* consiste na desconstrução/fragmentação dos dados em *unidades de análise* com aspectos específicos definidos coerentemente com o objetivo da pesquisa e do objeto de investigação. Conforme os autores, “unitarizar um conjunto de textos é identificar e salientar enunciados que os compõem” (*ibidem*, p. 114). Na primeira etapa da análise foram realizadas desmontagens dos textos das respostas do questionário para cada sujeito de pesquisa e das entrevistas. Nesse processo de desmontagem dos textos, foram sendo identificadas as unidades de sentido relacionadas com os conhecimentos da base de ensino de Química e o CPCQ conforme representado na Tabela 1. Importante ressaltar que essas unidades de sentido emergiram em estreita relação com a perspectiva teórica

que conduz o olhar do pesquisador e que, na investigação em questão, relaciona-se aos conhecimentos de Shulman que sustentam a construção de uma nova perspectiva de conhecimentos necessários ao professor de química. Moraes (2003) afirma que:

É importante que o pesquisador proceda a suas análises de modo que saiba em cada momento quais as unidades de contexto, geralmente os documentos, que deram origem a cada unidade de análise. Para isso utilizam-se códigos que indicam a origem de cada unidade (p. 195).

Deste modo, para a codificação dos dados foi atribuído uma letra correspondente aos instrumentos de coleta de dados como: “Q” para questionário e “E” para entrevista. Para a codificação das unidades de sentido advindas do questionário adicionamos um número que corresponde a cada questão, seguida por um símbolo de *underline* mais o código de identificação do sujeito de pesquisa que respondeu à questão. Assim o código Q04_ SP14 indica que a unidade de sentido está no material advindo do questionário, questão quatro respondida pelo sujeito de pesquisa identificado pelo número quatorze.

Unidades de Sentido	
Conhecimento de base para o ensino de Química	Conhecimento dos Alunos em relação aos conteúdos químicos
	Conhecimento dos Fins Educacionais do ensino de química
	Conhecimento Tecnológico relacionado ao ensino de química
	Conhecimento do Conteúdo de química
	Conhecimento Pedagógico Geral com foco nas aulas de química
	Conhecimento Curricular considerando os entrelaces da química com o currículo escolar
	Conhecimento do Contexto escolar considerando os aspectos do ensino de química
Conhecimento Pedagógico do conteúdo de Química (CPCQ)	

Tabela 1. *Unitarização* das respostas do questionário e das transcrições das entrevistas conforme as unidades de sentido.

Depois as unidades de sentido advindas do questionário foram justapostas com as unidades de sentido advindas da entrevista e em seguida iniciamos a próxima etapa da ATD denominada de *categorização*, que implica a busca em “[...] construir relações entre as unidades de base, combinando-as e classificando-as no sentido de compreender como esses elementos unitários podem ser reunidos na formação de conjuntos mais complexos, as categorias” (MORAES, 2002, p 191). O processo de categorização foi de natureza indutiva e subjetiva, ou seja, esse processo produz categorias emergentes. Importante ressaltar que, embora a perspectiva da existência dos obstáculos possa ser considerada a

priori, a emergência destes explicitados em suas características como categorias, deu-se *a posteriori* a partir da imersão nos dados. Um exemplo da forma de entrelace das unidades no processo de construção das categorias pode ser identificado na Figura 1 a seguir:

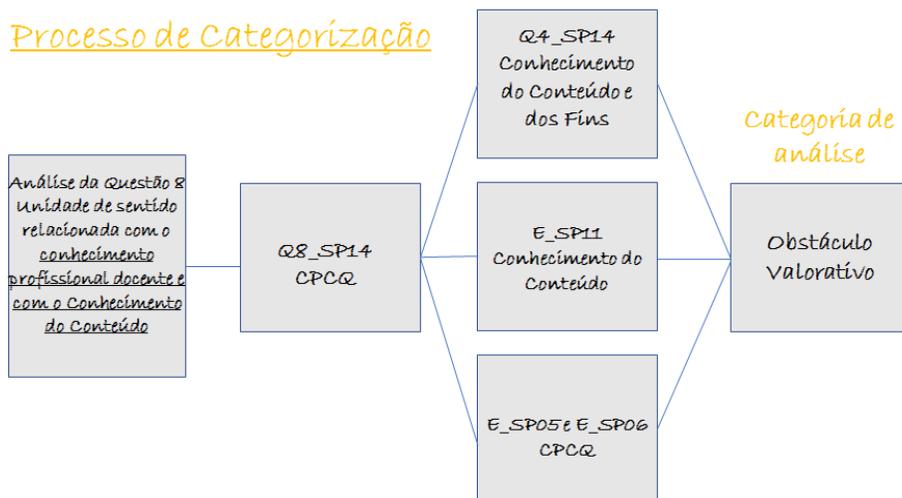


Figura 1. Exemplo do processo de construção das categorias de análise.

A partir do processo de categorização emergiram os obstáculos epistemológicos que buscávamos caracterizar e que foram denominados: *Obstáculo Valorativo* e *Obstáculo Experiencial*. Ambas as categorias foram concebidas pela união das unidades de sentido relacionadas com o conhecimento profissional específico para a docência em Química e com o conhecimento do conteúdo e, a partir delas, pudemos nos aproximar da concepção dos participantes da pesquisa e entender como essas concepções podem obstacularizar o desenvolvimento do conhecimento profissional para a docência em Química. Uma observação importante que fazemos é que toda essa problemática relacionada a aspectos que entravam a apropriação dos saberes docentes específicos da formação de professores de química já estão postos na literatura (CHASSOT, 2002; MALDANER, 2003; ECHEVERRIA *et al.*, 2008; MORTIMER e SANTOS, 2008; PENA e MESQUITA, 2017), mas o que propomos nessa pesquisa é uma compreensão para essas questões em termos de obstáculos epistemológicos, pois entendemos que há um conhecimento vinculado à formação do professor de Química que é construído no processo formativo sendo este conhecimento de natureza específica: o CPCQ.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao estabelecermos relações entre as unidades de sentido no processo de

categorização, cunhamos alguns termos com vistas à promoção da discussão sobre os obstáculos epistemológicos presentes na concepção de licenciandos de Química que dificultam o desenvolvimento e a compreensão do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química (CPCQ). A seguir são apresentadas as discussões referentes ao processo investigativo.

3.1 Obstáculos epistemológicos ao desenvolvimento do Conhecimento Profissional do professor de Química - CPCQ

Obstáculo Valorativo

Ao investigarmos as unidades de sentido relacionadas ao conhecimento profissional específico para a docência em Química nos aproximamos de algumas concepções dos sujeitos de pesquisa que puderam demonstrar a relevância do conhecimento do conteúdo. Na questão oito os sujeitos de pesquisa foram questionados sobre quais conhecimentos que os professores de Química deveriam ter para ensinar, observe o gráfico (Figura 2) que representa as repostas:

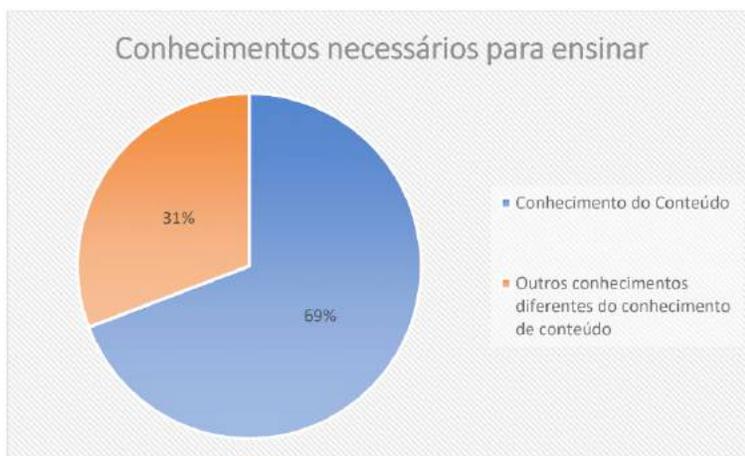


Figura 2. Respostas da questão oito do questionário investigativo aplicado.

Dos respondentes da questão oito (treze do total de participantes), nove deles mencionaram que o conhecimento necessário para o professor de Química ensinar seria o conhecimento do conteúdo o que corresponde a um valor aproximado de 69% das respostas dos sujeitos de pesquisa (SP_10; SP_01; SP_09; SP_15; SP_05; SP_03; SP_04; SP_06; SP_13). Analisando as respostas que constituem esse valor de 69 %, 77 % (SP10; SP01; SP09; SP03; SP04; SP06; SP13) delas indicaram que o conhecimento necessário para o professor seria apenas aquele relacionado como conhecimento do conteúdo. Esse valor indica não só uma supervalorização do conhecimento do conteúdo mas também a

falta do reconhecimento da existência de outros saberes necessários para o exercício da docência. Ainda analisando as respostas que se enquadram dentro dos 69%, duas delas, dadas pelos participantes SP_10 e SP_09, afirmam que, o professor deveria: “saber tudo de química” e “saber todos os conceitos de Química e de outras áreas do conhecimento relacionadas com a Química, como a Biologia, Física e Matemática, dentre outras”. Nota-se uma concepção empirista de conhecimento, uma vez que, nesse tipo de epistemologia, o conhecimento está pronto e finalizado. Talvez, por esse motivo, os sujeitos de pesquisa considerem possível saber tudo de Química ou de outras ciências. Já as respostas de SP06 e SP13 mencionam que, o professor de Química deve ter conhecimento do conteúdo em um nível geral.

Nas respostas que correspondem a 31%, não foi mencionado pelos sujeitos de pesquisa SP12, SP07, SP11 e SP14, que o conhecimento do conteúdo é um dos conhecimentos necessários ao professor de Química. Dado este, alarmante, uma vez que, esses participantes não mencionam a necessidade do conhecimento do conteúdo de Química para ensinar Química. Shulman¹⁹ identificou essa falta de atenção com o conteúdo específico e denominou-o de *paradigma perdido* e segundo ele era necessário melhorar o reconhecimento da importância do conhecimento de conteúdo para a formação e atuação do professor. Analisando as quatro respostas que constituem esse valor de 31%, uma menciona a necessidade do professor ser licenciado em Química (SP07), saber dar aula (SP12), conhecer sua própria identidade como docente (SP11) e uma resposta que indica não reconhecer o saber do professor como conhecimento, observe a resposta na íntegra:

Q8_SP14: *Na verdade não trato conhecimento mais sim uma formação que prepara da melhor maneira possível a fim de que o professor seja didático, inovador e o principal querer ser professor e não simplesmente ser por falta de opção. [grifo nosso].*

A dificuldade em reconhecer o conhecimento profissional docente é uma das consequências do obstáculo epistemológico que denominamos de *obstáculo valorativo*, que seria um obstáculo relacionado com a supervalorização do conhecimento do conteúdo e que constituem um obstáculo à compreensão da existência do conhecimento profissional docente, ou seja, há valoração maior, por parte dos licenciandos, para o conhecimento de conteúdo químico. O aprofundamento da investigação desse obstáculo valorativo pode ser evidenciado pela fala de SP14 ao responder a quarta questão do questionário a qual foi questionado “O que significa para você dizer que os alunos aprenderam Química?”

Q04_SP14: *Aprender química é um processo longo a ser desenvolvido e trabalhado no ensino fundamental e médio e vejo esse aprendizado significativo como base para o cidadão e sua formação. Agora aprender química a fundo é um sistema complexo que demanda a fixação e aprendizado de conceitos. [grifo nosso].*

A resposta é composta por duas frases que evidenciam uma “dualidade” de significados acerca do “aprender química”, ou seja, apresenta concepções distintas e contraditórias sobre a aprendizagem química que é mais evidendente pelo modo como a

segunda frase é iniciada: “Agora aprender Química a fundo [...]”. Percebemos dois tipos de concepção de aprendizagem Química para SP14 um tipo mais “a fundo” e que demanda fixação e aprendizagem de conceitos e outro tipo que demanda tempo e que serve de base para a formação do cidadão. Devido à contradição presente na frase, compreendemos que a concepção de aprendizagem relacionada com a formação do cidadão é entendida como sendo mais “superficial” e menos relacionada com a aprendizagem conceitual. A concepção do sujeito acerca da aprendizagem Química exposta na segunda frase denota uma visão tradicional de ensinar Química, enquanto que na primeira frase, devido ao uso de alguns termos, como “aprendizado significativo”, há uma concepção menos tradicional e mais coerente com modelos didáticos alternativos. Além disso, essa aprendizagem, segundo SP14 demanda desenvolvimento (pelo professor) e tempo o que poderia indicar compreensão do fazer docente segundo modelos didáticos alternativos ou seja, demanda “certo trabalho” do professor e não somente transmitir conteúdos. Cruzando esses dados com a análise da fala de SP11 durante parte da entrevista, percebemos também evidências de dois tipos de concepção de aprendizagens química. SP11 menciona que no estágio utilizou a metodologia de projetos considerada por ele um método de ensino diferenciado do tradicional. Sobre a aprendizagem desse método afirmou:

E_SP11: *Vale mais o aprendizado do aluno do que o ensino tradicional. Mesmo que absorver menos.*

Percebemos na fala a existência de uma dualidade conceitual de aprendizagem e uma atribuição distinta de valores para esse termo. Considerando o contexto da fala e o recorte acima, percebemos que SP11 atribui ao aprendizado advindo da aplicação de modelos alternativos ao tradicional um maior valor, entretanto, esse valor estaria associado à aprendizagens úteis para a vida em sociedade com um menor valor em termos conceituais. SP11 indica que o ensino tradicional não produz aprendizagens com valor para a vida em sociedade, mas a aprendizagem advinda deste modelo é considerada mais “eficiente” para aprendizagens conceituais. Ou seja, dependendo do modelo didático aplicado, tem-se aprendizagens distintas e de valores diferentes. Ao mencionar que o aluno “absorve menos” quando o modelo didático aplicado não é o tradicional, o sujeito dá indícios de uma concepção de aprendizagem ancorada no modelo didático tradicional, no qual a ênfase do conhecimento tem um valor em si mesmo e é:

[...] estruturado de forma linear e transmitido pelo professor ao aluno. Como o ensino se dá por transmissão, a aprendizagem é considerada uma acumulação ou absorção desse conhecimento que existe pronto e acabado no exterior do sujeito que aprende (GRILLO, 2003, p.15). [grifo nosso].

Ao mencionar o termo “absorve” fica evidente que SP11 compreende que o tipo de aprendizagem obtida pela aplicação do modelo didático tradicional é de certo modo eficiente em proporcionar aprendizagens no nível conceitual, mesmo que este modelo não produza “certo tipo” de aprendizagem que “vale” mais para a vivência em sociedade.

Durante a entrevista realizada com a dupla SP05 e SP06 foi mencionado que uma das alunas da classe que realizaram estágio possuía problemas psicológicos e não sabia ler. Quando foram indagados pela pesquisadora sobre como lidar com estudantes com alguma dificuldade como essa aluna do estágio, SP05 respondeu:

E_SP05: *Aí você tem que fazer uma adaptação para ele voltada, para o cotidiano, para que ele entenda.*

Quanto ao perfil de alunos que possuem reconhecidamente limitações e mais dificuldade de aprendizagem, SP05 menciona que para que ocorram aprendizagens desses alunos há a necessidade de adaptação e associação com o cotidiano. Pois, assim os alunos com dificuldade de aprendizagem poderiam entender. A proposição da “adaptação voltada para o cotidiano” para o ensino de Química para aluno que possui reconhecida dificuldade de aprendizagem, conforme SP05 afirma, corrobora a tese de que este tipo de ensino para alguns professores é desprovido de dificuldade porque se ensina “menos conteúdo” ou seja, é um conhecimento com menor valor em grau de aprendizagem de Química em nível conceitual.

Pela análise realizada percebemos que há uma concepção de supervalorização do conhecimento do conteúdo dos participantes da pesquisa o que nos leva a definir esta concepção como um obstáculo de natureza epistemológica, que denominaremos de *obstáculo valorativo*, o qual impede a compreensão e o desenvolvimento do conhecimento profissional específico para a docência em Química (CPCQ), pois:

- dificulta a compreensão do conhecimento profissional específico para a docência em Química, como por exemplo o CPCQ, porque compreende o conhecimento do conteúdo como sendo o próprio conhecimento profissional docente;

- gera dificuldade de compreensão de que o conhecimento profissional específico para a docência em Química é constituído por uma justaposição de outros conhecimentos e não só pelo conhecimento do conteúdo;

- dificulta a compreensão de que a transformação do conhecimento de conteúdo necessária para produzir o conhecimento profissional específico para a docência não o “deforma”, devido à concepção que o ensino desse conhecimento transformado produziria uma aprendizagem de menor valor em termos conceituais.

Dessa forma, a concepção de supervalorização do conhecimento do conteúdo obstaculariza o desenvolvimento do conhecimento profissional específico para a docência em Química (CPCQ), e por isso constitui o obstáculo *valorativo*.

Obstáculo Experiencial

Bachelard (1996) afirma que para a formação do espírito científico o primeiro obstáculo é a experiência primeira, pois:

Um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado. Hábitos intelectuais que foram úteis e sadios podem, com o tempo, entrar a pesquisa. [...] Com o uso, as idéias se valorizam indevidamente. Um valor

em si opõe-se à circulação dos valores. É fator de inércia para o espírito. Às vezes, uma idéia dominante polariza todo o espírito [...] (p. 19).

A experiência vivida na condição de aluno, sem uma devida reflexão, propicia a internalização de ideias e crenças que, muitas vezes, pode dificultar o desenvolvimento profissional docente. Dessa forma, a identificação de obstáculos de natureza epistemológica na concepção de licenciandos de Química, contribui para constituir um conhecimento importante e necessário para melhorar o entendimento do processo de formação do professor de Química, especialmente, no que tange à constituição de um saber pautado em um conhecimento profissional docente especializado como o conhecimento pedagógico do conteúdo de Química (CPCQ) e promover uma superação do conhecimento de senso comum do fazer docente em Química. Importante salientarmos que há elementos formativos nos cursos de licenciatura que poderiam contribuir com a superação da perspectiva simplista que os licenciandos têm da docência.

Dentre esses elementos, citam-se as Práticas como Componente Curricular (PPC). Embora sejam 400 horas que devem contemplar aspectos específicos da relação teoria e prática para o exercício da docência, na prática, ainda há muitas lacunas em termos de implementação dessa carga horária, bem como falhas que entram um melhor aproveitamento dessas horas. Uma dessas lacunas tem relação com o perfil do professor formador para atuar na concretização das propostas de formação do educador químico para a Educação Básica. De acordo com Maldaner (MALDANER, 2008), há carência desse profissional nas diversas instituições. No caso específico da instituição onde se desenvolveu a pesquisa, no período em que a investigação aconteceu, havia apenas uma docente com formação na área de Ensino de Química em atuação no curso. Isso posto, reafirmam-se as dificuldades em mudar concepções adquiridas na experiência vivida dos estudantes em relação ao ser professor.

Porlán *et al.* (2010) citam vários trabalhos que indicam que as concepções dos alunos [futuros professores] interiorizadas a partir da experiência como aluno impedem/dificultam a mudança do ensino de ciência. Ao contrário de outras profissões, o professor tem a oportunidade de conhecer bem e durante muito tempo o local onde irá trabalhar, devido ao seu tempo de permanência na escola, na condição de aluno.

Os professores têm ideias, atitudes e comportamentos sobre o ensino, devido a um longo treinamento 'ambiental' durante o período quando eram estudantes. A influência deste treinamento incidental é enorme porque responde a experiências repetidas e adquiriu forma não-reflexiva, óbvio, "senso comum" natural, escapando assim a crítica e se tornando um obstáculo real (Gil, 1991, p. 73 apud Mellado, 2001, p. 22). [tradução nossa].

Em decorrência dessa vivência contínua com o ambiente de sala de aula e de percepções do exercício da docência constituídas durante o período em que foram estudantes, denominado de formação ambiental, as crenças adquiridas dificilmente são

desconstruídas (MALDANER, 2003). Montero (2015) afirma que a experiência que todos temos como alunos faz deste ofício uma profissão familiar e que essa aproximação torna a atividade docente desprovida de mistério em relação ao fazer de outras profissões.

A partir dessa experiência, é muito frequente dar-se por adquirido que todos sabemos o que um professor é e faz e, de algum modo, pré-julgamos e questionamos o seu saber. É óbvio que estas peculiaridades do ensino podem atuar como obstáculos epistemológicos tanto para a construção de conhecimento como para o reconhecimento do saber profissional de professores e professoras (p. 09). [grifo nosso].

A concepção de senso comum do fazer docente é uma antiga e problemática marca na formação docente em Química segundo a qual bastaria ao professor ter apenas um “bom conhecimento da matéria, algo de prática e alguns complementos pedagógicos” (CARVALHO, 1995, p.14). Essa concepção de senso comum do fazer docente em Química é identificada na concepção dos sujeitos de pesquisa investigados na análise da questão cinco (Tabela 2). Nessa questão, solicitou-se que os licenciandos definissem o bom professor de Química. As características mais mencionadas por eles foram: domínio do conteúdo; saber transmitir os conteúdos/conceitos e/ou ter didática; associação de conceitos com cotidiano/dia-a-dia dos alunos; modelo real de professor e domínio de turma/sala. O quadro abaixo indica as cinco características mais mencionadas, seguida dos sujeitos que as mencionaram.

Características mencionadas nas respostas da questão cinco	Sujeitos de pesquisa que mencionaram
domínio de conteúdo	9 (SP15, SP05, SP08, SP11, SP04, SP06, SP10, SP01, SP03)
saber transmitir os conteúdos/conceitos e/ou ter didática	8 (SP01, SP08, SP07, SP11, SP15, SP05, SP03, SP04)
associação de conceitos com o cotidiano/dia-a-dia dos alunos	8 (SP14, SP13, SP06, SP05, SP08, SP12, SP09, SP10)
modelo real de professor	3 (SP10, SP01 e SP09)
domínio de turma/sala	2 (SP01 e SP3)

Tabela 2. Representa as características que definem o bom professor de Química indicada pela porcentagem e número de sujeitos que a mencionaram na questão 5 do questionário aplicado.

Outras nove características também foram mencionadas nas respostas, entretanto apenas uma vez cada, deste modo não foram incluídas na Tabela 2. A seguir são indicadas essas características: “conhecimento dos alunos” mencionada por SP04; “fazer com que os alunos participem da aula” mencionada por SP13; “cativar” os alunos mencionada por SP10; “saber usar analogias (macro-micro)” mencionada por SP14; “aulas diversificadas”

mencionada por SP13; “prepara aula” mencionado por SP01; “privilegiam com aulas ótimas” mencionado por SP09; “ter conhecimento do objetivo (saber o que quer)” mencionado por SP01; “ser licenciado” considerado como item primordial por SP05.

Sobre as características que definem o bom professor de Química Talanquer (2004), menciona dentre outras a capacidade de transformação pedagógica do conhecimento científico e o reconhecimento da complexidade do processo de ensino-aprendizagem. Essas são características importantes mas que não foram mencionadas pelos sujeitos que participaram de nossa pesquisa. A característica mais mencionada quando supervalorizada constitui o obstáculo valorativo que já foi mencionado, a segunda característica “saber transmitir os conceitos/conteúdos e ter didática” é compreendida como uma concepção do tipo empirista na qual entende-se que a aprendizagem ocorre pela transferência do saber do professor para o aluno. A concepção transmissiva de ensino foi identificada por Porlán *et al.* (1997) como obstáculo epistemológico de mesmo nome na concepção de professores de ciência, além de identificarem outros obstáculos epistemológicos tais como: a aprendizagem por incorporação de significados externos que ignoram a existência de ideias espontâneas dos alunos e o absolutismo epistemológico no qual a mudança do ensino de ciências é dificultada pela concepção de ciência de professores que se baseia no empirismo e que compreende a ciência como produto pronto e acabado, superior, verdadeiro e incontestável.

As três primeiras características mais mencionadas, indicam a concepção que os sujeitos de nossa pesquisa possuem do conhecimento profissional específico para a docência em Química, ou seja, concebem que o conhecimento para ensinar Química seja constituído primeiramente pelo domínio do conteúdo do professor, que o transmite aos alunos de forma associada ao cotidiano/dia-a-dia dos alunos. Essa concepção de conhecimento profissional para ensinar Química advinda da experiência não refletida de aluno dificulta a aprendizagem e o desenvolvimento de um conhecimento profissional pautado em um concepção diferente da empirista. Segundo Becker (2013), a epistemologia que valoriza as relações hierárquicas de transmissão do conhecimento e que se fundamenta na epistemologia empirista constitui a epistemologia *subjacente* ao professor, e afirma que, a concepção epistemológica:

[...] uma vez constituída, adquire um poder de determinação. Deste modo, um docente que professe uma epistemologia empirista não consegue, em função de sua concepção epistemológica, avançar pedagogicamente. Os avanços pedagógicos implicam mudanças de paradigma epistemológico (p. 334).

Um obstáculo epistemológico na concepção de conhecimento profissional docente dificulta avanços pedagógicos na formação de professores porque sem a superação deste obstáculo, dificilmente o futuro professor de Química terá condições de realizar mudanças de modelos didáticos, pois segundo o estudo de Pórlan e Riuver, 1998 apud Mellado (2001), o conhecimento profissionnal não se desenvolve na concepção de modelo didático

tradicional.

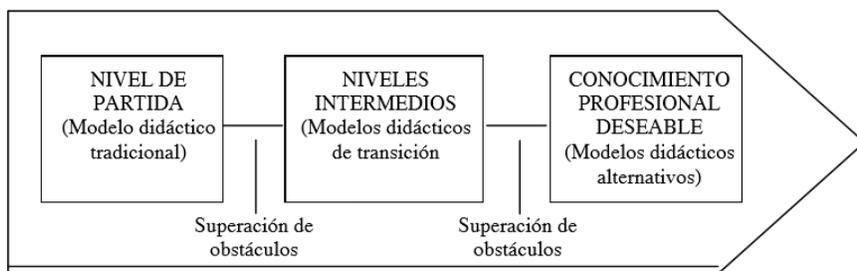


Figura 3. Processo de reorganização contínua do conhecimento profissional.

Fonte: Pórlan e Riuver, 1998 apud Mellado (2001, p. 25).

A Figura 3 representa a ideia de um quadro evolutivo para a formação de professores que parte de modelos didáticos tradicionais, passa por níveis intermediários até modelos alternativos mais inovadores condicionada pela superação de obstáculos. Becker (2013) afirma que a “epistemologia empirista constitui em larga escala e de forma quase totalmente inconsciente, o fundamento “teórico-filosófico” da pedagogia de repetição e de reprodução” (p. 334). Ao solicitar aos sujeitos de pesquisa uma definição do bom professor de Química, questão cinco do questionário investigativo, três respostas apresentaram características em comum. Observe:

Q5_SP10: *Professor “x” que é professor da disciplina Química “w” da UFMT. “Ótimos”. Saber o conteúdo, saber dar uma ótima aula contextualizada, cativar os alunos com seu jeito de dar aula.*

Q5_SP01: *O “x”. É ter o domínio do conteúdo, preparar aula, saber o que quer e ter uma boa didática bem como domínio de sala.*

Q5_SP09: *Alguns professores da UFMT, como o professor “x”, “y” e o professor “z”. São professores que nos privilegiam com aulas ótimas, associando os conceitos ao seu dia-a-dia.*

A definição do bom professor de Química para SP10, SP01 e SP09 é pautada pela associação com modelos reais de professores que tiveram na graduação (“x”, “y” e “z”) e nas características deles para ensinar e se relacionar com os alunos. Tal associação mencionada pode ser evidência que os sujeitos de pesquisa se “espelham” nesses professores para definir e desenvolver suas práticas, baseando-se nas características que eles possuem.

De certo modo, isso pode constituir limitações e obstáculos para o desenvolvimento do conhecimento profissional docente. Em primeiro lugar, o “espelhar” pode levar a uma limitação da compreensão do papel ativo do professor na produção de seu conhecimento profissional, ou seja, o futuro professor, durante a sua graduação pode enfrentar dificuldades

para compreender que o conhecimento profissional específico é desenvolvido/construído pelo professor e não imitado/pronto. As características de um bom professor de Química quando atribuídas a um modelo real de professor, podem dificultar o entendimento que o conhecimento do professor é um conhecimento historicamente e socialmente construído pelas ciências e não um conhecimento que está no professor. Atribuir características de um bom professor de Química às características de um determinado professor, limita a compreensão do processo dinâmico de construção do conhecimento do professor. Pode ser adotada nesse contexto, uma postura empirista do licenciando frente ao conhecimento profissional especializado do professor e, dificilmente, o futuro professor adotará uma perspectiva ativa, construtiva e crítica do conhecimento profissional do professor de Química. Quando a experiência como aluno não é refletida de forma crítica e apoiada no conhecimento científico em construção sobre o conhecimento do professor, haverá dificuldades para que o conhecimento de senso comum do fazer docente em Química seja superado. Segundo Bachelard (1996):

Na formação do espírito científico, o primeiro obstáculo é a experiência primeira, a experiência colocada antes e acima da crítica – crítica esta que é, necessariamente, elemento integrante do espírito científico. Já que a crítica não pôde intervir de modo explícito, a experiência primeira não constitui, de forma alguma, uma base segura (p. 29).

Deste modo a pedagogia a qual estivemos submetidos, que é predominantemente empirista por um processo de reprodução, se constitui como a epistemologia *subjacente* (BECKER, 2013) ao trabalho docente e dela incorporamos certo tipo de conhecimentos que quando não refletidos e suplantados constitui o *obstáculo experiencial* que impede que o conhecimento profissional específico para a docência, como por exemplo o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo de Química (CPCQ) seja desenvolvido. Como afirma Bachelard (1996), uma crença em um saber definitivo pode dificultar mudanças pois:

Chega o momento em que o espírito prefere o que confirma seu saber àquilo que o contradiz, em que gosta mais de respostas do que de perguntas. O instinto conservativo passa então a dominar, e cessa o crescimento espiritual (p. 19).

A incorporação de conhecimentos de senso comum ao longo da vivência não questionada como aluno, constitui o obstáculo denominado experiencial, pois dificulta que o professor compreenda a complexidade do processo de ensino e aprendizagem de modelos didáticos que não o tradicional impossibilitando o desenvolvimento do conhecimento profissional docente em Química (CPCQ).

4 | CONCLUSÃO

A elucidação de obstáculos epistemológicos na concepção de futuros professores de Química colabora para a compreensão dos possíveis impedimentos ocorridos no processo

de formação docente e no desenvolvimento do conhecimento profissional docente. Esse entendimento é importante para auxiliar na ruptura do ciclo vicioso da forma como a Química é ensinada, que tem predominantemente se baseado na concepção de senso comum do fazer docente e utilizado de práticas que pouco tem contribuído para a formação Química desejada para o século atual, especialmente no que tange a alfabetização científica. Assim como na epistemologia bachelardiana não há possibilidades de um continuísmo da concepção do senso comum para o desenvolvimento do conhecimento científico, não há um continuísmo do saber de senso comum para o desenvolvimento do professor que se pautem em conhecimentos profissionais legitimados. Deste modo, a relação entre a concepção de senso comum do fazer docente e o conhecimento profissional específico para a docência em Química são antagônicas na formação do professor.

A valorização do professor de Química, e de outras áreas do conhecimento, perpassa pela legitimação de seu saber e do saber fazer, para isso se faz necessário que a formação docente tenha influência sobre a prática do professor além da realização de estudos que investiguem o processo de desenvolvimento profissional docente bem como os aspectos que interferem nesse desenvolvimento, como os obstáculos epistemológicos que discutimos.

O estudo da concepção prévia dos alunos é reconhecidamente necessário na educação de todos os níveis, entretanto, ainda não damos a devida importância para estes conhecimentos na formação de professores. A partir de estudos que investiguem o pensamento do professor, especialmente suas concepções que foram adquiridas pela vivência ambiental de forma acrítica, enquanto aluno, poderemos compreender melhor o processo de ensino e aprendizagem de professores e com isso buscarmos mudanças e melhorias na educação Química nas salas de aulas.

AGRADECIMENTOS

A Fapemat (Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Mato Grosso) pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

AULER, D. Alfabetização Científico-Tecnológica para quê? Ensaio. Belo Horizonte: v. 3, n. 2, p. 105-115, 2001.

BACHELARD, G.; **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**, Contraponto: Rio de Janeiro, 1996.

BECKER, F.; **A epistemologia do professor: o cotidiano da escola**, 16. ed., Vozes: Petrópolis, 2013.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências**, 6. ed., Cortez: São Paulo, 1995.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social**. Revista Brasileira de Educação, n. 22, p. 89-100, 2003.

COSTA, K. M. G.; FORSBERG, M. C. S.; ODA, W. **Formação de Professores de Química: contribuições da epistemologia Fleck**. Latin American Journal of Science Education, v. 1, p. 1-14, 2015.

ECHEVERRIA, A.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. Em **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**; Rosa, M. I. P.; Rossi, A. V., orgs.; Editora Átomo: Campinas, 2008, cap. 3.

GATTI, B. A. **Formação de professores no Brasil: características e problemas**. Educação & Sociedade, v. 31, n. 113, p. 1355-1379, 2010.

GOES, L. F. **Conhecimento Pedagógico do Conteúdo: Estado da Arte no campo da Educação e no Ensino de Química**. 2014. 155 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2014.

GOMES, M. G. **Obstáculos epistemológicos, obstáculos didáticos e o conhecimento matemático nos cursos de formação de professores das séries iniciais do ensino fundamental**. Revista Contrapontos, v. 2, n. 3, p. 363-376, 2002.

GRILLO, M. **Avaliação: uma discussão em aberto**, 2. ed., Edicuprs: Porto Alegre, 2003. cap.1.

GUIMARÃES, V. S. **Profissão e Profissionalização docente: disposições em relação ao ser professor**. In: GUIMARÃES, V. S. (Org.). Formação e profissão docente: cenários e propostas. Goiânia: Editora da PUC de Goiás, 2009. cap. 1.

KOBALLA, T. R., GRÄBER, W., COLEMAN, D., & KEMP, A. C. **Prospective teachers' conceptions of the knowledge base for teaching chemistry at the gymnasium**. Journal of Science Teacher Education, v. 4, n. 10, 269–286.

LOPES, A. R. C. **Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da ciência química I—Obstáculos animistas e realistas**. Química Nova, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.

LOPES, A. R. C. **Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências**. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, p. 324-330, 1993.

LOPES, A. R. C. **Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química**. Revista brasileira de Estudos pedagógicos, v. 74, n. 177, 1993.

LOPES, A. R. C. **Currículo e epistemologia**. Ijuí: Unijuí, 2007.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. **A Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: E.P.U. 2002. 99 p.

MALDANER, O. A. **A formação inicial e continuada de professores de Química**. 2. ed., Unijuí: Ijuí, 2003.

MALDANER, O. A. **A pós-graduação e a formação do educador químico: tendências e perspectivas**. In: ROSA, M. I. P.; Rossi, A. V. (Orgs.) Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências. Campinas: Editora Átomo, 2008. cap. 13.

MILARÉ, T. RICHETTI, G. P., ALVES-FILHOS, J. P. **Alfabetização Científica no Ensino de Química: Uma Análise dos Temas da Seção Química e Sociedade da Revista Química Nova Escola**. Química Nova Escola, v. 3, n. 31, p. 165-171, 2009.

MARCELO GARCIA, C. **Desenvolvimento profissional docente: passado e futuro**. Revista de ciências da educação, n. 8, p. 7-22, 2009.

MELLADO, Vicente. **The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science**. Science education, v. 82, n. 2, p. 197-214, 1998.

MELLADO, V. ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos?. Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado, n. 40, p. 17-30, 2001.

MONTENEGRO, V. L. S.; FERNANDEZ, C. **Processo reflexivo e desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo numa intervenção formativa com professores de química**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 17, p. 251-275, 2015.

MONTERO, L.; **A construção do conhecimento profissional docente**, Instituto Piaget: Lisboa, 2001.

MORAES, R. **Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva**. Ciência & Educação, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. L. P. Em **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**; Rosa, M. I. P.; Rossi, A. V., orgs.; Editora Átomo: Campinas, 2008, cap. 4.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**, 2. ed. Unijuí: Ijuí, 2013.

NEZVALOVÁ, D. **Researching science teacher Pedagogical content knowledge**. Problems os education in the 21st Century, v. 35, p. 104-118, 2011.

NÓVOA, A (org.). **Profissão professor**. Profissão professor. 2 ed. Porto: Porto Editora, 1999. cap. 1.

PENA, G. B. O.; SILVEIRA, H. E.; GUILARDI, S. **A dimensão institucional no processo de socialização de professores de química em início de carreira**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 10, n. 2, 2009.

PENA, G. B. O.; MESQUITA, N. S. A. **Reflexões sobre o conhecimento profissional docente e a composição de conhecimento Pedagógico do conteúdo**. Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, Brasil, 2017.

PORLÁN, R. A.; RIVERO, A. G.; MARTÍN, R. P. **Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos.** Enseñanza de las Ciencias, v.15, n. 2, p. 155-171, 1997.

PORLÁN, R. A.; RIVERO, A. G.; MARTÍN, R. P. **Conocimiento Profesional y Epistemología de los Profesores, II: Estudios Empíricos y Conclusiones.** Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, v.16, n. 2, p. 271-288, 1998.

PORLÁN, R. *et al.* **El Cambio del Profesorado de Ciencias I: Marco Teórico y Formativo.** Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, v. 28, p. 31-46, 2010.

ROLDÃO, M. C. **Função docente: natureza e construção do conhecimento profissional.** Revista brasileira de educação, v. 12, p. 94-103, 2007.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania.** 3 ed., Unijui: Ijuí, 2003.

SASSERON, L. H; CARVALHO, A. M. P. **Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 16, n. 1, 2011.

SHULMAN, L. S. **Those who understand: Knowledge growth in teaching.** Educational researcher, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SHULMAN, L. S. **Knowledge and teaching: Foundations of the new reform.** Harvard educational review, v. 57, n. 1, p. 1-23, 1987.

TALANQUER, V. **Formación docente: Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?** Educación Química, México, v. 15, n. 1, p. 60-66, 2004.

TARDIF, Maurice; RAYMOND, Danielle. **Saberes, tempo e aprendizagem do trabalho no magistério.** Educação & sociedade, v. 21, p. 209-244, 2000.

CAPÍTULO 3

A QUÍMICA E O USO CONSCIENTE DA ÁGUA: PERCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DE ESCOLA DA REDE PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 18/11/2021

Luísa Resende Lobato de Almeida

Universidade do Estado de Minas Gerais –
Divinópolis - MG

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9116732814656922>

Carlos Alexandre Vieira

Universidade do Estado de Minas Gerais –
Divinópolis - MG

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3311692690861081>

Alexandre Fernando da Silva

Faculdade UNA – Divinópolis - MG

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8689530662247163>

RESUMO: A questão da disponibilidade e do uso consciente da água, como bem social e coletivo, é uma das principais questões do século XXI. As aulas de química são excelentes oportunidades para abordar temas centrais a sociedade e subsidiar a conscientização dos estudantes, em especial quando paralelamente trabalha-se com os conteúdos de Química. Esse trabalho teve como objetivo abordar a Educação Ambiental durante as aulas de química ministradas no ensino médio em uma Escola Estadual do Município de Oliveira – MG. A proposta foi trabalhar com o tema água. Neste sentido foi realizada intervenção abordando assuntos inerentes a essa questão, como propriedades físico químicas da água, distribuição e disponibilidade na superfície do planeta, tratamento de água, poluição, consumo

e uso racional. Após intervenção foi aplicado um questionário para os alunos participantes com o objetivo coletar informações sobre a compreensão dos mesmos frente às provocações e suas percepções em relação a temática.

PALAVRAS-CHAVE: educação ambiental, água, escola, conscientização

CHEMISTRY AND THE CONSCIOUS USE OF WATER: PERCEPTIONS OF HIGH SCHOOL STUDENTS FROM PUBLIC SCHOOLS IN THE CITY OF OLIVEIRA - MG

ABSTRACT: The issue of availability and conscientious use of water, as a social and collective good, is one of the main issues of the 21st century. Chemistry classes are excellent opportunities to address issues that are central to society and support students' awareness, especially when working with Chemistry contents in parallel. This work aimed to address Environmental Education during chemistry classes taught in high school at a State School in the Municipality of Oliveira – MG. The proposal was to work with the water theme. In this sense, an intervention was carried out addressing issues inherent to this issue, such as physical and chemical properties of water, distribution and availability on the planet's surface, water treatment, pollution, consumption and rational use. After the intervention, a questionnaire was applied to the participating students in order to collect information about their understanding of the provocations and their perceptions regarding the theme.

KEYWORDS: environmental education, water,

1 | INTRODUÇÃO

O século XX foi palco de grandes transformações, especialmente na ampliação do conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico. Produto deste período, o mundo pós-moderno defronta com enormes desafios, dentre os quais está a relação da humanidade com meio ambiente. Essa questão revela uma crise criada pela própria civilização que relaciona o meio ambiente, os meios de convívio e a poluição. Faz-se necessário tomar medidas que levem a sociedade a afeiçoar-se à natureza. É preciso estabelecer o respeito entre os seres vivos e aprender a conviver com dignidade, procedendo a favor do bem, do bom-senso e de nosso compromisso com a vida (SILVA, 2012).

Neste sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou entre os dias 5 e 16 de junho de 1972, a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, em Estocolmo. O evento contou com representantes de 113 países e tornou-se um marco com a instituição do dia 5 de junho como o Dia Mundial do Meio Ambiente (CZAPKI, 1998). Desde então, há o compromisso de organizações nacionais e internacionais em estabelecer e propiciar ações para melhoria das práticas ambientais. Legislações foram criadas e enfatizam a importância da preservação do meio. Após a citada conferência, foram realizadas mais três conferências internacionais sobre educação ambiental entre as décadas de 70/80 (QUITINO, 2016).

A Constituição Federal de 1888, definiu através do Conselho Federal de Educação que a Educação Ambiental tem caráter interdisciplinar, apesar de não torná-la uma disciplina específica (LOUREIRO, 2006). Posteriormente a Lei nº 9.795, de 27/04/1999, estabelece a Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA (BRASIL, 1999). No entanto, apesar do estabelecimento legal, a Educação Ambiental, trata das questões ambientais, mas alcança também os problemas socioeconômicos, políticos, culturais e históricos pela interação destes campos com o meio ambiente. Sua aplicação tem a extensão de auxiliar na formação da cidadania, de maneira que extrapola o aprendizado tradicional pela sua plenitude e abrangência, a Educação Ambiental como disciplina incrementa a participação comunitária, conscientizando todos os participantes, professores, alunos e a comunidade estudada, ante a interação necessária para o seu desenvolvimento (SANTOS, 2017).

Neste contexto, uma das maiores preocupações ambientais refere-se à disponibilidade de água potável como recurso natural fundamental as populações humanas e animais. A superfície do planeta é coberta em 70% por água, mas deste total apenas 3% correspondem a água doce, sendo que deste percentual apenas 1% encontra-se disponível em rios e lagos, os 97% restantes são águas salgadas (ALMEIDA, 2009). O Brasil, por sua vez, é detentor da maior disponibilidade hídrica (água doce) do planeta.

Apesar da aparente abundância, a poluição de mananciais, desmatamento de matas ciliares somado ao grande crescimento populacional e a distribuição demográfica

desigual no território brasileiro afetam diretamente na qualidade e na distribuição de água potável. Devido a estes fatores, o Brasil enfrentou recentemente, em algumas regiões, uma crise hídrica sem precedentes, que levantou o debate da importância da educação ambiental como formadora de cidadãos conscientes da necessidade de preservação dos recursos hídricos. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo explicitar as questões da água e pesquisar quais eram as práticas de consumo e economia de água adotadas pelos estudantes de uma sala de aula do ensino médio em uma Escola Estadual localizada no município de Oliveira – MG.

2 | METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em uma turma de primeiro ano do ensino médio em uma Escola Estadual de Oliveira – MG e é parte de um trabalho de conclusão de curso, do curso de licenciatura em química da UEMG – Unidade Divinópolis – MG.

O trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira foi ministrado um seminário (50 minutos), visando informar os estudantes sobre questões relativas a água, como propriedades e constantes físico-químicas, as diversas aplicações da água na indústria e na comunidade, dados de escassez, desperdício e índices pluviométricos da região abordada (Centro Oeste mineiro). A segunda etapa consistiu na aplicação de um questionário composto por seis perguntas, visando entender como os estudantes se posicionaram frente ao tema abordado e quais eram as práticas de consumo que os mesmos desempenhavam em seus ambientes de convívio.

Antes da obtenção de dados, os alunos foram informados quanto aos objetivos da pesquisa. Somente foram amostrados os indivíduos que aceitaram completar o questionário de livre e espontânea vontade e os mesmos não foram identificados. A coleta de dados foi realizada no período de julho de 2017 e os mesmos foram compilados em forma de gráficos do tipo pizza.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A educação constitui uma poderosa ferramenta de intervenção no mundo para a construção de novos conceitos e consequente adequação de hábitos. É também o instrumento de construção do conhecimento e a forma com que todo ao desenvolvimento intelectual conquistado passa de uma geração para a outra, permitindo que cada geração avance um passo em relação à anterior no campo do conhecimento científico (CUBA, 2006).

Buscou-se através da análise dos questionários entender a realidade dos pesquisados e seu conhecimento sobre o tema. A primeira questão foi relativa ao desperdício de água e os dados estão compilados na Figura 01. Pode-se perceber que a maioria dos pesquisados respondeu que o desinteresse e falta de informação poderiam influenciar no desperdício da água. É importante relatar que na cidade onde localiza-se a escola (Oliveira – MG), houve

um período crítico de abastecimento de água no ano de 2016, devido à seca prolongada. A cidade decretou estado calamidade pública e alguns bairros receberam água somente uma vez por semana. Alguns discentes compreenderam que, principalmente no período de seca, é importante consumir de forma responsável e, se possível reutilizar a água. O desinteresse pelo tema nos alerta que boa parte da comunidade carece de informações frente aos temas ambientais e que é preciso fomentar essa prática nas escolas e construir de forma crítica o conhecimento ambiental.

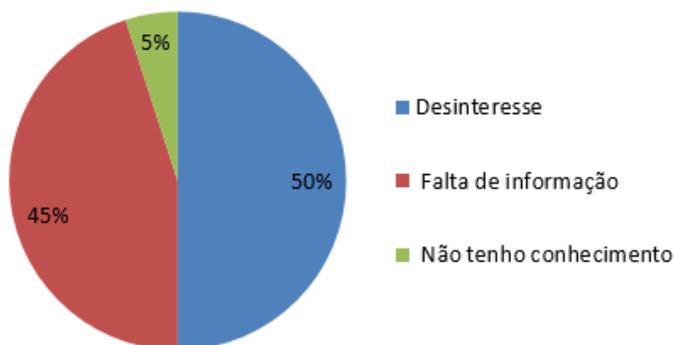


Figura 01- O que pode influenciar no desperdício da água

Na Figura 02, estão compilados os dados da segunda questão. A mesma foi relativa ao consumo de água. Os pesquisados indicaram conhecem onde é promovido o maior consumo de água em suas residências. O banheiro, área de serviço e cozinha corroboram para 97% do consumo. Muitos relataram ainda a vontade de reduzir o consumo e muitas propostas foram lançadas durante o preenchimento do questionário.

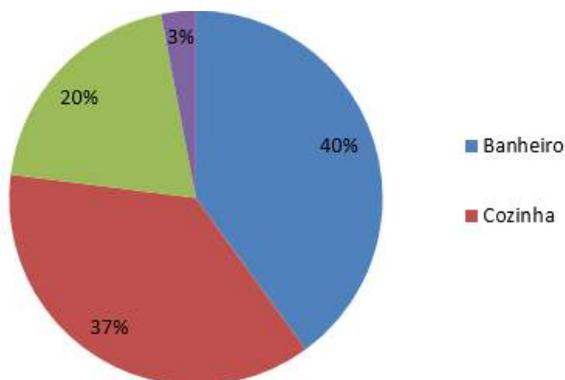


Figura 02- Onde acontece o maior consumo de água na sua residência

Na Figura 03 está ilustrada a compilação dos dados da terceira questão. A mesma

abordou o tema da reutilização da água. Pode-se observar que 80% dos pesquisados ouviram falar da reutilização da água. Isso nos permite inferir que, após situação crítica vivida pelos moradores do município de Oliveira, os indivíduos puderam se informar da importância da reutilização da água utilizada. Muitos abordaram ainda que as práticas podem ser realizadas no reaproveitamento de água das máquinas de lavar. Foi ainda relatado que a água captada da chuva pode ser aproveitada para as atividades domésticas. Foi ainda relatado que ouviram falar da reutilização da água nas redes sociais e veículos de telecomunicação.

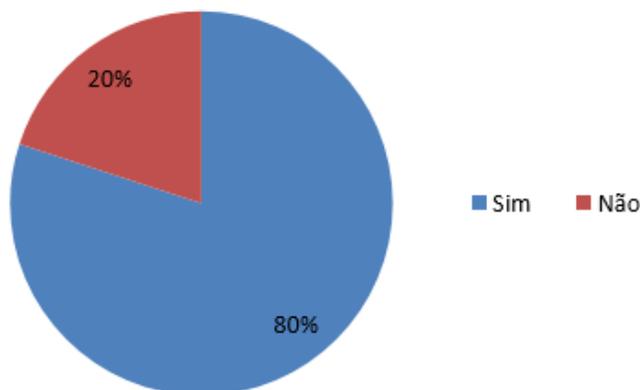


Figura 03- Alguma vez você ouviu falar sobre a reutilização da água.

A Figura 04, referente a quarta questão, congrega compilação do que se pode fazer para economizar água nas residências. Ficou evidente que os pesquisados estão cientes das formas de economizar água nas residências e espaços de convívio. Dicas para economia de água foram socializadas durante a apresentação. Foram citados: reaproveitamento da água chuva, do banho, da lavagem das roupas, evitando os vazamentos, fechando as torneiras quando está escovando os dentes, lavagem de louças e fazendo a barba. As afirmativas do questionário foram: não lavar calçada com água proveniente da mangueira, fechar a torneira enquanto: escova os dentes, lava a louça ou faz a barba, evitar banhos demorados, reaproveitar a água utilizada em algum processo doméstico (banho, lavagem de roupas) e coletar água das chuvas e reaproveitar com devido cuidado. Foi verificado que 76,3% dos estudantes marcaram todas essas alternativas como procedimentos necessários à economia.

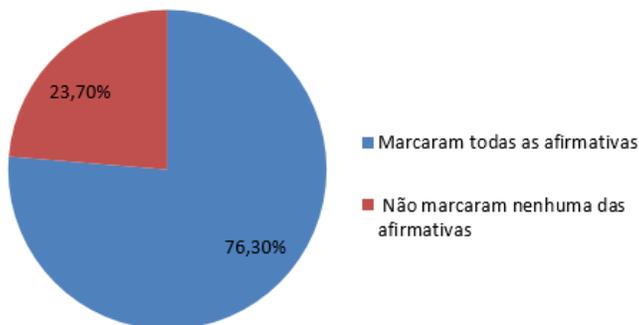


Figura 04 - O que podemos fazer para economizar água nas residências.

Na Figura 05 estão segregados os dados da quinta questão. A mesma buscou informação se os mesmos economizam água em suas residências e/ou espaços de convívio. Pode-se perceber que apenas 60% dos pesquisados economizam água no seu cotidiano, mesmo passando por situações críticas no município que estudam. Uma parcela de 39% não economiza, possivelmente pela falsa ideia de que a água é um recurso inesgotável ou pela falta de informação da necessidade de economizar.

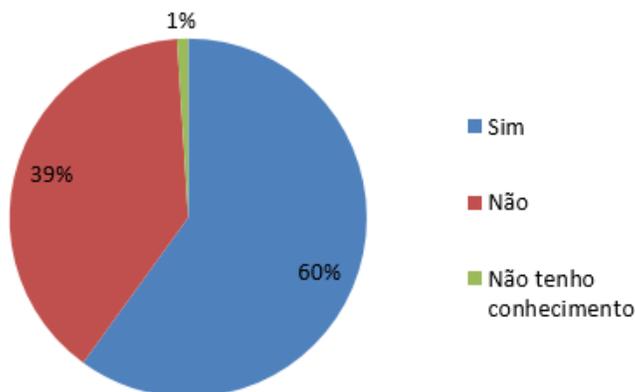


Figura 05 - Você economiza a água (em casa, na escola ou em outros locais de convívio).

Na Figura 06 estão ilustrados os indicadores que 70% dos pesquisados possuem vontade e interesse em economizar água. Muitos relataram, durante a apresentação, que passarão a economizar água em suas residências e que vão discutir o assunto com seus familiares. O resultado dessa questão nos permite inferir como é importante abordar assuntos relacionados aos temas ambientais nos espaços escolares.

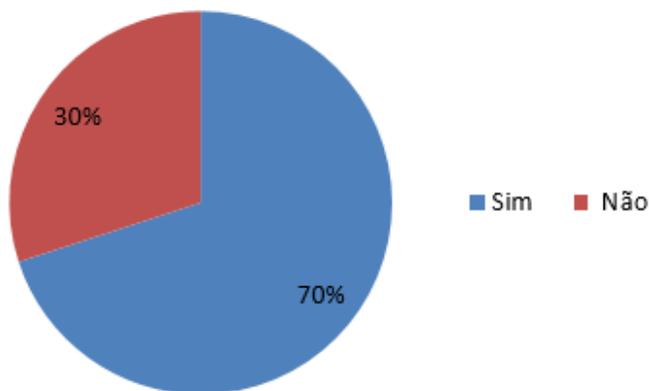


Figura 06- Tem interesse ou vontade de economizar água

Infere-se que a Educação Ambiental é extremamente importante para melhores condições de vida às futuras gerações, visto que a informação e o conhecimento podem proporcionar práticas mais limpas e menos ofensivas ao meio.

Durante a apresentação e aplicação do questionário, muitos estudantes disseram que esse tema nunca havia sido abordado em sala de aula e essa afirmativa foi endossada pelo professor da disciplina (química) que estava na sala. O mesmo afirmou que os números de aulas de química são insipientes e que o conteúdo estava atrasado.

Alguns autores defendem a ideia que a Educação Ambiental deixe de ser um tema transversal e passe a ser uma disciplina isolada, assim, discussões sobre essa temática poderiam ser mais amplamente discutidas. Vieira *et al* (2016) realizaram uma intervenção semelhante à desse trabalho e em seus resultados, verificaram que os estudantes necessitam de maiores informações sobre ao tema: Reutilização de água.

O surgimento e desenvolvimento da Educação Ambiental como método de ensino está diretamente relacionado ao movimento ambientalista, pois é fruto da conscientização da problemática ambiental. A ecologia, como ciência global, trouxe a preocupação com os problemas ambientais, surgindo à necessidade de se educar no sentido de preservar o meio ambiente (SANTOS, 2017).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A percepção ambiental é como uma visão que cada indivíduo tem do espaço que o cerca, uma imagem real do que vê o que o leva a interagir, podendo influenciar pessoas e o ambiente no qual interage. A percepção de cada indivíduo é um processo pessoal. Contudo, o indivíduo não age isoladamente num determinado ambiente, mais de forma coletiva, uma vez que, faz parte de um grupo com comportamento e características semelhantes.

A escassez da água gerou necessidade de sua conservação e reuso, o que leva a preservação de suas fontes e nascentes, proteção ambiental e benefícios sociais. A população passa a utilizar desse recurso com mais racionalidade.

As respostas dos estudantes envolvidos nesse trabalho mostraram que temas ambientais são, ainda pouco explorados nas escolas e que é preciso incluir e fazer-se cumprir os mesmos durante as aulas / discussões.

5 | REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. A percepção de alunos no ensino médio sobre o desperdício de água no ambiente escolar: Estudo de caso em duas escolas públicas de Manaus. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM. Nov. 2009. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNepI2010/paper/viewFile/265/211>>. Acesso em: 12. nov. 2016.

BRASIL. LEI Nº 9.795, DE 27 DE ABRIL DE 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União, 27 abril; 1999.

CUBA, M. A. Educação Ambiental nas escolas, 2010. In: CHALITA, G. Educação Ambiental nas escolas de ensino fundamental: estudo de caso. Garanhuns: Ed. Do autor, 2006.

CZAPKI, S. O caminho até o programa internacional de E.A. In: _____. A implantação da Educação Ambiental, 1998. Cap.1,p 27-30.

LOREIRO, B. C. F. Trajetória e Fundamentos da Educação Ambiental, Cortez Editora, ed. 1, 2006,p. 79

QUITINO, C. A. A. Um histórico sobre a Educação Ambiental no Brasil e no mundo. Disponível em: <<http://www3.unifai.edu.br/pesquisa/publicação/artigo-cientificos/professores/bacharelados/um-historico-sobre-educacao>>. Acesso em 03. Nov.2016

SANTOS, E. T. A. Educação Ambiental na escola: conscientização da necessidade de proteção da camada de ozônio, 2007. Monografia (Pós- Graduação em Educação Ambiental)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2017.

SILVA, D. G. A importância da Educação Ambiental para a sustentabilidade. 2012.11. Monografia- Faculdade Estadual de Educação, Ciências e Letras de Paranaíba, Paraná, 2012.

VIEIRA, C.V.; PUGAS, M.; CARVALHO, P.D.; COSTA, T.; RIBEIRO, M.; LEITE, L.B.; ALMEIDA, L.; Educação Ambiental na reutilização da água. XXX Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química. 2016

CAPÍTULO 4

CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS DAS METODOLOGIAS DE PROJETOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 06/11/2021

Luiz Gabriel Araújo da Fonseca

Universidade do Estado do Pará

Belém - Pará

<http://lattes.cnpq.br/5465487046394238>

Maria Fabiana Sousa Rosa

Universidade Federal do Pará

Belém - Pará

<http://lattes.cnpq.br/3004435013170278>

Ronilson Freitas de Sousa

Universidade do Estado do Pará

Belém - Pará

<http://lattes.cnpq.br/0747461930362318>

RESUMO: Esta pesquisa visa colaborar na identificação das principais contribuições pedagógicas da metodologia de projetos para o ensino de química. Para tanto, realizou-se uma revisão bibliográfica na base de dados Google Acadêmico. Os resultados apontaram para dois temas: Abordagens metodológicas de projetos no Ensino de Química e Experiências em metodologia de projetos na formação inicial. Apontamos a necessidade da inserção das metodologias de projetos na matriz curricular das licenciaturas dos cursos de Química, a fim de possibilitar experiências profissionais prévias dos licenciandos e é imprescindível a importância das metodologias ativas no ensino-aprendizagem na educação básica para oportunizar aos educandos uma educação prática e emancipadora e aos educadores práticas inovadoras.

PALAVRAS-CHAVE: ABP, Ensino de Química, Ensino-aprendizagem.

PEDAGOGICAL CONTRIBUTIONS OF PROJECT METHODOLOGIES IN CHEMISTRY TEACHING

ABSTRACT: This research aims to collaborate in the identification of the main pedagogical contributions of the project methodology for the teaching of chemistry. Therefore, a bibliographic review was carried out in the Google Academic database. The results pointed to two themes: Methodological approaches to projects in Chemistry teaching and Experiences in project methodology in initial training. We point out the need for the inclusion of project methodologies in the curriculum of undergraduate courses in Chemistry courses, in order to enable previous professional experiences for undergraduates and the importance of active methodologies in teaching-learning in basic education is essential to provide students with practical education and emancipatory and innovate practices to educators.

KEYWORD: PBA, Chemistry Teaching, teaching-learning

1 | INTRODUÇÃO

As aulas tradicionais são geralmente centralizadas no educador e não contribuem para que os estudantes sejam sujeitos ativos. Na medida em que desconsideram as concepções prévias, não possibilitam interações entre sujeito e objeto de conhecimento, nem a interação

entre os pares (SCARPA; CAMPOS, 2018). Por isso, é imprescindível implementar abordagens pedagógicas práticas em sala de aula que oportunizem ao estudante: coletar, relacionar, organizar, manipular e discutir informações com seus colegas e com o professor, proporcionando a compreensão de sua realidade humana e social (BARBOZA; MARTORANO, 2017).

As práticas inovadoras podem ser definidas como um conjunto de intervenções, decisões e processos que, com certo grau de intencionalidade e sistematização, tratam de alterar atitudes, culturas, ideias, conteúdos, modelos e práticas pedagógicas (MACENHAN; TOZETTO; BRANDT, 2016). Neste sentido, a Base Nacional Curricular Comum (BNCC) relata que:

“Não basta que os conhecimentos científicos sejam apresentados aos alunos. É preciso oferecer oportunidades para que eles, de fato, envolvem-se em processos de aprendizagem nos quais possam vivenciar momentos de investigação que lhes possibilitem exercitar e ampliar sua curiosidade, aperfeiçoar sua capacidade de observação, de raciocínio lógico e de criação, desenvolver posturas mais colaborativas e sistematizar suas primeiras explicações sobre o mundo natural e tecnológico, e sobre seu corpo, sua saúde e seu bem-estar” (BRASIL, 2018, p. 329).

Enfatiza-se aproximar os educandos dos processos, práticas e procedimentos da investigação científica, isto é, a educação cidadã proposta por John Dewey desde o século passado. Espera-se levar em consideração nesse modelo educacional em construção gradativa, as vivências dos educandos sobre o mundo que estão inseridos e os aspectos relacionados à ciência, tecnologia e meio ambiente.

Sendo assim, uma alternativa é o professor adotar atividades tanto individuais quanto coletivas que auxiliem na compreensão dos conteúdos, bem como na participação mais ativa do aluno, contribuindo para uma educação mais formativa em que tanto o professor quanto o aluno são os sujeitos principais do processo de ensino-aprendizagem (MOTA, SOUZA, 2021).

Neste contexto, destacam-se a utilização de metodologias ativas de ensino. Dentre as diversas possibilidades, apontamos a metodologia de projeto, também denominada de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), que é uma metodologia que estimula a cooperação, motivação e o conhecimento interdisciplinar para a educação no século XXI (BENDER, 2014).

O uso de projetos educativos no contexto educacional teve início ao final do século XIX, com as ideias de John Dewey que acreditava na educação escolar voltada para a formação cidadã, em que o educando pode ser responsável pela sua escolarização, estar no centro do processo educativo. E o educador assume a postura de mediador, com possibilidades de gerar no aprendiz a autonomia tão desejada na busca do conhecimento (SILVA et al., 2013). Nos últimos 25 anos, encontramos diversos trabalhos na literatura que utilizam a ABP como método de ensino em diferentes áreas, por ser uma tentativa de criar

práticas de ensino que reflitam o ambiente no qual os alunos vivem e aprendem (LIMA, NUNES, SOUZA, 2020a).

Portanto, destaca-se que a ABP visa a utilização de projetos autênticos e realistas a partir do contexto escolar para resolução de problemas, necessidades, questões ou tarefas investigadas, o que vai exigir um trabalho cooperativo entre a comunidade escolar, destacando-se os educandos e educadores (BENDER, 2014). Além de possibilitar a flexibilização e inserção de temáticas transversais para espaços formais e não formais de ensino, propiciando um trabalho docente mais reflexivo pelo tempo de execução e adaptação da metodologia nas aulas (LIMA, NUNES, SOUZA, 2020b).

Vale frisar que a ABP é um método de ensino inovador que pode agregar ao método tradicional da educação escolar e não somente uma proposta de substituição de método, pois ambos estão disponíveis para serem utilizados da melhor forma possível e nos momentos oportunos, com o intuito de favorecer o aumento do desempenho escolar, o interesse dos educandos, a motivação para aprender e a responsabilização pela sua própria escolarização. Por isso, acreditamos que seja uma metodologia possível para ser utilizada no ensino de química.

Neste contexto, foi organizada uma revisão da literatura a partir da questão de pesquisa: Quais as principais contribuições pedagógicas acerca das metodologias de projetos para melhorar o ensino de química? Para tanto, realizamos uma busca na base de dados Google Acadêmico com o objetivo de colaborar na identificação das principais contribuições pedagógicas da metodologia de projetos para o ensino de química.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho é de cunho qualitativo, tratando-se de uma revisão bibliográfica que, segundo Gil (2002, p. 45) “a principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao pesquisador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente”. Foi escolhida a base de dados *Google Acadêmico*, a qual se justifica por ser de domínio nacional e incluir trabalhos acadêmicos relacionados à temática em estudo. Para melhor definição dos termos, foram escolhidos os seguintes descritores: (“Metodologia de projetos” OU/OR “Método de projetos” OU/OR “Pedagogia de Projetos” OU/OR “Aprendizagem Baseada em Projetos” OU/OR “ABP” OU/OR “ABProj” OU/OR “Ensino por projetos” ou /OR “Abordagem por projeto”) E/ AND “Ensino de Química”, usamos o operador booleano “E” / “AND” com o propósito de restringir a busca para os títulos e resumos que apresentavam todos os termos da pesquisa, e “OU”/“OR” para a busca conter pelo menos um termo da pesquisa.

A partir da busca na base de dados, encontrou-se 11 artigos, 11 dissertações e 14 trabalhos em eventos. No entanto, para este estudo foram selecionados dois artigos e duas dissertações, primeiramente pela revisão do título e o resumo, e em seguida,

pela revisão do texto completo, que mais se adequou ao objeto de estudo. A partir da análise e interpretação dos dados por dois pesquisadores usando a análise qualitativa temática proposta por Braun; Clarke (2006) foi elaborado dois temas que correspondem aos resultados da pesquisa.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

O quadro1 mostra o “resumo das características de cada documento escolhido” para compor o corpus da revisão bibliográfica e o quadro 2 descreve a “Metodologia utilizada por educadores visando à aprendizagem significativa”. Em seguida as subseções: “Abordagens metodológicas de projetos no Ensino de Química”; “Experiências em metodologia de projetos na formação inicial” e “Sugestões para estruturar e desenvolver um projeto em sua sala de aula”.

Autores e ano	Objetivo	Conteúdos relacionados	Participantes	Código
Helvécio Costa Menezes. (2001)	Desenvolver um projeto envolvendo a informática e o meio ambiente, em uma situação de aprendizagem que facilite a compreensão dos fundamentos da Química.	Química, informática e meio ambiente	Alunos de graduação dos cursos de Engenharia Civil e Biologia nas disciplinas de Química I, Química II, Química III, Bioquímica, Leitura e Produção de Textos, Programação de Computadores e Introdução às Ciências Ambientais, envolvendo 120 alunos, orientados pelos professores.	Q1
P. C. Monteiro, N. N. M. Deimling, E. R. Crespan, R. B. Romero, A. L. Romero. (2015)	Relatar algumas atividades desenvolvidas com duas turmas do curso de Licenciatura em Química.	Estrutura atômica e tabela periódica; Ligações químicas; Estrutura da matéria; Funções inorgânicas; Teorias ácido-base; Balanceamento de Reações Químicas; Cálculo Estequiométrico; Soluções; Radioatividade.	Duas turmas do curso de Licenciatura em Química. Em cada um dos semestres, participaram destas atividades cerca de trinta alunos.	Q2
E. M. Melzer; D. P. Donato. (2015)	Discutir como o Ensino de Química pode ocorrer por meio da metodologia de Ilhas de Racionalidade.	Investigar de que maneira os professores da educação básica desenvolvem projetos de trabalho e sua relação com o ensino e aprendizagem de Química.	Duas turmas de licenciandos em Educação do Campo.	Q3
Eduarda Florencio Santos. (2018)	Investigar de que maneira os professores da educação básica desenvolvem projetos de trabalho e sua relação com o ensino e aprendizagem de Química.	Água; agrotóxicos; separação de misturas; substância pura, modelos atômicos e álcool	Um gestor, três docentes de química e trinta alunos do 1º no do Ensino Médio	Q4

Quadro 1: Resumo das partes dos quatro trabalhos selecionados.

Fonte: Autores (2021).

Código	Principais achados
Q1	Os alunos se aproximaram mais do professor da disciplina. Com relação às atividades experimentais, observou-se que no início do processo de execução do projeto os alunos se sentiram um pouco perdidos. Com relação ao conteúdo, observou-se que os alunos apresentaram boa compreensão dos conceitos trabalhados. Alguns alunos, no entanto, tiveram dificuldades em trabalhar com projetos, principalmente por não estarem habituados com este tipo de abordagem didática. Vários alunos tiveram dificuldades, também, na utilização de conceitos matemáticos básicos.
Q2	Compreensão da matriz curricular do curso de Licenciatura em Educação do Campo e sua ruptura com a tradição acadêmica do ensino por meio de disciplinas com um currículo pré-definido. Observa-se que não há uma temática definida, com os conteúdos a serem trabalhados.
Q3	Criação de situações de ensino-aprendizagem de química e outras disciplinas; Fomentação e cooperação docente e discente, trabalhar diversas habilidades dos alunos, e elaborar uma leitura crítica da realidade; Rigidez da estrutura curricular tradicional; Dificuldades próprias de se trabalhar com situações novas e complexas; Carência de ambientes virtuais de aprendizagem na área de Química no Brasil; Não foi possível utilizar inteligência artificial como ferramenta de apoio no desenvolvimento das atividades; A utilização da pedagogia de projetos aliada às tecnologias das mídias se complementou em favor da aprendizagem significativa, além de gerar ambientes propícios à colaboração e cooperação.
Q4	Constatou-se que a prática de projetos no ensino de química não contempla uma proposta fundamentada nos pressupostos que norteiam essa estratégia de ensino. A falta de parceria entre os protagonistas (gestão, professores, alunos) faz com não se tenha um maior apoio e motivação entre as partes para que se almeje um ensino mais dinâmico e significativo para os alunos. Outro ponto que merece destaque é a visão do trabalho com projetos associada apenas a prática experimental, isso geralmente é um reducionismo apresentado por grande parte dos professores que ensinam química, fazendo com que o projeto seja visto apenas como uma forma de trabalhar a teoria aplicada aos experimentos.

Quadro 2: Metodologia utilizada por educadores visando à aprendizagem significativa.

Fonte: Autores (2021).

3.1 Abordagens metodológicas de projetos no Ensino de Química

A dissertação de mestrado intitulada: “ABORDAGEM POR PROJETOS DE TRABALHO NO ENSINO DE QUÍMICA: UM RELATO DE EXPERÊNCIA EM UMA ESCOLA PÚBLICA DE ANTONINA- PR” (Quadro 1, Q4) traz apontamentos sobre a eficácia da utilização de projetos de trabalho para o ensino de química no Ensino Médio com estudantes do primeiro ano. Pode-se verificar que a prática de projetos no ensino de química não contempla uma proposta fundamentada nos pressupostos que norteiam essa estratégia de ensino. A falta de parceria entre os protagonistas (gestão, professores, alunos) faz com não se tenha um maior apoio e motivação entre as partes para que se almeje um ensino mais dinâmico e significativo para os alunos. Nesse sentido, Freire (1996, p. 15) destaca que “o educador democrático não pode negar-se o deve de, na sua prática docente, reforçar a capacidade crítica do educando, sua curiosidade, sua insubmissão”, e sim trabalhar com eles a rigorosidade metódica para aproximá-los dos objetos cognoscíveis.

Outro ponto que merece destaque é a visão do trabalho com projetos associada

apenas a prática experimental. Isso geralmente é um reducionismo apresentado por grande parte dos professores que ensinam química, fazendo com que o projeto seja visto apenas como uma forma de trabalhar a teoria aplicada aos experimentos. As aulas experimentais são relevantes para o aprendizado. No entanto, na maioria das vezes são selecionadas e conduzidas pelos professores e os educandos ficam somente na observação. Se as práticas docentes permanecerem fragmentadas, os aprendizes serão meros receptores de informações. Bachelard (1996) aponta como obstáculo substancialista atrapalha o progresso do pensamento científico. Sendo que o espírito científico não pode se satisfazer com a ligação de um fenômeno a uma determinada substância, sem relacioná-las a outros objetos”

Outro trabalho analisado foi a “A UTILIZAÇÃO DE PROJETOS COMO ABORDAGEM DIDÁTICA: EXPERÊNCIA COM LICENCIADOS EM QUÍMICA” (Quadro 1, Q2). Nesse artigo foi possível a compreensão da matriz curricular do curso de Licenciatura em Educação do Campo e sua ruptura com a tradição acadêmica do ensino por meio de disciplinas com um currículo pré-definido. Observa-se que não há uma temática definida, com os conteúdos a serem trabalhados, pois a Educação do Campo surge com uma matriz curricular a ser desenvolvida junto ao seu público-alvo, e suas especificidades. Diante da situação apresentada, Tomaz Tadeu da Silva (2005, p. 40) aponta “o currículo na perspectiva fenomenológica não é constituído de fatos e nem de conceitos teóricos e abstratos,” e sim é um local no qual educadores e estudantes têm a oportunidade de verificar, de maneira renovada, os significados dos contextos que estão inseridos que se acostumaram a ver como dados naturais.

3.2 Experiências em metodologia de projetos na formação inicial

Nesta temática foi analisada a dissertação de mestrado intitulada “AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM EM QUÍMICA” (Quadro 1, Q1). Percebeu-se que os alunos se aproximaram mais do professor da disciplina, o que facilita o processo educativo, a troca de experiência para possibilitar o aumento do desempenho acadêmico. Sendo assim, Bender (2014, p. 17) afirma “que os estudantes a partir do foco nas experiências de aprendizagens autênticas tendem a aumentar a motivação para participarem dos projetos educativos”.

Por fim, analisamos o artigo “REFLEXÕES E PROJEÇÕES SOBRE O USO DA TEORIA DE ILHAS DE RACIONALIDADE PARA A INSERÇÃO DO ENSINO DE QUÍMICA EM UMA LICENCIATURA EM EDUCAÇÃO DO CAMPO” (Quadro 1, Q3), no qual os autores apontaram fomentação e cooperação docente e discente, trabalhar diversas habilidades dos alunos, e elaborar uma leitura crítica da realidade. Sendo que a educação do campo visa uma formação integral do sujeito, englobando aspectos cognitivos, afetivos, motores e sociais no contexto que ele está inserido. Porém, destacaram a rigidez da estrutura

curricular tradicional que não colaboram para introdução de práticas educativas inovadoras. Os autores apresentaram como resposta a essa postura dos docentes pesquisados “dificuldades próprias de se trabalhar com situações novas e complexas”. Pode-se considerar que um dos fatores que contribuem para isso seria a carência de ambientes virtuais de aprendizagem na área de Química no Brasil. Sabe-se que a utilização da pedagogia de projetos aliada às tecnologias das mídias se complementaram em favor da aprendizagem significativa, além de gerar ambientes propícios à colaboração e cooperação, que teve como objetivo verificar concepções sobre as metodologias ativas de alguns licenciados de cursos de várias disciplinas, com ênfase na educação do campo. Bender (2014) sugere que “as ferramentas de planejamento metacognitivo ajudam os alunos a pensar sobre o nível de compreensão do conteúdo e a monitorar seu próprio progresso em direção à meta geral da ABP”. Em suma, o trabalho não permitiu utilizar inteligência artificial como ferramenta de apoio no desenvolvimento das atividades.

3.3 Sugestões para estruturar e desenvolver um projeto em sua sala de aula

A sequência metodológica para se estruturar e desenvolver um projeto em sua sala de aula pode ser desenhada em seis etapas, detalhadas a seguir:

1ª) Temática: Para escolher os possíveis temas para trabalhar com sua turma, faça uma lista de cinco situações problemas existentes na comunidade, tais como: ruído, poluição, geração de resíduos da agroindústria, lixo, qualidade da água, erosão de rios e lagos, dentre outras possibilidades. Essas situações podem ser levantadas por meio de conversas em sala com os alunos e/ou por conhecimento do ambiente e contexto em que eles vivem. Após essa etapa selecione as duas situações mais relevantes.

2ª) Âncora: Esta etapa é a preparação do cenário para o projeto com informações adicionais sobre as duas temáticas escolhidas. Faça uma apresentação expositiva e dialogada sobre as temáticas. É recomendado complementar com a utilização de notícias ou reportagens em jornais locais, vídeos, jogos didáticos de perguntas e respostas, e/ou palestras com especialistas. Após isso, veja qual a temática é a mais interessante aos alunos.

3ª) Questão norteadora: Esta etapa refere-se ao questionamento a ser investigado. Esta pergunta deve ser: a) provocativa: manter o interesse dos alunos ao longo do projeto e instigá-los a buscar a resposta e que não possa ser resolvida por uma simples busca no google. b) aberta: Assegure que a pergunta não possa ser respondida com um simples “sim” ou “não”. Após a definição da “questão de pesquisa” faça uma roda de conversa com a turma sobre as possíveis ideias para resolver o problema. Isso vai gerar as hipóteses da pesquisa.

4ª) Metodologia: Faça uma lista de material e/ou equipamentos que serão necessários para testar a hipótese. Em seguida, organize a turma em grupos utilizando o critério já adotado pelo docente em outras atividades. Na sequência, forneça as orientações

gerais para os grupos e marque reuniões de orientações para definir o plano de trabalho de cada grupo e execução do cronograma estabelecido entre o docente e os alunos. Neste plano de trabalho deve ter reuniões de Feedback para o grupo trazer os resultados parciais e as dificuldades. Este é o momento para o professor tirar dúvidas sobre conteúdos ainda não estudados pelos alunos. Os alunos devem ser orientados a registrar no seu caderno todas as observações, cálculos, dúvidas, ou detalhamento de experimentos. Nesta etapa é recomendado fazer desenhos e/ou esquemas dos acontecimentos, fazer registro fotográficos, filmagens e/ou gravações, o que pode ajudar a análise e apresentação da pesquisa no final.

5ª) Analisar os resultados: Nesta etapa os alunos farão relatórios com base nos registros realizados na etapa anterior e serão incentivados a realizar discussões e reflexões sobre os fenômenos vistos ou ser evidenciados, possibilitando uma visão além da prática de laboratório. Recomenda-se primeiro que os alunos revisitem sua questão de pesquisa, para com base na análise dos resultados apontar a resposta, assim, confirmando ou não sua hipótese ou elaboração de uma afirmação. Podem ainda, serem orientados a consultar outros trabalhos sobre a temática para ajudá-los a explicar (ou não) os resultados encontrados. Caso os alunos apresentem dificuldade na escrita deste relatório, podem ser feitos questionamentos (exemplos: O que você conhecia sobre o tema do projeto? Após a execução do projeto você acha que conhece mais sobre o tema do projeto, comente? Quais conceitos e/ou termos científicos você aprendeu durante a execução do projeto?). Dentre outras possibilidades de questões que podem ser propostas pelo professor com enfoque na temática específica do projeto. Assim, as respostas vão possibilitar maior troca de informações para a construção do conhecimento. Por fim, devem relatar qual a importância dos seus resultados.

6ª) Avaliação: De acordo com Bender (2014), o educador promove a avaliação da turma a partir de três momentos: a) Avaliação diagnóstica inicial - nesta etapa o educador aplica um pré-teste ou um questionário preliminar a fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a temática do projeto; b) Avaliação do projeto - nesta etapa os estudantes avaliam os aspectos positivos e negativos no desenvolvimento do projeto e c) Pós-teste - é aplicado aos estudantes para identificar se ocorreu a assimilação dos conceitos estudados, melhorando assim, o processo de ensino-aprendizagem da turma e proporcionando uma educação mais atrativa e eficiente.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destacamos a necessidade das metodologias de projetos no ensino de Química para a prática educativa inovadora (educador/a) e aprendizagem significativa (educando/a). Para isso, realizamos uma busca sucinta sobre a temática apresentada, destacando a metodologia de projetos envolvendo experiências educativas voltadas aos educandos do Ensino Médio e licenciandos dos cursos relacionados ao estudo da Química. Os resultados

da pesquisa evidenciaram que os educadores que utilizam a abordagem de metodologia de projetos contribuíram para motivar os educandos, auxiliá-los na compreensão do componente curricular de Química, e desenvolver competências, colocando o estudante no foco central do processo educativo. O mesmo aconteceu com os licenciados de Química, a relevância para o desenvolvimento do espírito científico para a prática educativa e o desenvolvimento de projetos em cooperação. Destacaram a flexibilidade do método para aprendizagem significativa.

Por outro lado, destaca-se a rigidez da estrutura curricular tradicional, que não colaboram para introdução de práticas educativas inovadoras, pois com a postura dos docentes pesquisados apresenta-se as “dificuldades próprias de se trabalhar com situações novas e complexas”. E percebeu-se que eles não se sentem preparados para utilizar diversos recursos.

Portanto, por meio dessa pesquisa foi possível enfatizar as contribuições das metodologias de projetos no ensino de Química para protagonismo do aluno, desenvolvendo habilidades de levantar questões e problemas e buscar soluções viáveis, tornando-os mais participativos e reflexivos para a execução de todas as fases do projeto que desenvolvem juntamente com o educador. E a necessidade da inclusão das metodologias ativas na matriz curricular dos cursos de licenciaturas para possibilitar aos educadores em formação inicial o aporte teórico metodológico para subsidiar o processo de ensino e aprendizagem dos alunos em busca de uma formação cidadã para além dos muros da escola.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuições para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARBOZA, R.; MARTORANO, S. A. A.; **Reflexões e práticas na formação de professores de ciências naturais**. Revista Brasileira Educação em Ciências e Educação Matemática (ReBECeM), v.1, n.1, p. 16-29, dez. 2017.

BENDER, W. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: Penso, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base nacional comum curricular- Educação é a base**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/04/BNCC_19mar2018_-versaofinal.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.

BRAUN V, CLARKE V. **Using thematic analysis in psychology**. Qualitative Research in Psychology, 2006;3:77-101

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra. 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas. 2002.

a) LIMA, S. F. ; NUNES, E. C. ; SOUZA, R.F. . **Aprendizagem baseada em projetos: um relato de experiência em classe multissérie nos anos iniciais do ensino fundamental**. DYNAMIS (FURB. ONLINE), v. 26, p. 177-192, 2020.

b) LIMA, S. F.; NUNES, E. C.; SOUZA, R. F. **Abordagem da temática queimadas por meio da aprendizagem baseada em projetos no ensino de Ciências da Natureza.** EXPERIÊNCIAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS (UFRGS), v. 15, p. 96-108, 2020.

MACENHAN, C.; TOZETTO, S. S.; BRANDT, C. F. **Formação de professores e prática pedagógica: uma análise sobre a natureza dos saberes docentes.** Práxis Educativa, v. 11, n. 2, p. 505-525, 2016.

MELZER, E. M; DONATO, D. P. **Reflexões e progressões sobre o uso da teoria de ilhas de racionalidade para a inserção do ensino de química em uma licenciatura em educação do campo.** Scientia pleno. v. 11.n, 06. p. 1-11. 2015.

MENEZES, H. C. **Ambientes Virtuais de Aprendizagem em Química.** Florianópolis, 2001. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

MONTEIRO, D. C; DEIMLING, N.N.M; CRESPLAN, E. R; ROMERO, R.B; ROMERO, A. L. **Utilização de Projetos como abordagem didática: uma experiência com licenciados em química.** Institute of Science Education. v. 1, p. 121271-121278, 2015.

MOTA, M. L.; SOUZA, R. F. **Truth or dare? A didactic game as an alternative in Thermochemistry teaching.** EXPERIÊNCIAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS (UFRGS), v. 16, p. 212-231, 2021.

SANTOS, E. F. **Abordagem por projetos de trabalho no ensino de químico em escola pública de Caruaru- Pernambuco-2018.** 11f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, 2018.

SCARPA, D. L.; CAMPOS, N. F. **Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação.** Estudos avançados, v. 32, n. 94, p.25-41, 2018.

SILVA, E; MORAIS, J; BARBOSA, I. **AS IMPLICAÇÕES DA TEORIA DE CARL RANSOM ROGERS PARA A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS.** Ver. ARETÉ/ Manaus/v2. n. 10. p.63-72. Jan- jun, 2013.

SILVA, T. T. **Documentos de identidade: uma introdução às teorias do currículo.** Belo Horizonte: Autêntica, 2005.

CAPÍTULO 5

ENSINO DE QUÍMICA: INVESTIGAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE APRENDIZADO SEGUNDO A VISÃO DOS ALUNOS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 20/12/2021

Alan Stampini Benhame de Castro

Universidade Federal de Viçosa - UFV,
Departamento de Química – DEQ
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1212524303950164>

Hauster Maximiler Campos de Paula

Universidade Federal de Viçosa - UFV,
Departamento de Química – DEQ
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1636694038972802>

Cristiana Resende Marcelo

Universidade Federal do Maranhão - UFMA,
Centro de Ciências, Educação e Linguagens
Bacabal – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/2448133326632836>

RESUMO: Uma das principais razões que gera problemática no ensino da disciplina de química atualmente é a falta de conexão entre a vida cotidiana do aluno e o conhecimento químico. O aluno tem dificuldade em relacionar o que estuda na escola e o que ocorre na sua alimentação, vestuário, saúde, moradia, transporte, enfim, na sua vida. A química é uma ciência experimental, mas a metodologia utilizada por muitos professores dificulta o aprendizado, pois, muitos ainda trabalham de maneira tradicional, através de aulas expositivas, sem incrementar o estudo com aulas experimentais, recursos didáticos e diferentes alternativas que melhorem

o aprendizado ou que podem proporcionar um maior interesse às aulas de química. Este trabalho tem como objetivo abordar a percepção do ensino de química no cotidiano do aluno, bem como avaliar o nível de dificuldade dos alunos em relação aos conteúdos presentes na matriz curricular, além de aplicar ações de intervenção no processo ensino/aprendizagem, de forma que a correlação dessa ciência com a vivência do aluno pudesse ser estreitada. Diante dos resultados obtidos, percebeu-se uma diferença considerável quanto ao nível de aprendizagem de muitos alunos e pôde-se perceber a importância de se colocar o aluno diante do experimento para uma melhor aprendizagem.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de química, Dificuldades, Ensino Médio.

CHEMISTRY TEACHING: INVESTIGATION OF LEARNING CONCEPTS ACCORDING TO STUDENTS' PERSPECTIVES

ABSTRACT: Today, one of the main reasons that causes problems in teaching Chemistry is the absence of connection between the student's daily life and chemical knowledge. Students find it difficult to relate what they study at school and what happens in their food, clothing, health, housing, transport, in short, in their life. Chemistry is an experimental science, but the methodology used by many teachers makes learning difficult, as many still work in a traditional way, through lectures, without increasing the study with experimental classes, teaching resources and different alternatives that improve learning or that can add interest to chemistry classes. This

work aims to address the perception of teaching chemistry in the student's daily life, as well as to assess the level of difficulty of students in relation to the contents present in the curriculum, in addition to applying intervention actions in the teaching/learning process, so that the correlation of this science with the student's experience could be narrowed. The results obtained show a considerable difference in the level of learning of many students and it was possible to perceive the importance of introducing the student in practical experiments for a better learning.

KEYWORDS: Teaching Chemistry, Difficulties, High School.

1 | INTRODUÇÃO

A química é a ciência que estuda a natureza da matéria, suas transformações e a energia envolvida nestes processos. Podemos dizer que tudo a nossa volta envolve química, pois todos os materiais que nos cercam são classificados com eventualidades teóricas e práticas dessa ciência. A química está em pleno desenvolvimento e suas aplicações podem ser percebidas em muitos eventos comuns que se passam conosco e ao nosso redor, tais como: o enferrujar de um prego, a combustão envolvida em motores de carros e motos, ao recarregarmos nossos celulares, dentre muitos outros eventos.

No entanto, um dos principais problemas relacionados ao ensino de química é o elevado grau de abstração necessário para entender teorias e modelos em nível atômico e fenômenos observados em escala macroscópica (DA SILVA, 2007). Portanto, é importante realizar estudos e propor mecanismos que visem à melhoria da prática pedagógica e mudanças na concepção da retórica tradicional, adicionando ao ensino elementos que auxiliem o aprendizado de química.

Este trabalho propôs-se a investigar como se dão as relações entre o cotidiano do estudante de ensino médio e os conteúdos abordados na disciplina de química, bem como avaliar o nível de dificuldade em relação aos conteúdos presentes na matriz curricular de química no ensino médio e aplicar ações de intervenção no processo de ensino/aprendizagem, de forma que a correlação dessa ciência com a vivência pudesse ser estreitada. Portanto, buscou-se um levantamento de dados, através da aplicação de questionários a alunos de ensino médio, onde os mesmos puderam listar sugestões que favoreçam a aprendizagem de química e que tornem as aulas mais atrativas e prazerosas.

Considerando que muitas pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de identificar e solucionar problemas no ambiente educacional, como indisciplina, falta de motivação, baixo rendimento escolar, dentre outros, espera-se que este trabalho possa contribuir para uma educação de melhor qualidade, em que os conteúdos abordados tenham relevância intelectual e social na vida dos alunos.

21 MÉTODOS

Empregou-se uma pesquisa exploratória através da aplicação de uma sequência de questionários semiestruturados, sendo eles: “Questionário 1: Avaliação da disciplina”, “Questionário 2: Percepção da química como ciência do cotidiano” e “Questionário 3: Diagnóstico do grau de dificuldade dos conteúdos de química”, que tiveram diversas abordagens sobre a temática do projeto.

QUESTIONÁRIO 1: AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA	Nº
<i>Marque com X as seguintes.</i>	
1. Você considera a Química uma disciplina de que nível de compreensão? () Baixo () Médio () Alto	
2. Para você qual nível de importância em estudar Química? () Baixo () Médio () Alto	
3. Você gosta das aulas de Química em que nível? () Baixo () Médio () Alto	
4. A disciplina Química esta relacionada ao nosso cotidiano em que nível de inserção? () Baixo () Médio () Alto	
5. Você considera importante a relação entre o professor e aluno a que nível de importância? () Baixo () Médio () Alto	
6. Você considera essencial a realização de aulas práticas e ou experimentos para compreender os conteúdos abordados em Química? () Sim () Não	
7. Pensa que algo pode ser feito para melhorar as aulas de química? O quê? () Sim () Não _____ _____	

QUESTIONÁRIO 2: PERCEPÇÃO DA QUÍMICA COMO CIÊNCIA DO COTIDIANO	Nº
<i>Responda as questões de acordo com seu conhecimento sobre o assunto.</i>	
1. A Química está relacionada ao nosso cotidiano? Explique.	
2. Identifique cinco produtos utilizados em sua casa que contenham componentes químicos.	

3. Qual o papel da Química na sociedade?
4. Aprender Química ajuda compreender melhor o mundo que nos cerca? Explique.
5. Cite três exemplos de indústrias que utilizam a Química frequentemente.
6. Explique por que o nosso corpo é uma estrutura rica em Química.
7. A Química é a responsável por toda poluição que encontramos no planeta? Explique.

QUESTIONÁRIO 3: DIAGNÓSTICO DO GRAU DE DIFICULDADE DOS CONTEÚDOS DE QUÍMICA	Nº			
<p>1ª Coluna: Enumere de 1 a 5 a seguinte matéria segundo o grau de dificuldade. (5) Muito difícil (4) Difícil (3) Média (2) Fácil (1) Muito fácil</p> <p>2ª e 3ª Coluna: Marque com X as seguintes: - Se a sua dificuldade em relação à matéria for em "CÁLCULO". - Se a sua dificuldade em relação à matéria for em "CONCEITO". Obs.: Se for o caso, pode-se marcar as duas opções.</p> <p>4ª Coluna: Marque com X caso não tenha estudado o conteúdo.</p>				
	1 a 5	CONCEITO	CÁLCULO	N Ã O ESTUDEI
Composição e transformação dos sistemas materiais.	()			
Notação e nomenclatura química.	()			
Estrutura atômica.	()			
Tabela periódica.	()			
Ligações químicas.	()			
Funções inorgânicas.	()			
Cálculos estequiométricos.	()			
Soluções.	()			
Termoquímica.	()			
Eletroquímica.	()			
Cinética química.	()			
Equilíbrio químico.	()			
Compostos orgânicos.	()			
Reações Orgânicas.	()			
Isomeria.	()			

Foram aplicados os questionários 1, 2 e 3. Todas as respostas dos questionários foram representadas graficamente para uma melhor análise.

A pesquisa foi direcionada a 48 alunos do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública do município de Ubá, localizada no Estado de Minas Gerais, onde a sua escolha se decorreu da conjunta participação com o PIBID. Os objetos de estudo foram alunos frequentes de uma turma 3º ano do ensino médio em amostragem significativa, que por estarem no último ano do ensino médio tiveram acesso a um maior número de conteúdos de química desse nível escolar.

3 | RESULTADOS

O critério de avaliação abordado foi a avaliação diagnóstica, onde o professor verifica os conhecimentos prévios dos alunos. Não teve a finalidade de atribuir nota. Para Luckesi (2000, p. 09), “[...] para avaliar, o primeiro ato básico é o de diagnosticar, que implica, como seu primeiro passo, coletar dados relevantes, que configurem o estado de aprendizagem do educando ou dos educandos”. Dessa forma:

A avaliação diagnóstica é aquela realizada no início de um curso, período letivo ou unidade de ensino, com a intenção de constatar se os alunos apresentam ou não o domínio dos pré-requisitos necessários, isto é, se possuem os conhecimentos e habilidades imprescindíveis para as novas aprendizagens. É também utilizada para caracterizar eventuais problemas de aprendizagem e identificar suas possíveis causas, numa tentativa de saná-los. (HAYDT, 1995, p. 16-17).

As análises dos dados quanto à opinião dos alunos do terceiro ano do ensino médio sobre a disciplina de química, foi obtido através do “Questionário 1: Avaliação da disciplina”, que procurou investigar por meio de sete questões a diversidade de respostas quanto às razões que fazem com que a química seja tratada como de difícil entendimento. Os resultados são apresentados na figura 1.

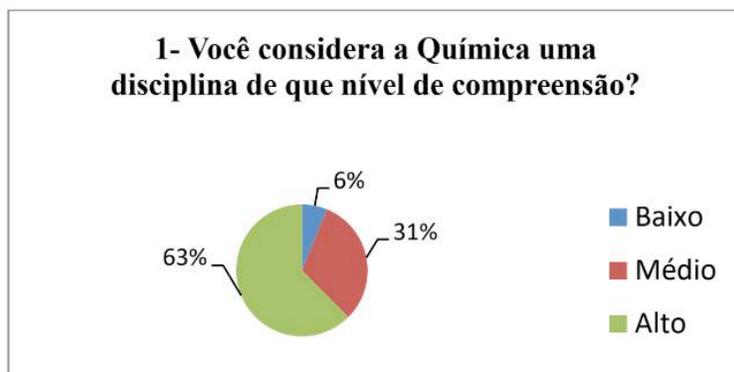


Figura 1. Respostas obtidas a questão nº1 do questionário de avaliação da disciplina.

Nesse primeiro questionamento, percebe-se que a grande maioria dos alunos respondeu que a química é considerada como uma disciplina de alto nível de compreensão, ou seja, de difícil entendimento, seguido de uma porcentagem significativa que a consideraram como nível médio e uma parcela mínima de 6% avaliaram a disciplina como nível baixo de compreensão.

A segunda questão verificou que os alunos não possuem uma ideia concreta da importância de se estudar tal disciplina, pois menos da metade, ou seja, 48% das respostas a consideraram com índice alto de importância e cerca de 52% a indicaram como índice médio de importância, conforme mostra a figura 2.

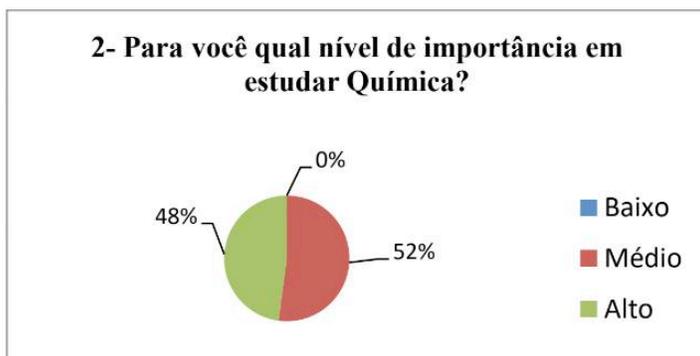


Figura 2. Respostas obtidas a questão n°2 do questionário de avaliação da disciplina.

A disciplina de química no ensino médio normalmente não é bem compreendida por parte dos alunos que relacionam essa ciência como abstrata, longe da realidade e pouco utilizável. Frequentemente os professores são questionados pelos alunos sobre o porquê estudar esta disciplina se não irão utilizá-la na profissão futura (CARDOSO; COLINVAUX, 2000).

Outra indagação feita aos alunos foi relacionada ao fato do gosto pelas aulas de química. Os resultados obtidos para esta terceira questão descritas na figura 3.

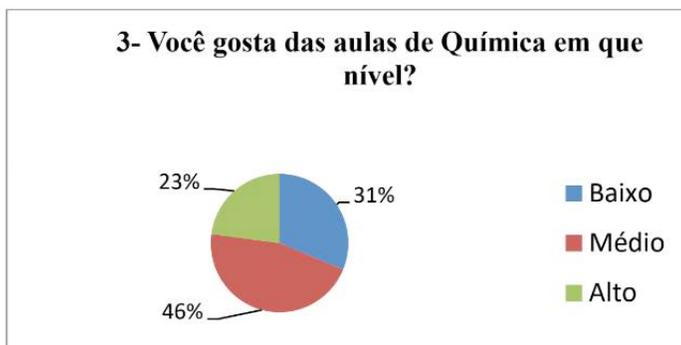


Figura 3. Respostas obtidas a questão n°3 do questionário de avaliação da disciplina.

Nessa questão 3 obteve-se uma resposta curiosa, pois por se tratar de uma disciplina de difícil compreensão, esperava-se uma resposta negativa como resultado, mas o que ocorreu foi o contrário. Conforme mostra a figura 3, 46% dos alunos não consideram as aulas de química ruim nem boa, indicando que essa resposta possa estar relacionada ao fato das aulas nem sempre serem apresentadas de uma forma mais interessante.

A questão 4 avaliou a percepção dos alunos quanto à utilização de química no cotidiano. Os resultados são mostrados na figura 4.

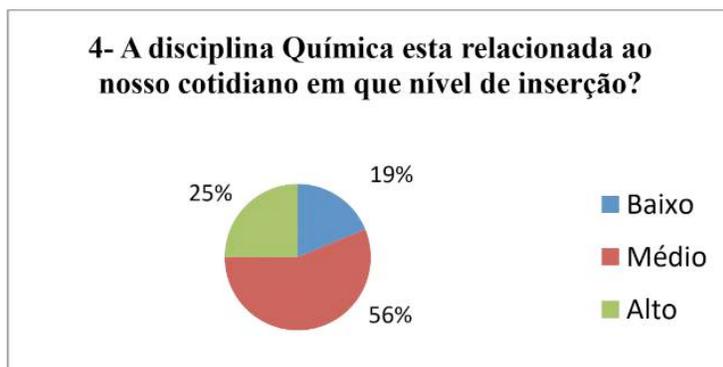


Figura 4. Respostas obtidas a questão n°4 do questionário de avaliação da disciplina.

A análise das respostas da questão quatro (figura 4) reforça o resultado obtido na questão dois, onde a importância de se estudar química está diretamente relacionada à sua utilização no cotidiano. A maioria dos alunos (56%) considera que a química está relacionada ao nosso cotidiano com nível de inserção médio, ou seja, eles têm noção de que há uma relação entre a química e o cotidiano.

A questão 5 verificou a importância dada à relação entre professor e aluno. Os resultados são mostrados na figura 5.



Figura 5. Respostas obtidas a questão n°5 do questionário de avaliação da disciplina.

Como mostra a figura 5, a grande maioria dos alunos (cerca de 63%) afirmou que é altamente importante a relação entre o professor e o aluno. Entretanto, o que ocorre na maioria das vezes é que as aulas são desinteressantes, o professor utiliza o mesmo material por anos seguidos, não busca informações, não se atualiza, segue rigorosamente o programa proposto, e assim, se torna incoerente o fato deste ente da relação querer que o aluno permaneça “prestando atenção” a algo que para ele não tem o menor interesse.

Neste contexto, para o bom desenvolvimento das relações sociais é fundamental criar uma interação entre quem ensina e aquele que aprende no qual o desenvolvimento do saber não pode ser apenas mecânico, repetitivo e memorístico, mas sim adquirindo novos significados, sendo que os professores precisam estar preparados para esta prática que exigirá uma nova postura frente ao alunado e ao conhecimento, além do profundo ato de aprender, a metodologia será modificada em função do conhecimento (KULLOK, 2002).

Como a química é uma ciência experimental, elaborou-se um questionamento sobre a necessidade da realização de experiências para uma melhor compreensão dos conteúdos. Os resultados são mostrados na figura 6.

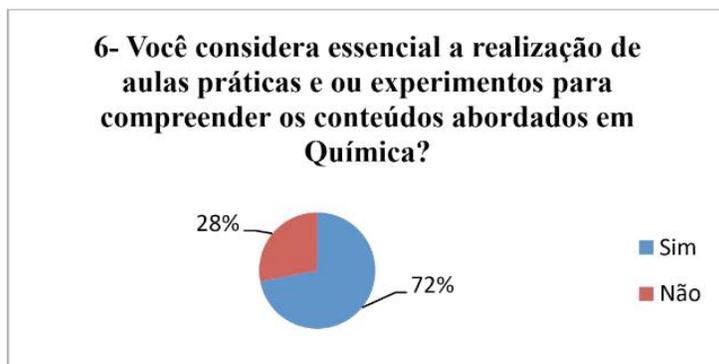


Figura 6. Respostas obtidas a questão n°6 do questionário de avaliação da disciplina.

Em relação a questão seis, a grande maioria dos alunos responderam que sim, consideram essencial a realização de aulas práticas e ou experimentos para compreender os conteúdos de química, o que representa uma resposta muito objetiva sobre a necessidade da observação dos fenômenos químicos.

Segundo Izquierdo et al. (1999), a experimentação na escola pode ter diversas funções, como a de ilustrar um princípio, desenvolver atividades práticas, testar hipóteses ou servir como investigação. No entanto, essa última, é a que mais ajuda o aluno a aprender.

Quando deparados com a questão 7 , “7- Pensa que algo pode ser feito para melhorar as aulas de química? O quê?” obtivemos respostas que evidenciam que os alunos possuem propostas para a melhora do ensino de química, e que apenas falta diálogo entre os professores e os alunos neste sentido, como pode ser observado em algumas das

respostas:

“Sim. O professor não explica direito e somente com o livro não consigo entender. Quería aulas com desenhos e explicações melhores.”(Aluno, 1)

“Sim. Falta aula de laboratório, nunca fui no laboratório que é cheio de coisas químicas.”(Aluno, 12)

“Sim. Para começar eu não me dou bem com química é muita coisa para decorar e nunca me lembro de fórmulas. Como tenho dificuldade de física também, acho que o professor deve dar trabalhos em grupo pois assim agente junta o que cada um aprendeu e todos ganham.”(Aluno, 40)

Pela resposta do aluno 1 podemos perceber que o professor pode ser classificado como um simples reproduzidor técnico dos conceitos químicos, pois apresenta apenas um modo de esplanção dos conceitos químicos através de livros. O aluno 12 reforça a ação de aulas práticas para facilitar o aprendizado de algumas matérias em química, isto porque somente a aula teórica nem sempre é capaz de esclarecer o conteúdo. O aluno 40 denota que a química possui muita coisa para decorar, assim com em outras disciplinas é verificado um acúmulo de informações em nosso cérebro, porém se estas não forem significativas para nós não será válida para a aprendizagem.

Uma segunda abordagem foi realizada por meio do “Questionário 2: Percepção da química como ciência do cotidiano”, que objetivou uma pré avaliação dos alunos em relação à inserção da química no nosso meio. Como todas as perguntas foram discursivas, foi feita uma avaliação segundo três qualificações de respostas, “totalmente correta”, “parcialmente correta” e “incorreta”.

Os alunos foram primeiramente indagados sobre a presença de química no cotidiano. Os resultados são mostrados na figura 7.

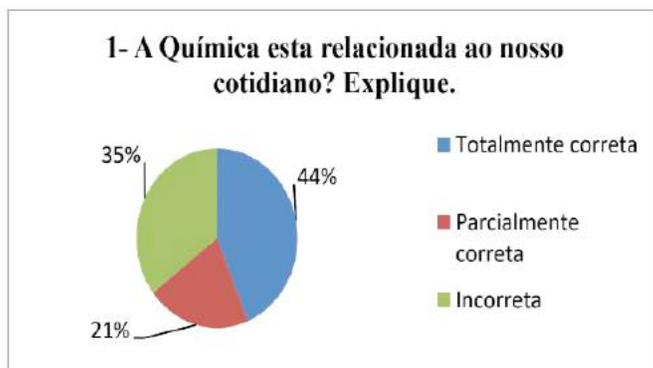


Figura 7. Respostas obtidas a questão nº1 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Analisando a figura 7, verifica-se um conhecimento mediano por parte dos alunos

da ligação entre a química e o cotidiano, sendo que 44% responderam corretamente a questão, 21% não conseguiram se expressar de maneira concisa e os 35% restantes responderam de maneira equivocada. Em muitas escolas a química se resume à passagem de conteúdos onde não são apresentados exemplos que os correlacionam com o dia-a-dia, o que tem gerado uma carência generalizada de familiarização com a área, uma espécie de analfabetismo químico que deixa lacunas na formação dos cidadãos (ZANON, 2007).

Uma segunda questão foi elaborada para avaliar a capacidade de assimilação dos alunos quanto à presença da química no seu meio (figura 8).

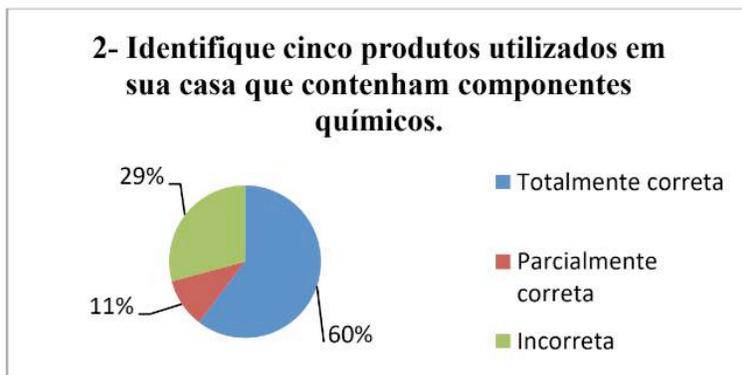


Figura 8. Respostas obtidas a questão nº2 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Em relação a esta segunda questão, cerca de 60% dos alunos conseguiram assimilar cinco produtos utilizados em suas casas que contenham componentes químicos sendo que grande parte desse montante relacionou com produtos de limpeza. Um percentual de 29% não soube responder a questão e 11% responderam de forma incompleta. Relacionar o conteúdo as vivências dos alunos é uma maneira eficiente de ensinar e melhorar o entendimento dos conteúdos de química, facilitando a aprendizagem. Porém, o professor deve buscar uma diversificação de exemplos e temas tratados em sala de aula para apresentar a gama de empregos do conhecimento relacionado ao assunto trabalhado (DE ALMEIDA, 2008).

Uma questão sobre o papel da química na sociedade foi submetida aos alunos, questão 3. Os resultados dessa questão estão apresentados na figura 9.

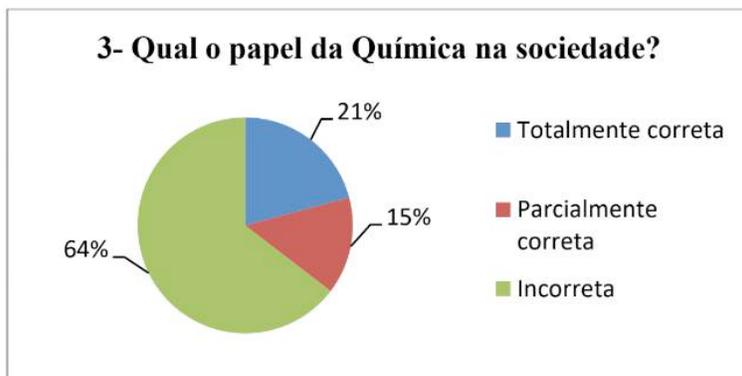


Figura 9. Respostas obtidas a questão nº3 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Quando deparado com as respostas da questão três, percebeu-se uma grande dificuldade dos alunos em expressar de que forma a química demonstra sua contribuição para a sociedade, uma vez que cerca de 64% não conseguiram responder corretamente a pergunta, o que representa uma problemática a ser trabalhada em sala de aula. Apenas 21% responderam corretamente e 15% conseguiram responder parte da questão.

Abordando agora outros aspectos foi realizada a pergunta quatro (figura 10), com o intuito de avaliar a importância em estudar química para uma melhor compreensão do meio em que vivemos.



Figura 10. Respostas obtidas a questão nº4 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Como se observa na figura 10, aproximadamente 52% dos alunos responderam de maneira correta, ou seja, conseguiram descrever a importância dos estudos da química para a compreensão dos fenômenos que nos cercam, 21% também compreenderam de

certa forma a sua importância, mas 27% não conseguiram responder à questão.

Outro diagnóstico foi realizado com o objetivo de verificar se os alunos sabiam mencionar indústrias que lidam com a ciência química. O resultado das respostas da questão 5 está apresentado na figura 11.

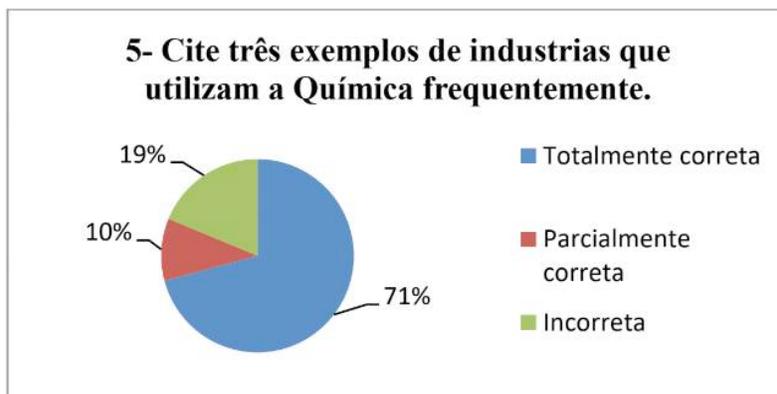


Figura 11. Respostas obtidas a questão n°5 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

A figura 11 nos mostra que cerca de 71% dos alunos possuem grande domínio da utilização frequente de química no meio industrial, enquanto 19% não sabem responder a esta questão e 10% ainda apresenta algumas dúvidas sobre o assunto. Dentre as respostas analisadas a grande maioria citou a indústria moveleira, pois a economia da cidade onde moram é movida principalmente por esse setor, o que mostra como a interação cultural é importante para o entendimento e relação dos estudos aprendidos em sala.

Um questionamento sobre a afirmativa de que o nosso corpo é rico em química foi realizado, sendo os resultados mostrados na figura 12.

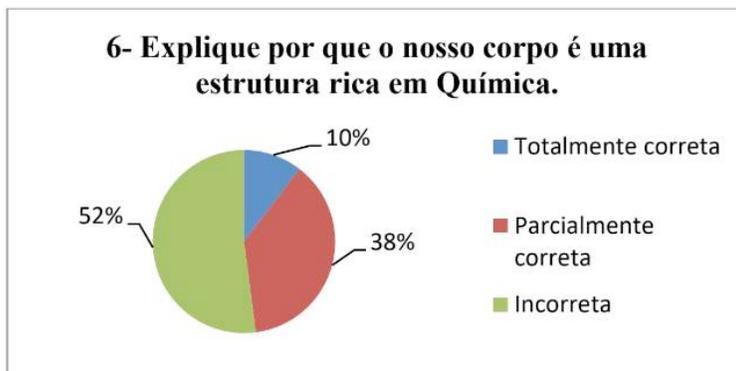


Figura 12. Respostas obtidas a questão n°6 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Ao analisar as respostas da questão seis, percebeu-se que 52% dos alunos não conseguiram descrever porque o corpo humano é uma estrutura rica em química, que 38% responderam com avaliação parcial e apenas 10% responderam com qualificação totalmente correta. Isso representa o quanto os alunos precisam realizar trabalhos de interdisciplinaridade, como o item em questão relacionar a matéria biologia e a química.

Abordando os aspectos ambientais foi realizada a questão sete, de maneira a avaliar a visão dos alunos sobre a inserção de química neste contexto (figura 13).

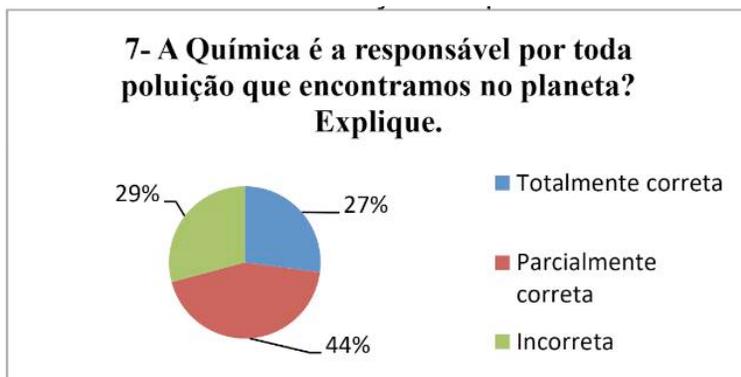


Figura 13. Respostas obtidas a questão nº7 do questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Como podemos observar, para muitos a química é a causadora da poluição que encontramos nos dias de hoje, reflexo da visão dessa ciência pela sociedade como uma vilã responsável por tragédias, como o derramamento de petróleo no Golfo do México, pela poluição de águas, contaminação do ar e etc. No entanto, muitas pessoas desconhecem que nosso cotidiano está repleto de benefícios provenientes da química.

Contabilizando a percepção dos alunos em relação a química como ciência do cotidiano, como mostra a figura 14, verifica-se o apanhado geral de todas as respostas do questionário aplicado.

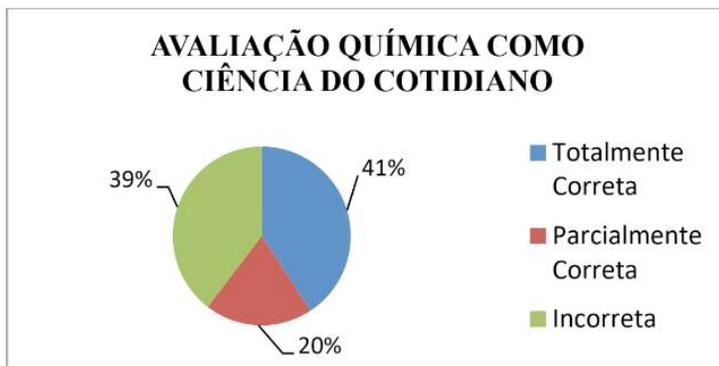


Figura 14. Resultado obtido das respostas relacionadas ao questionário da percepção da química como ciência do cotidiano.

Apesar dos resultados apresentarem um panorama favorável ao entendimento dos alunos sobre a relação da química com o cotidiano, observa-se que uma grande parcela ainda não consegue fazer esta associação. Este resultado se classifica como mediano visto que os alunos nunca foram avaliados segundo a química como ciência do cotidiano, somente a química matéria escolar por si só.

Para uma análise mais aprofundada sobre a relação ensino/aprendizagem de química foi proposta a realização do terceiro questionário: “Questionário 3: Diagnóstico do grau de dificuldade dos conteúdos de química”, visando verificar de maneira sucinta os conteúdos considerados pelos alunos como os mais difíceis. Dessa forma, foi avaliada a dificuldade em relação aos aspectos conceituais ou de cálculos. Também foi investigado o fato do conteúdo ter sido estudado ou não pelo aluno (figura 15 e 16).



Figura 15. Resultado entre a relação das matérias de química e grau de dificuldade.

Quanto à avaliação da disciplina de química pelos conteúdos e grau de dificuldade apresentado na figura 15 obteve respostas muito características. Para começar percebeu-se que apesar dos alunos estarem no início da sequência evolutiva do processo de aprendizagem em química, os conteúdos do primeiro ano (Composição e transformação, Notação e nomenclatura, Estrutura atômica, Tabela periódica, Isomeria, Ligações químicas e Funções inorgânicas) foi diagnosticado como os mais fáceis (abaixo de 50%). Considerando os conteúdos de maior de dificuldade aqueles acima de 50% (Cálculos estequiométricos, Eletroquímica, Soluções, Termoquímica, Eletroquímica, Cinética química, Equilíbrio químico, Compostos orgânicos e Reações Orgânicas) verifica-se que todos os tópicos são pertencentes à grade curricular do segundo ano exceto reações orgânicas que está alocado no terceiro ano.

A matriz curricular de química do segundo ano do ensino médio é baseada nos conteúdos de físico-química, área que estuda as propriedades físicas e químicas da matéria. Esta é considerada uma área bastante complexa, uma vez que utiliza a matemática como ferramenta para a construção de suas bases teóricas, ou seja, para a descrição do comportamento dos fenômenos químicos.

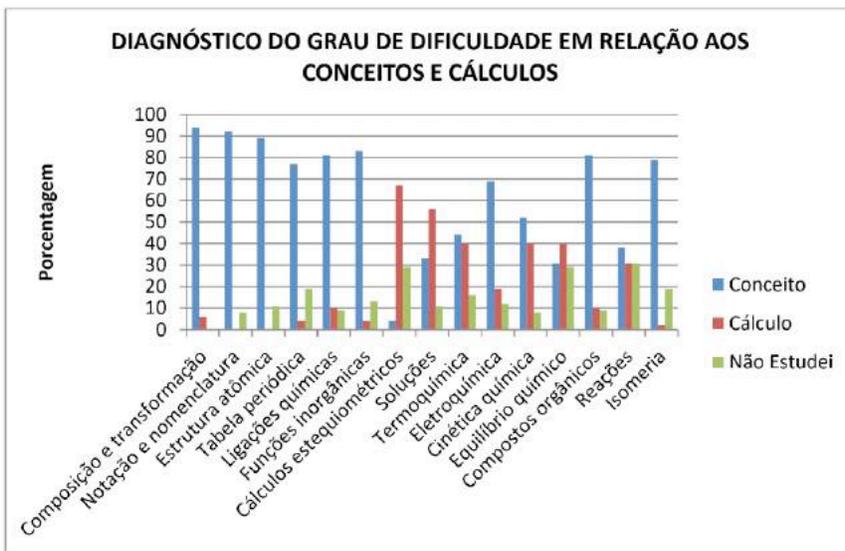


Figura 16. Resultado obtido da dificuldade em relação a cada conteúdo.

Observando a figura 16, pode-se avaliar o grau de dificuldade em relação à conceituação e aos cálculos químicos. Assim verifica-se que os conteúdos diagnosticados como os mais difíceis (acima de 50%) em relação aos conceitos foram Composição e transformação dos sistemas matérias; Notação e nomenclatura química; Estrutura atômica; Tabela periódica; Ligações químicas; Funções inorgânicas; Eletroquímica; Compostos orgânicos e Isomeria, e em relação aos cálculos foram Cálculos estequiométricos e Soluções.

Além disso, considerando que o “Questionário 3: Diagnóstico do grau de dificuldade nos conteúdos de química” foi aplicado à mesma turma, observa-se duas respostas que se contradizem, uma vez que na maioria dos casos parte dos alunos avalia o grau de dificuldade dos conteúdos enquanto que outra parte menciona não ter estudado os mesmos. Dessa forma pode-se inferir que houve uma falha no processo de ensino/aprendizagem, visto que muitos alunos não conseguiram assimilar o conteúdo ministrado.

Tendo como principal defensor Jean Piaget, a teoria cognitivista sugere que o ensino seja baseado na pesquisa, no qual o aluno é visto como um solucionador de problemas, e professor um motivador. A aprendizagem significativa de fato acontece quando o aluno busca o conhecimento pela ação. A importância das atividades experimentais no ensino médio está em foco em muitas pesquisas realizadas, por ser uma metodologia que desperta o interesse do aluno, e faz com que o mesmo assimile o que aprendeu na teoria com a prática. As atividades experimentais, utilizando ou não o ambiente de laboratório escolar convencional, podem ser o ponto de partida para a compreensão simples de conceitos considerados difíceis e sua relação com as ideias a serem discutidas em aula.

Os estudantes, assim, estabelecem relações entre a teoria e a prática e, ao mesmo tempo, expressam ao professor suas dúvidas (BRASIL, 2008).

4 | CONCLUSÕES

Ao término deste trabalho, é relevante salientar o papel essencial que a química vem desempenhando na sociedade. Constitui-se numa ciência em que as teorias existentes se apoiam em experimentações científicas, anos e anos de história e evolução. Ao ser abordada, é fundamental que os docentes aliem o que for possível descrito na teoria, através de aulas práticas experimentais. Todo conhecimento, ao ser construído, precisa inicialmente ser entendido e ter significado, por isso, se torna imprescindível que os educadores frisem sempre ao trabalhar os conteúdos a importância que a química representa para os seres vivos, e as aplicações que estão inseridas no nosso cotidiano das mais diversas maneiras.

A partir do presente trabalho pode-se concluir a percepção dos alunos quanto ao ensino de química de uma escola pública de Ubá, onde se apresenta como uma disciplina com muitas fórmulas, cálculos e memorização de conteúdos, de difícil compreensão devido a sua não relação com o cotidiano. Onde os mesmos consideraram também essencial a realização de aulas práticas e ou experimentos para compreender melhor os conteúdos de química.

A pesquisa demonstrou dados muito relevantes que podem ser utilizados para evitar a defasagem e/ou fragmentação de conteúdos, como os conteúdos de química considerados os mais difíceis, e se esta dificuldade está pautada nos conceitos abordados ou nos cálculos químicos envolvidos bem como a representação dos conteúdos considerados os menos vistos em sala, oportunizando uma melhor visão do professor ao difundir sobre a especificidade de cada conteúdo, assim sua atenção estará priorizada nas dificuldades de aprendizado dos mesmos.

Portanto, foi possível verificar que o ensino e a aprendizagem dependem não apenas das formas e métodos diferenciados na maneira de ensinar algo, mas sim da maneira de como tal assunto é aplicado, desenvolvido e demonstrado para assim se obter um melhor resultado e uma maior aprendizagem. Também, que devemos buscar sempre a relação entre a química e o cotidiano, para que os alunos possam ver significância nos conteúdos ensinados e construir uma aprendizagem sólida e possam perceber que a química relaciona com a nossa vida, dos seres vivos, de tudo que existe, por isso é tão importante estudá-la e compreender melhor o mundo que nos cerca com a inserção da química.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Diretrizes curriculares da educação básica, 2008. Disponível em:<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/diretrizes_2009/out_2009/quimica.pdf>. Acesso em 14 Set. 2014.

CARDOSO, Sheila Pressentin; COLINVAUX, Dominique. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, v. 23, n. 3, p. 401-404, 2000.

DA SILVA, Erivanildo Lopes. **Contextualização no Ensino de Química: idéias e proposições de um grupo de professores**. São Paulo: 2007.

DE ALMEIDA, Elba Cristina S. et al. **Contextualização do ensino de química: motivando alunos de ensino médio**. 2008.

HAYDT, Regina Celia Cazaux. **Avaliação do processo ensino-aprendizagem**. Editora Ática, 1995.

IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N. e ESPINET, M. **Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales**. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 1, p. 45-60, 1999.

KULLOK, Maisa Gomes Brandão. **Relação professor – aluno**. Maceió: Editora Da Universidade Federal De Alagoas, 2002.

LUCKESI, Cipriano Carlos. O que é mesmo o ato de avaliar a aprendizagem. **Revista Pátio**, v. 12, 2000.

ZANON, Lenir Basso; MALDANER, Otavio Aloisio. **Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil**. Editora UNIJUÍ, 2007.

CAPÍTULO 6

CONSTRUÇÃO DE JOGOS LÚDICOS E BRINQUEDOS A PARTIR DE GARRAFAS PET'S: UM PROJETO DE AÇÃO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE PARINTINS, AM

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 08/11/2021

Clailson Lopes dos Santos

Universidade do Estado do Amazonas, curso de licenciatura em Química
Nhamundá – AM
<http://lattes.cnpq.br/5704583168827671>

Gabriela Rodrigues Conceição

Universidade do Estado do Amazonas, curso de licenciatura em Química
Parintins – AM
<http://lattes.cnpq.br/9233009414873537>

Ivan Souza Tavares

Universidade do Estado do Amazonas, curso de licenciatura em Química
Parintins – AM
<http://lattes.cnpq.br/1748675123806534>

Pedro Campelo de Assis Junior

Universidade do Estado do Amazonas, curso de licenciatura em Química
Parintins – AM
<http://lattes.cnpq.br/5114276083368703>

Raymara Fonseca dos Santos

Universidade do Estado do Amazonas, curso de licenciatura em Química
Parintins – AM
<http://lattes.cnpq.br/693535466202000>

RESUMO: O objetivo principal desse estudo foi construir jogos lúdicos e brinquedos a partir das garrafas PET's. Como métodos e

procedimentos utilizamos observações das aulas, palestra, caminhada pelas proximidades da escola, construção dos jogos e brinquedos e, para finalizar, a mostra do projeto de educação ambiental para a comunidade escolar. Como resultados podemos destacar o senso crítico que as crianças possuem acerca da problemática central e o interesse delas em fazer a diferença no que tange a preservação do meio ambiente, além da facilidade de criar jogos e brinquedos a partir das garrafas PET's coletadas. Concluímos que é de suma importância que a educação ambiental seja parte integrante do currículo da educação básica, enquanto componente obrigatório com intuito de incentivar na criança sua criticidade perante a realidade na qual vivemos, além de despertar a criatividade em criar a partir da reciclagem e reutilização de materiais que descartamos, como garrafas PET's.

PALAVRAS-CHAVE: Educação Ambiental; PET's; Jogos lúdicos e brinquedos.

BUILDING PLAY GAMES AND TOYS FROM PLASTIC BOTTLES: AN ACTION PROJECT IN A MUNICIPAL SCHOOL IN PARINTINS, AM.

ABSTRACT: The main objective of this study was to build playful games and toys from plastic bottles. As methods and procedures, we used classroom observations, lectures, walks around the school, construction of games and toys and, finally, the exhibition of the environmental education project for the school community. As a result, we can highlight the critical sense that children have about the central issue and their interest in making a difference regarding the preservation of

the environment, in addition to the ease of creating games and toys from the collected plastic bottles. We conclude that it is extremely important that environmental education is an integral part of the basic education curriculum, as a mandatory component in order to encourage children to be critical of the reality in which we live, in addition to awakening creativity in creating from recycling and reuse of materials that we discard, such as plastic bottles.

KEYWORDS: Environmental Education; plastic; playful games and toys.

1 | INTRODUÇÃO

O poli(tereftalato de etileno), conhecido mundialmente pela sigla PET, é um polímero da família dos poliésteres que se tornou muito popular ao ser usado para fabricar as garrafas de refrigerantes (bebidas carbonatadas). A reciclagem é muito importante, pois beneficia o meio-ambiente, a economia, a sociedade, faz com que a poluição diminua, valoriza a limpeza pública e a consciência ecológica. Explorar a possibilidade da comercialização internacional de garrafas PET recicláveis, focando não somente na matéria prima, como também seus derivados, é uma vantagem competitiva na gestão de organizações verdes (AKABANE, 2015).

Tendo em vista que o meio ambiente depende do cuidado de todos para seu bom desenvolvimento, a proposta do grupo foi de desenvolver um projeto com a temática: Jogos Lúdicos e Brinquedos a partir de garrafas PET's.

Com base no que diz a Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999, no artigo 2º "A Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal", tal projeto de ação se justificou pela necessidade e possibilidades de se trabalhar a educação ambiental de diferentes formas no ambiente escolar, nesse caso, com a construção em conjunto com os alunos do 5º ano "A", de jogos lúdicos e brinquedos, com o intuito de reduzir o nível de poluição na cidade, conscientizando-os sobre a importância de não poluir o meio ambiente e ainda incentivá-los na ação de reciclagem e reutilização de garrafas PET's.

Fez-se necessária a realização dessa pesquisa, a priori para obtenção de uma avaliação parcial da disciplina de Educação Ambiental, no curso de Química do Centro de Estudos Superiores de Parintins – CESP/UEA. Além disso, foi observado nas proximidades da escola uma quantidade considerável de garrafas PET's, dentre outros objetos, despejadas nas ruas, e em um pequeno lago localizado a alguns metros de distância da escola. E isso nos despertou o interesse, pois pensamos em relacionar a questão do Lixo com temas, como: coleta seletiva, reciclagem, doenças, alimentação, enfim, os quais discutimos em uma aula teórica ministrada para os alunos.

Essa pesquisa justifica-se ainda, pois poderá ser útil para a comunidade escolar (alunos, professores, e demais servidores) a respeito da importância da reciclagem não somente para o meio ambiente, mas também para a própria saúde do indivíduo.

O objetivo geral da nossa pesquisa-ação foi construir jogos lúdicos e brinquedos a partir das garrafas PET's. E para que esse objetivo principal fosse alcançado, destacamos quatro objetivos que contribuíram para tal: 1 - Ministrando uma aula teórica de conscientização a respeito do lixo, reciclagem e reaproveitamento de materiais; 2 - Realizar uma caminhada com os alunos do 5º ano "A" da escola Lila Maia, nas proximidades da instituição, analisando as questões da poluição, realizando registros fotográficos da realidade local; 3 - Construir, juntamente com os alunos, jogos lúdicos e brinquedos com as garrafas PET's coletadas; 4 - Realizar uma exposição das produções para a comunidade escolar.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa realizada foi do tipo qualitativa, pois analisamos criticamente as ações desenvolvidas e não houve dados percentuais, buscando identificar pontos revelantes sobre a temática do trabalho (MICHEL, 2009).

Tratou-se de uma pesquisa-ação, na qual observamos a realidade do problema levantado, descrevemos tal realidade e partir dela intervimos com uma ação coletiva de conscientização.

A população e amostra deste estudo foram formadas por 25 alunos do 5º ano "A" do ensino fundamental II, regularmente matriculados na escola onde ocorreu a pesquisa, na faixa etária entre 11 e 12 anos de ambos os sexos.

A pesquisa foi realizada na Escola Municipal Lila Maia, a qual foi escolhida por questão de localização em relação as moradias dos pesquisadores.

Para realização deste estudo concluímos 10 horas entre observação em sala de aula, onde pudemos acompanhar a rotina dos alunos e algumas aulas do professor regente e ainda planejamento das ações do projeto, e 50 horas de intervenção, onde foram aplicadas as ações planejadas.

E como recursos de auxílio, além das garrafas PET's coletadas, utilizamos ainda: Data show, notebook, tesouras, cola (isopor, branca, quente), pistola de cola quente, pincéis, tinta, palitos de picolé.

Primeiramente, na primeira semana de maio de 2019, a monitora da disciplina de Educação Ambiental do CESP/UEA entregou os documentos de apresentação dos estagiários à equipe pedagógica da escola. Foi explicado como seria a pesquisa e o objetivo dela. Após isso, na semana seguinte buscamos o professor da sala de aula para nos apresentarmos e organizarmos o cronograma das ações do projeto de educação ambiental.

E no período de 13 de maio a 5 de junho, em dias intercalados, colocamos em prática o projeto de ação, desde as observações de aulas, regência sobre o tema central, e construção de jogos lúdicos e brinquedos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste segmento apresentaremos os resultados obtidos com o projeto de ação, bem como discussões com base na literatura a respeito do objeto de estudo da pesquisa.

No dia 13 de maio de 2019 os estagiários ministraram uma aula teórica (figura 1), contendo os seguintes pontos: 1 - coleta seletiva / decomposição; 2 – lixo e saúde; 3 - doenças causadas pelo lixo; 4 - reciclar e reutilizar; 5 – projeto de ação. Foi bastante favorável, pois os alunos foram bem participativos e contribuíram bastante para o êxito da aula. Questionaram, expuseram suas opiniões e sugestões.



Figura 1- Aula teórica.

Fonte: Autores.

As crianças atualmente estão muito ligadas à tecnologia, e acabam interagindo pouco com brinquedos convencionais. Além de criar o conhecimento e cuidado com a natureza, esta prática desenvolve a consciência do reciclar e reutilizar materiais. A criança aprende como fazer a correta destinação do material e tem a oportunidade de transformar o que era lixo em brincadeiras ou algo útil (HAURA, s.d.).

Na semana seguinte, no dia 17 de maio estava prevista a caminhada com a turma pelas proximidades da escola. Ela aconteceu da seguinte forma: nesse dia compareceram 24 alunos e éramos 5 estagiários, portanto dividimos a turma em 5 pequenos grupos. Caminhamos por três ruas próximas à escola, onde nos deparamos com uma realidade espantosa no que diz respeito ao alto nível de poluição.

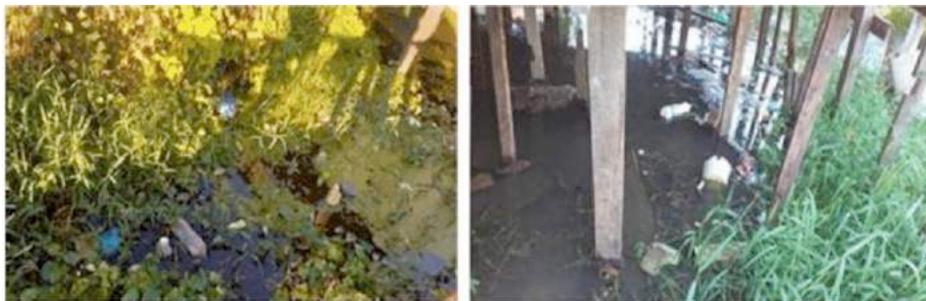


Figura 2: Lixos no lado próximo a escola.

Fonte: Autores.



Figura 3: Caminhada realizada com os alunos para observação de lixos descartados de forma inadequada nas proximidades da escola.

Fonte: Autores.

Nas imagens acima podemos observar alguns momentos da caminhada realizada próxima a escola, na qual encontramos muito lixo jogado pelas ruas, lago, frente das casas, e ouvimos alguns comentários dos próprios alunos, do quanto isso era preocupante. A participação deles nesse dia foi fundamental para a pesquisa, pois também foi possível perceber o pensamento crítico que as crianças possuem, o que foi válido para as próximas etapas do projeto.

As duas primeiras etapas do projeto foi de suma importância para despertar nos alunos um comportamento e pensamento mais crítico sobre a questão da educação ambiental. Levando em consideração que o lixo vem sendo apontado como um dos problemas mais graves no país, destacamos para os alunos a existência dos 3 R's (redução, reutilização e reciclagem), o que ficou sendo lembrado ao longo de todos o projeto até seu término (LIMA; OLIVEIRA; QUEIROZ, s.d.).

No período de 14 a 17 de junho foi solicitado que os alunos levassem para a escola o maior número de garrafas PET's que pudessem arrecadar, para colocarmos em prática nosso projeto. Então, no dia 19 de maio os estagiários se reuniram na casa de um dos integrantes para a limpeza e organização desses materiais e ainda para confecção de alguns protótipos de brinquedos a partir de garrafas PET's.



Figura 4: Garrafas PET's coletadas.

Fonte: Autores.

Na figura 4 encontram-se as garrafas PET's recebidas de doações dos alunos, da escola, do professor de educação ambiental do CESP/UEA, e demais colaboradores, entre familiares, vizinhos e etc. Contabilizamos cerca de 250 garrafas, de tamanhos variados. "Reaproveitar ou reciclar embalagens plásticas é uma forma de reduzir a quantidade de lixo. Reduzindo a quantidade de lixo, estamos preservando o ambiente e reduzindo os custos para o poder público e para nós cidadãos" (QUÍMICA E SOCIEDADE, s.p., 2002).



Figura 5: Brinquedo "Pega-tampinha".

Fonte: Autores.

A figura 5 é um dos protótipos de brinquedo que construímos como exemplo para os alunos. O conhecido "pega-bolhinha" (no caso, "pega-tampinha") foi construído realizando um corte na parte superior de uma garrafa (de 1L), duas tampinhas coladas e unidas a um pequeno fio de barbante, ambos presos à tampa da garrafa já cortada. Foi utilizada ainda

cola quente para unir as duas tampas da ponta juntamente com o barbante. A brincadeira consiste em conseguir colocar a extremidade do barbante com tampa na parte interior da garrafa, realizando movimento de balanço, de fora para dentro da garrafa.

Nos dias 20, 23, 24 e 27 de maio de 2019 foi o período destinado a confecção e ornamentação dos jogos e brinquedos. Portanto o professor da sala de aula cedeu nesses dias seus tempos a partir do intervalo para nos dedicarmos a essas atividades juntamente com os alunos.



Figura 6: Vai-e-vem

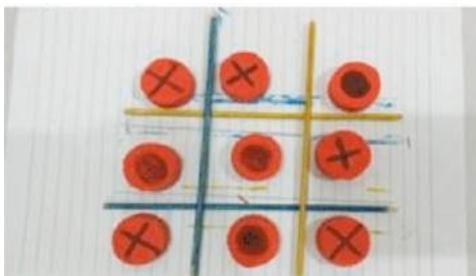


Figura 7: Jogo da velha

Fonte: Autores.



Figura 8: Mini tartaruga



Figura 9: Aranha

Fonte: Autores.

Nas imagens acima, podemos notar algumas das produções feitas pelos alunos, dentre as quais destacamos, na seqüência: Vai-e-vem, um brinquedo construído com apenas duas metades superiores de garrafas PET coladas com cola quente e dois fios de barbantes, ambos com tamanhos definidos à gosto dos participantes; Jogo da velha, jogo construído com tampinhas de garrafas PET e palitos de churrasco; e por fim brinquedos com formas de animais, no caso, mini tartarugas e aranha.

Devemos destacar a criatividade das crianças para a criação dos jogos e brinquedos. Auxiliamo-las no processo de construção com o uso de materiais cortantes e etc, porém as idéias surgiam da parte delas, o que nos aproxima da idéia de Haura et alque considera que o objetivo dessa criação é a “reutilização, sustentabilidade e educação ambiental”, como se essas crianças tivessem a natureza em suas mãos, e partir disso tornar o jogo ou o brinquedo um símbolo da natureza (HAURA et al., s.d.).

Para fechamento do projeto na escola, no dia 5 de junho (Dia nacional do Meio Ambiente) foi realizado na escola a Mostra do projeto de ação de educação ambiental, na qual estavam presentes a turma do 5º ano “A” público participante da pesquisa, os estagiários, a monitora da disciplina de educação ambiental do CESP/UEA, as demais turmas do turno vespertino, do 1º ao 5º ano e seus respectivos professores, o gestor da escola, o representante da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e o secretário de educação do Município. Todos foram prestigiar os jogos lúdicos e brinquedos produzidos pelos alunos do 5º ano “A”.



Figura 10: Representantes da Secretaria Municipal de meio Ambiente.

Fonte: Autores.



Figura 11: Secretaria Municipal de Educação.

Fonte: Autores.

Foi muito gratificante receber uma avaliação positiva dos visitantes desse dia, pois nos fez enxergar que o projeto ali desenvolvido poderia se ampliar ainda mais e surtir um efeito ainda mais em outros lugares. Prova disso foi que recebemos a proposta do representante da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, para sermos multiplicadores do conhecimento ali contruído. Foi lançada a proposta de ministrarmos no segundo semestre deste ano oficinas para educadores do município e demais interessados, sobre a construção de mais jogos lúdicos e brinquedos para fins de doação e também materiais didático-pedagógicos.

O estudo limitou-se em apenas uma escola, pelo fato de haver pouco tempo para realização das ações do projeto e por fazer parte de uma disciplina de estágio (educação ambiental), a qual nos destina a apenas uma escola. Porém, para estudos futuros sugere-se uma pesquisa mais ampla, com mais escolas e maior número de alunos, para que tenham uma visão mais ampla do problema apresentado na pesquisa, que é sobre a questão da poluição na nossa cidade e como esta pode vir a se tornar algo reaproveitável e reutilizável.

4 | CONCLUSÕES

Com a pesquisa realizada e o projeto de ação colocado em prática, e levando em consideração o pouco tempo que tivemos e o material que tínhamos, acreditamos ainda que alcançamos com êxito os objetivos do nosso trabalho. Resgatando nosso objetivo central, concluímos que os jogos lúdicos e brinquedos foram construídos a partir de garrafas PET's, com alguns outros materiais auxiliares, para isso acontecer ministramos uma palestra e realizamos uma caminhada reflexiva com os alunos a respeito da temática central. E por fim demos o feedback à comunidade escolar a respeito do trabalho que foi desenvolvido.

Podemos ressaltar a importância da educação ambiental enquanto componente curricular na educação básica, pois com base nela, ao longo do projeto foi notório o interesse das crianças em preservar o meio ambiente, não poluir, reciclar e reutilizar resíduos possíveis de serem reaproveitados. E além disso aprendemos que as crianças, em processo de formação, estão interessadas em fazer a diferença, e para isso cabe ao professor estimular ainda mais esse interesse.

Diante disso, faz-se necessário que o trabalho desenvolvido na escola tenha continuidade. Para tanto, os professores podem incluir em seus planejamentos atividades que despertem interesse no aluno a respeito da educação ambiental e como externalizar esse aprendizado para outros ambientes, como em casa com a família.

Por fim, esperamos que essa pesquisa seja base para futuros estudos sobre o mesmo tema, ou similar, e que venha despertar interesse na comunidade como um todo a respeito da importância de preservar o meio ambiente. E mais do que isso, adotar hábitos mais saudáveis ao meio ambiente, e compreender que muita coisa que é descartada pode ser reutilizada e transformada em algo de utilidade particular, como um brinquedo ou jogo,

no caso desse projeto.

REFERÊNCIAS

AKABANE, Getúlio Kazue; et. al. **Matéria-prima gerada da reciclagem de garrafas pet e seus produtos derivados**. Volume 5, número 2 - 2015 (Maio/Ago. 2015) ISSN: 2318-3233. Disponível em <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/viewFile/266/pdf>.

BRASIL, Ministério de Educação e do Desporto, **Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 abr, 1999.

HAURA Fernanda Karina *et al.* **A Educação Ambiental através de materiaisrecicláveis**. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/30433718.pdf>.

LIMA, Alcione Gomes; OLIVEIRA, Gilvaneide de; QUEIROZ, Suzana Teixeira. **Redução, reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos e educação ambiental**: um relato de oficinas pedagógicas. Disponível em <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/r0085-1.pdf>.

MICHEL, Maria Helena. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

Química e sociedade. Química nova na escola N° 15, MAIO 2002. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a01.pdf>.

CONSTRUÇÃO DE UM KIT ALTERNATIVO PARA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 19/11/2021

Adriano Olímpio da Silva

Universidade Federal do Oeste do Pará -
UFOPA
Juruti – PA
<http://lattes.cnpq.br/7858828068079343>

Regiane Auzier Coelho

Universidade Federal do Oeste do Pará -
UFOPA
Juruti – PA
<http://lattes.cnpq.br/2663082118883673>

Valeria Lopes Amorim

Universidade Federal do Oeste do Pará -
UFOPA
Juruti – PA
<http://lattes.cnpq.br/5917444271357856>

Luciane Lasle Cordeiro da Silva

Universidade Federal do Oeste do Pará -
UFOPA
Juruti – PA
<http://lattes.cnpq.br/5063575311236041>

Rosangela da Silva Lopes

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - IFMS
Naviraí – MS
<http://lattes.cnpq.br/6233816707851221>

Aline Alves dos Santos Naujorks

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul -
UFMS
Campo Grande – MS
<http://lattes.cnpq.br/1784353996456972>

RESUMO: O uso de experimentos de química é uma ferramenta indispensável no processo de ensino e aprendizagem para a disciplina de Química. O presente trabalho foi elaborado a partir da disciplina Atividades Integradoras de Extensão II do curso de Engenharia de Minas, UFOPA – Campus Juruti-PA, que tem por finalidade apresentar experimentos de química para a comunidade externa, sendo os discentes protagonistas e realizadores das ações. Partindo do pressuposto que as escolas públicas possuem dificuldades em possuir um laboratório com equipamentos e vidrarias para a execução de alguns experimentos da disciplina de química, elaboramos a construção de um kit alternativo (bureta e suporte) para titulação ácido-base usando materiais de baixo custo, que substitui os materiais convencionais como a bureta padrão e o suporte universal.

PALAVRAS-CHAVE: Bureta, Titulação, Materiais Alternativos.

CONSTRUCTION OF AN ALTERNATIVE KIT FOR ACID-BASE TITRATION

ABSTRACT: The use of chemistry experiments is an indispensable tool in the teaching and learning process for the Chemistry discipline. The present work was elaborated from the Integrating Activities of Extension II discipline of the Mining Engineering course, UFOPA – Campus Juruti-PA, which aims to present chemistry experiments to the external community, with the students being protagonists and carrying out the actions. Assuming that public schools have difficulties in having a laboratory with equipment and glassware to carry out some experiments in the

discipline of chemistry, we designed the construction of an alternative kit (burette and support) for acid-base titration using low-cost materials, which replaces conventional materials such as the standard burette and the universal support.

KEYWORDS: Burette, Titration, Alternative Materials.

1 | INTRODUÇÃO

Os conceitos teóricos de alguns conteúdos de química só existem graças aos experimentos químicos, pois é através deles que construímos nosso conhecimento científico. Durante as aulas experimentais da disciplina de química, muitos alunos ficam encantados e entusiasmados, porém, o mesmo não ocorre nas aulas teóricas. A paixão pela química surge quando o aluno visualiza a teoria através de experimentos (TAUBE JÚNIOR; CASTRO; BARATA, 2015).

De acordo com Trindade et al., (2016) não há dúvida que:

Na teoria, os conceitos, as leis, os princípios fundamentais, a nomenclatura, a Química Inorgânica e Orgânica Descritivas são muito importantes para o aprendizado da ciência, porém, se esse ensino for acompanhado de aulas práticas, o aluno não considerará a Química uma ciência constituída de fatos apenas memorizáveis mas, compreenderá melhor os conceitos e as leis básicas que regem os fenômenos químicos e será estimulado a penetrar cada vez mais no seu estudo.

O uso de aulas práticas de química é um recurso primordial para facilitar a compreensão de conteúdos específicos, e ainda, estimular o aprendizado. Mas, muitas escolas ainda carecem de infraestrutura e recursos para a execução de experimentos no laboratório.

Mesmo com a existência das reformas escolares, a maioria das escolas públicas, ainda enfrentam muitas dificuldades para montar um laboratório de química, tendo como justificativa o alto custo de materiais e reagentes necessários ao desenvolvimento das experiências. Para que exista um melhoramento no ensino de Ciências, seja em qualquer nível, é necessário que existam bons materiais auxiliares de ensino, como os materiais de laboratório (CASTELEINS, 2011).

Para Lenzi et al., (2015), a química é:

Uma parte da Ciência da Natureza, como tal, a introdução do aluno à Química (o ensino) e à busca do novo conhecimento (pesquisa), devem seguir os passos próprios desta Ciência, chamada também de ciência experimental, ou ciência indutiva. O método da busca do novo conhecimento, isto é, a pesquisa, obedece aos processos da: observação; hipótese; experimentação; generalização e finalmente publicação.

Realizar experimentos de Química envolvendo reagentes, catalisadores e outros materiais baratos e de fácil acesso é um desafio para muitos professores principalmente para aqueles que trabalham em instituições de ensino com recursos financeiros baixos

(Hess, 1997 apud Castro e Araújo, 2012). Uma forma de viabilizar os experimentos nas escolas de ensino médio é a construção de equipamentos alternativos, de baixo custo e fácil acesso, empregando materiais presentes no cotidiano, sem prejudicar os objetivos e metas da aprendizagem (ASSUMPÇÃO et al., 2010).

Várias discussões acerca da elaboração de atividades experimentais de baixo custo são constantemente apresentadas como papel motivador e lúdico no ensino de química. Um dos experimentos mais utilizados nas aulas práticas é a titulação ácido-base. A titulação ácido-base consiste em um dos métodos da análise titulométrica, comumente denominada volumetria de neutralização. Nesta análise, o constituinte desejado é determinado medindo-se a sua capacidade de reação contra um reagente adequado usado na forma de uma solução com concentração exatamente conhecida, chamada solução padrão (OHLWEILER, 1976).

Na busca por metodologias que envolva a técnica de titulação ácido-base, diversas pesquisas são encontradas na literatura com o objetivo de facilitar o ensino teórico através das práticas experimentais. Em 2008, Tubino, Simone e Ricchi Júnior, mostram a construção de uma bureta com materiais simples, cuja calibração e o uso foi de fácil execução, e ainda, muito estimulante para os estudantes. Em 2010, Assumpção et al. descreveram a construção e a adaptação de materiais alternativos de baixo custo em titulações ácido-base, deixando claro que a utilização de equipamento de menores custos em aulas de laboratório no ensino médio, contribuiu para o aprendizado. Em 2013, Pereira e colaboradores demonstraram ser possível utilizar materiais alternativos de baixo custo para titulações ácido-base e destilação em aulas de laboratório no ensino médio, contribuindo no aprendizado do aluno.

Em 2014, Pereira e colaboradores realizaram um comparativo no uso de equipamentos de laboratório para titulação ácido-base com materiais alternativos, cujo resultado confirmou que o método alternativo foi útil no auxílio aos alunos, tornando o ensino mais eficaz. Em 2016, Alves e Mendes, inseriram a experimentação com materiais alternativos em uma escola pública, observando um favorecimento na construção do conhecimento químico. Assim, fica evidenciado que o uso de materiais e reagentes alternativos torna os experimentos acessíveis para professores de escolas públicas que buscam melhoria na aprendizagem dos alunos.

A partir desses pressupostos, ao considerarmos os vários trabalhos existentes (PRADO e CÔRTEZ, 2007; ALVES, 2015; SANTOS, 2016; MARQUES e LIMA, 2019), a construção de um novo kit alternativo, sendo uma bureta e um suporte corroboram para as práticas experimentais de titulação ácido-base em sala de aula ou laboratório.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados na montagem do kit alternativo (bureta e suporte) foram

adquiridos no comércio local (depósito de materiais de construção, farmácia e loja de produtos hospitalares).

2.1 Materiais utilizados na construção do kit alternativo

Para a construção do suporte e bureta alternativa utilizamos os seguintes materiais conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Materiais utilizados na construção do kit alternativo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

- a) 1 Cola adesiva instantânea.
- b) 1 seringa de 60 mL.
- c) 1 barra de ferro roscada 5/16 medindo 33 cm.
- d) 1 esticador de cabo de aço $\frac{1}{4}$.
- e) 1 parafuso sextavado 6 mm
- f) 2 porcas sextavadas de 5/16
- g) 1 abraçadeira tipo D com cunha $\frac{3}{4}$
- h) 1 torneira 3 vias para equipo.
- i) 1 pedaço de madeira medindo 22x13 cm.
- j) 3 frascos vazios de medicamento de 50 mL.

A seguir na Tabela 1, apresentamos os valores dos principais itens utilizados na confecção do kit alternativo. Vale ressaltar que os valores podem variar de acordo com a região.

item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Cola adesiva instantânea	1	10,00	10,00
Seringa 60 mL	1	2,89	2,89
Barra ferro roscada 5/16	1	6,20	6,20
Esticador de cabo de aço 1/4	1	2,95	2,95
Parafuso sextavado 6 mm	1	0,65	0,65
Porca sextavada 5/16	2	0,20	0,40
Abraçadeira tipo D	1	2,25	2,25
Torneira 3 vias	1	2,50	2,50
Valor total			27,84

Tabela 1: Lista dos preços dos itens adquiridos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como forma de redução de custo operacional, alguns itens podem ser obtidos através de colaboração. Nos casos da seringa de 60 mL e torneira de 3 vias, a escola pode demandar através de ofício de solicitação de material, a doação junto à Secretaria de Saúde local.

2.2 Montagem do kit alternativo

Para a montagem do kit alternativo siga os seguintes procedimentos.

1. Corte a barra roscada de 5/16 na medida de 33 cm.
2. Na extremidade do pedaço de madeira (22x13 cm) faça um furo centralizado com uma broca de 8mm, em seguida fixe a barra roscada de 33 cm.
3. Rosqueie a porca sextavada de 5/16 a uma distância aproximada de 4 cm (Figura 2, Foto A).
4. Retire o parafuso gancho do esticador de cabo de aço, deixando apenas o parafuso olhal. Acople a extremidade contendo o olhal na barra de ferro roscada. Fixe utilizando a outra porca sextavada de 5/16 (Figura 2, foto B).
5. Na outra extremidade do esticador de cabo de aço, fixe a abraçadeira tipo D com o parafuso sextavado de 6 mm (Figura 2, foto C).
6. Ajuste de forma a obter uma garra (Figura 2, foto D).
7. Com a seringa de 60 mL, prepare a bureta colando a torneira de 3 na ponta da seringa com cola adesiva instantânea.
8. Acople a seringa (bureta alternativa) na abraçadeira, finalizando assim, o processo

de montagem do Kit alternativo como mostra a Figura 3

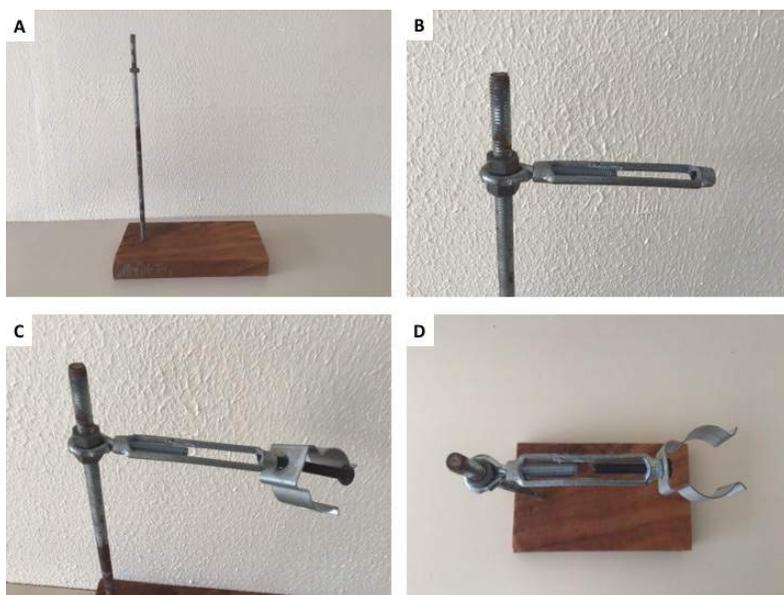


Figura 2: Etapas da montagem do kit alternativo.

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 3: Kit alternativo (bureta e suporte) para titulação ácido-base.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3 Teste da bureta alternativa

Para a análise da bureta alternativa, preparou-se uma solução A (solução ácida), e uma solução B (solução básica) utilizando soda cáustica comercial (hidróxido de sódio) e vinagre (ácido acético). Para o ponto de viragem, usou-se fenolftaleína como indicador.

Solução A – Pesou-se 0,4 g de hidróxido de sódio comercial, após diluiu-se em água e transferido para um balão volumétrico de 100 mL. Em seguida completou-se o volume total com água.

Solução B – Pipetou-se 5 mL de vinagre comercial e diluiu-se em balão volumétrico de 100 mL.

Com o kit alternativo, titulou-se uma alíquota de 10 mL da solução B (vinagre) com a solução A, conforme Figura 4. Para efeito de comparação as mesmas soluções foram utilizadas em uma bureta de capacidade de 50 mL, divisão 0,1 mL e limite de erro de $\pm 0,05$ mL. As titulações testes foram realizadas em triplicatas.



Figura 4: Titulação teste com o kit alternativo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em uma titulação volumétrica há a exigência que as soluções reagentes da solução com concentração conhecida (solução padrão de titulação), sejam utilizadas na operação. Aqui optamos apenas em preparar uma solução de concentração aproximada para comparar os volumes gastos durante o processo de titulação ácido-base.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores obtidos na titulação ácido-base com o kit alternativo (bureta e suporte) e a bureta de laboratório padrão estão apresentados na Tabela 02. Através dos resultados foi possível constatar que a titulação com a bureta alternativa se demonstrou satisfatória em comparação com a titulação da bureta padrão, pois seu erro absoluto e relativo foram de 0,2 e 2,35% respectivamente. Vale ressaltar que a divisão da bureta alternativa (seringa 60 mL) é de 1 mL, enquanto que na bureta padrão é de 0,1 mL, justificando assim, a diferença encontrada de 0,2 mL na média das titulações.

	Bureta alternativa	Bureta padrão
1º titulação	8 mL	8,5 mL
2º titulação	9 mL	8,4 mL
3º titulação	8 mL	8,5 mL
Média	8,3 mL	8,5 mL

Tabela 02: Resultados obtidos na titulação do vinagre com NaOH.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da construção e do teste realizado, foi possível constatar a eficiência da bureta alternativa, possibilitando a sua aplicação em aulas experimentais de titulação ácido-base nas escolas públicas, pois os materiais utilizados na sua elaboração são de baixo custo e fácil aquisição, facilitando assim, o aproveitamento do ensino aprendizagem pois o experimento é a ferramenta mais adequada à construção do conhecimento.

REFERÊNCIAS

ALVES, T. C. **A inserção da experimentação com materiais alternativos em uma escola pública do município de São Mateus-ES**. 2015. 96 f. Monografia (graduação). Departamento de Ciência Naturais – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.

ALVES, T. C.; MENDES, A. N. F. **A inserção da experimentação com materiais alternativos em uma escola pública do município de São Mateus/ES**. In: XVII Encontro Nacional de Ensino de Química. Florianópolis, SC, Brasil – 25 a 28 de julho de 2016.

ASSUMPÇÃO, M. H. M. T.; FREITAS, K. H. G.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O. **Construção e adaptação de materiais alternativos em titulação ácido-base**. Eclética Química, v. 35, n. 4, p. 133-138, 2010.

CASTELEINS, V. L. **Dificuldades e benefícios que o docente encontra ao realizar aulas práticas de química**. In: X Congresso Nacional de Educação – EDUCERE, Curitiba-PR, 2011.

CASTRO, C. L.; ARAÚJO, S. C. M. **Uma proposta de experimentos com materiais alternativos a partir da análise do livro didático.** In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI). Salvador, BA, Brasil – 17 a 20 de julho de 2012.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; TANAKA, A. S.; VIANNA FILHO, E. A.; SILVA, M. B.; GIMENES, M. J. G. **Química Geral Experimental.** 6ª ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 2015.

MARQUES, M. M.; LIMA, G. C. **Experimentos de química para turmas de ensino médio.** Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

OHLWEILER, O. A. **Química analítica quantitativa.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

PEREIRA, A.; FONSECA, K.; MONTEIRO, G.; ZANATA, M.; FLORENCIA, V. **Uso de materiais alternativos em aulas experimentais de química.** In: 53º Congresso Brasileiro de Química. Rio de Janeiro, RJ, Brasil – 14 a 18 de outubro de 2013.

PEREIRA, M. R. S.; FERREIRA, D. R. M.; CARVALHO, W. L.; CRUZ, R. D. F.; CAMPOS, V. N. S.; SANTOS, M. S.; NUNES, S. F. L. C. **A utilização de materiais alternativos em titulações ácido-base em comparação a materiais de laboratório.** 54º Congresso Brasileiro de Química. Natal, RN, Brasil – 03 a 07 de novembro de 2014.

PRADO, A. C.; CÔRTEZ, C. E. S. **Experimentos de titulação ácido-base utilizando indicadores naturais e materiais de baixo custo.** In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Águas de Lindóia, SP, Brasil – 31 a 03 de junho de 2007.

SANTOS, L. **Construção de um titulador alternativo e o uso de indicadores naturais para medidas de pH.** 2016. 161 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

TAUBE JÚNIOR, P. S.; CASTRO, K. C. F.; BARATA, L. E. S. **Experimentos de Química.** Santarém: UFOPA, 2014. 242 p.

TRINDADE, D. F.; OLIVEIRA, F. P.; BANUTH, G. S. L.; BISPO, J. G. **Química básica experimental.** 6ª ed. São Paulo: Ícone, 2016.

TUBINO, M.; SIMONI, J. A.; RICCHI JÚNIOR, R. A. **Construção de uma bureta com materiais simples.** Revista Brasileira de Ensino de Química, v. 3, n.2, 2008.

INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS PARA AULAS PRÁTICAS DE QUÍMICA NO ENSINO REMOTO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de Submissão: 19/11/2021

Alcy Favacho Ribeiro

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química - Campus Universitário de Ananindeua. Ananindeua-PA
<http://lattes.cnpq.br/2716307121659406>

Anderson Rogério Beltrão Franco

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química- Campus Universitário de Ananindeua. Ananindeua-PA
<http://lattes.cnpq.br/4673432421431480>

Geane da Silva de Souza

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química - Campus Universitário de Ananindeua. Ananindeua-PA
<http://lattes.cnpq.br/0762231999277040>

Karla do Socorro Ramos Gatinho

Docente na Secretaria de Educação do Estado do Pará. Ananindeua-PA
<http://lattes.cnpq.br/6905603897719970>

Natasha de Jesus Sousa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química - Campus Universitário de Ananindeua. Ananindeua-PA
<http://lattes.cnpq.br/1932981314019766>

RESUMO: O presente trabalho discorre sobre os resultados de uma pesquisa - ação realizada em uma turma do 1º ano do Ensino Médio, cujo objetivo foi apresentar instrumentos alternativos

de forma que sejam usados no ensino de Reações Químicas, visando ajudar docentes no processo de reelaboração de atividades experimentais, adequando-os para o ensino remoto, em virtude da pandemia da COVID-19. Sendo assim, este estudo foi desenvolvido com materiais de baixo custo e de fácil aquisição. Para facilitar o diálogo com discentes, os experimentos foram realizados via Google Meet. Questionários foram aplicados para quantificar o resultado da pesquisa. Pela análise dos questionários aplicados, notou-se o entendimento do assunto e participação nas aulas. Diante disso, verifica-se que, atividades de cunho experimentais durante o ensino remoto é uma ferramenta importante no processo ensino-aprendizagem em aulas de Química.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino remoto, reações química, materiais alternativos.

ALTERNATIVE INSTRUMENTS FOR PRACTICAL CHEMISTRY CLASSES IN REMOTE TEACHING

ABSTRACT: The present work discusses the results of a research - action carried out in a class of the 1st year of High School, whose objective was to present alternative instruments so that they can be used in the teaching of Chemical Reactions, aiming to help teachers in the process of redesigning activities experiments, adapting them to remote teaching, due to the COVID-19 pandemic. Therefore, this study was developed with low-cost and easy-to-purchase materials. To facilitate dialogue with students, the experiments were carried out via Google Meet. Questionnaires were applied to quantify the research result.

Through the analysis of the applied questionnaires, the understanding of the subject and participation in the classes was noted. Therefore, it appears that experimental activities during remote teaching are an important tool in the teaching-learning process in Chemistry classes.

KEYWORDS: Chemical reactions, remote teaching, experimental activities.

1 | INTRODUÇÃO

Com a necessidade do distanciamento social, em virtude da pandemia da COVID-19, muitas instituições de ensino, públicas e privadas, precisaram aderir ao Ensino Remoto Emergencial (ERE), gerando uma nova realidade para os alunos e para os profissionais da área da educação. Rodrigues e colaboradores (2021), afirmam que essa modalidade foi uma solução encontrada temporariamente para que os estudantes não perdessem o vínculo com a escola e continuassem seus estudos, porém, essa mudança trouxe à tona uma série de dificuldades.

Ministrar a disciplina de química, principalmente sua prática experimental, durante o ensino remoto tem se tornado um grande desafio. Uma das dificuldades encontradas está associada ao fato do ensino de Química possuir conteúdos que geralmente são abstratos e complexos e a ausência física do professor para explicá-los pode dificultar o aprendizado do aluno (RODRIGUES, et al. 2021).

Além disso, em meio a este cenário, professores acostumados à sala de aula presencial tiveram que se reinventar, pois a grande maioria não estava preparada e nem capacitada para isso (ANDRADE; PINHEIRO; PINHEIRO. 2020).

É importante ressaltar que, o conceito de “Ensino Remoto” é diferente do de “Educação a Distância”, ainda que as ideias estejam próximas e que em ambas, utilizam-se recursos digitais. De acordo com Moore e Kearsley (2007), além do uso de tecnologias e da temporalidade diferenciada do processo, um curso é considerado como EaD quando existe a presença de professores e alunos que se encontram em um espaço virtual (predominantemente) organizado a partir de pressupostos didático-pedagógicos propostos para tal fim, que orientam a proposição de atividades e sua avaliação subsequente. Dessa forma, verifica-se que tal definição difere do conceito de Ensino Remoto apresentado por Bozkurt e Sharma (2020), que se referem ao ensino remoto como uma solução temporária para uma problemática que se instala de modo imediato. Portanto, entende-se como ensino remoto, aquele que deu início por uma necessidade de suspensão das aulas presenciais.

Considerando que, a migração de professores e estudantes para as plataformas de ensino remoto trouxe novos desafios (RODRIGUES, et al. 2021), e exigiu a adoção de metodologias alternativas que, até então, não eram utilizadas pela grande maioria dos professores, o presente trabalho teve por finalidade frisar a importância da prática experimental como um meio comprobatório, prático e até mesmo lúdico dos conteúdos estudados na disciplina de química.

Dessa forma, o objetivo foi apresentar instrumentos alternativos usados no ensino do conteúdo de Reações Químicas com o intuito de auxiliar docentes no processo de reelaboração de atividades experimentais, demonstrando que, mesmo com a ausência de laboratórios, é possível a realização de experimentos por meio do ensino remoto, utilizando e adaptando materiais de baixo custo e de fácil aquisição.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O cenário atual gerou o questionamento de como seria o ensino-aprendizagem dos alunos na disciplina de Química durante o ensino remoto. Dessa forma, o trabalho teve início a partir da necessidade de saber mais sobre o assunto. Logo, iniciou-se uma pesquisa visando obter o máximo de informações de acordo com questionário da figura 1 e 2, na página 4, previamente aplicado.

O projeto contou com a participação de 16 alunos da turma do 1º ano do Ensino Médio da escola pública E.E.E.F.M. Luiz Nunes Direito, no município de Ananindeua-PA. Os experimentos foram adaptados de (SILVA et al., 2018, p. 42).

A coleta de dados foi obtida durante a aula remota de química, as quais foram realizadas por meio de ferramentas como o *Whatsapp*, o *Google Suit* e o *Google Meet*. Sendo assim, as aulas foram ministradas por meio da plataforma de videoconferência *Google Meet*, para que houvesse um diálogo diretamente com os alunos, além da possibilidade de apresentar slides e experimentos previstos nesta pesquisa.

O conteúdo abordado na aula foi “Reações Químicas”. Para a execução deste assunto, utilizou-se slides para a apresentação dos conceitos de forma teórica e alguns materiais de baixo custo e de fácil aquisição para a realização de quatro experimentos, conforme os descritos a seguir. Além disso, para obter registros dos resultados aqui relatados, foram aplicados dois questionários (um no antes e outro depois das aulas) sobre o modo de aprendizagem, mostrados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Questionário 1

Você gosta de estudar Química?

O que acha dessa disciplina?

Como está sendo sua experiência com a disciplina de química no ensino remoto?

Você tem tido dificuldades em aprender essa disciplina no ensino remoto? Se sim, quais?

Com relação as aulas práticas, a (o) professor (a) tem as desenvolvido com vocês?

Com relação ao assunto de reações químicas, o que você entende por reações?

Você sabe diferenciar reações químicas de reações físicas?

Saberia citar três exemplos de reações químicas que ocorrem no seu dia a dia? Quais?

Quais sugestões você daria para melhorar o ensino de Química no ensino remoto?

Figura 1: Formulário do início da aula.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Questionário 2

Você gostou dos experimentos realizados?

Com base nos experimentos, o que você entendeu sobre reações químicas?

Com base nos experimentos e nas explicações, explique com suas palavras a diferença entre reações químicas e reações físicas?

Em sua opinião, mesmo no ensino remoto deveriam ser abordados mais aulas práticas como essa? Justifique.

Que nota você daria para esta aula?

Figura 2: Formulário do término da aula.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

O primeiro experimento consistia em uma atividade com uma folha de papel, visando explicitar os conceitos de reações físicas e químicas. Nessa atividade, o papel foi amassado e os alunos indagados de qual fenômeno se tratava. Após a exposição dos conceitos, o papel foi queimado e se repetiu a pergunta.

O segundo referia-se a uma reação química entre balas de mentos e um refrigerante tipo cola. Neste, foram colocadas três balas de mentos dentro do refrigerante, resultando em um jato explosivo. Nessa experiência, o intuito era demonstrar aos alunos de forma

prática outras evidências de reações químicas.

A terceira experiência, consistia em uma reação endotérmica, usando uma vela, uma colher e um pouco de açúcar. Neste experimento, a vela foi acesa e colocou-se uma pequena quantidade de açúcar na colher colocando-as sobre a vela. Com a absorção de calor o açúcar foi derretido. E então explicou-se aos alunos o motivo desse acontecimento.

Para o último experimento, usou-se bicarbonato de sódio, vinagre, uma vela, e dois fundos de garrafas PET, usados como recipientes. Nessa atividade, o principal objetivo era esclarecer aos alunos como ocorre uma reação exotérmica. Dessa forma, com a vela acesa foi feito um teste em branco. Ao observar que nada aconteceu, foram adicionados vinagre e bicarbonato de sódio em uma das garrafas PET. Feito isso, foi transferido para a outra garrafa, o gás carbônico resultante da mistura, em seguida, o gás foi despejado sobre a vela acesa, que rapidamente se apagou, e então, foi exposto o motivo da reação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vale ressaltar que a pandemia fez imperar uma ausência muito forte de discentes no ensino remoto. Apesar disso, o trabalho recebeu resposta dos questionários dos discentes que estudavam na turma onde foi realizada a pesquisa.

O questionário prévio aplicado aos estudantes, no início da aula, consistiu em perguntas com o objetivo de analisar as percepções dos alunos a respeito da disciplina de Química e do seu conteúdo no ensino remoto.

Ao serem questionados se gostavam de estudar essa disciplina, cerca de 14% dos entrevistados responderam que “gostar”, assim como, os que “não gostar” de estudar química, corresponde ao mesmo percentual. Por outro lado, mais de 70% dos entrevistados revelaram que gostam apenas um pouco dessa disciplina, conforme Figura 3.

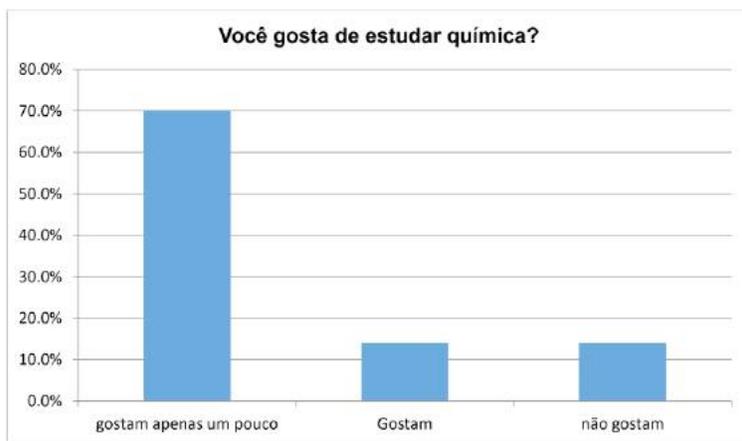


Figura 3: questionamento sobre o quanto os alunos gostam de estudar Química.

Fonte: Autoria Própria, 2021

Quando questionados sobre o que achavam da disciplina de Química, foi possível identificar que por mais que os alunos a considerem importante e interessante, eles a julgavam difícil, como observa-se a seguir, com as respostas de alguns alunos reforçando esse entendimento:

Aluno A: *“Acho interessante, porém difícil.”*

Aluno B: *“Eu acho interessante, mas é muito difícil entender algumas coisas, agora que estou entendendo certas coisas, porém ainda acho difícil.”*

Aluno C: *“Acho uma disciplina importante e diferente de outras.”*

Quando perguntados se havia dificuldades em aprender essa disciplina no ensino remoto, todos responderam que sim. Pois, além das dificuldades com relação à internet, muitos apresentam dificuldades no conteúdo em si. Pode-se observar a seguir:

Aluno A: *“No início eu tive muita dificuldade por causa que eu não tinha muito contato com essa matéria, eu não estudava frequentemente ela, então no início foi bem difícil de entender só que agora eu já sei o básico e consigo entender mais do que antes.”*

Aluno B: *“Sim, pois além da disciplina ser difícil para a minha compreensão, eu não consigo tirar algumas dúvidas.”*

Aluno C: *“Sim, pra entender o conteúdo é praticar.”*

Considerando as respostas dos discentes, foi perceptível um interesse pela disciplina, em paralelo à dificuldade de compreender a mesma. Isso levou à reflexão sobre a importância da aplicação de métodos experimentais, pois, se estes conseguem facilitar a compreensão, aumenta-se a probabilidade de sucesso no processo de ensino e aprendizado.

Pode-se afirmar que grande parte da dificuldade dos discentes está no fato da disciplina de Química não trabalhar com questões palpáveis (pelo menos no tocante ao ambiente escolar), e, nem sempre este tem consciência que sua dificuldade está relacionada a isso, o que certamente dificulta mais auxiliá-los.

Com a aplicação do experimento a dinamicidade da aula aumenta, assim como a resposta positiva por parte dos estudantes que passam a visualizar de forma prática o que aprenderam apenas por teoria.

Monteiro, Sales, Lima (2013) reforçam esse pensamento de que o uso de experimentos, tanto em laboratórios quanto em sala de aula, no processo de ensino-aprendizagem, seja para demonstração, ilustração ou construção de conceitos químicos, quando utilizado para fins pedagógicos, torna-se uma ferramenta fundamental no ensino dessas ciências.

Como os discentes já haviam tido contato prévio com o conteúdo ministrado em sala durante as aulas presenciais, esses não apresentaram dificuldades com o assunto Reações Químicas. Dessa forma, quando indagados sobre o entendimento à respeito de Reações Químicas citando alguns exemplos presentes no seu dia a dia, todos conseguiram demonstrar domínio no assunto.

Antes do término da aula, os alunos foram indagados, por meio do segundo questionário, se haviam gostado dos experimentos realizados durante a aula. Pode-se observar a demonstração pela plena satisfação, conforme a Figura 4.



Figura 4: questionamento sobre o quanto os alunos gostaram dos experimentos durante a aula.

Fonte: Autoria Própria, 2021

Quando questionados se no ensino remoto deveriam ser desenvolvidas com auxílio de aulas práticas, os alunos responderam que sim, pois além da aula ficar mais divertida, facilita a compreensão dos assuntos abordados.

Nota-se, portanto, que as respostas dos alunos e os dados obtidos apontam a prática experimental no ensino remoto como um mecanismo facilitador e potencializador do processo de ensino-aprendizagem, como observa-se nas falas a seguir:

Aluno A: “*Sim, pois a aula fica mais divertida e melhor de entender*”

Aluno B: “*Sim, porque fica mais detalhado para gente entender. E mostrado em uma imagem é muito diferente de como se a gente tivesse realmente fazendo.*”

Aluno C: “*Sim. Porque fica entediante o tempo todo as aulas teóricas, é bom na prática de vez em quando*”.

Sobre os experimentos, também é importante fazer algumas ponderações. Começando pelo experimento da “Folha de Papel”, que consiste primeiramente em amassá-la mudando por completo seu formato, e depois desamassá-la para demonstrar como ela continua sendo uma folha de papel, logo não sofreu nenhuma reação química. Em seguida aproxima-se a folha de uma chama qualquer, para demonstrar como ao entrar em combustão passa a se tornar um material totalmente diferente, caracterizando assim uma reação química.

Esse primeiro experimento, por ser simples e acessível, atende por completo as necessidades do trabalho aqui proposto. Certamente todos os estudantes já sabem previamente o que vai acontecer quando a folha de papel for amassada e depois quando se atear fogo a ela. Mas, levados a reflexão podem constatar de forma prática o que é uma reação química e diferenciar quando uma ocorre ou não.

O experimento do “Refrigerante de Cola com Mentos” consiste em adicionar o doce *Mentos* em uma garrafa de refrigerante de Cola até que aconteça uma reação química na qual o líquido começa a jorrar em forma de espuma, como mostra a Figura 5.

A bala de mentos é mais densa que o refrigerante, por isso vai para o fundo. Sendo cítrico, aumenta a concentração de gás carbônico, pois possui uma superfície irregular e furos minúsculos, aumentando a tendência de provocar bolhas. Já no caso de refrigerante diet ou light, que não leva açúcar na fórmula, as bolhas têm mais liberdade para se expandir.



Figura 5: experimento do “Refrigerante de Cola com Mentos”

Fonte: Autores, 2021

O experimento do “Açúcar e Fogo” (Figura 6), coloca-se uma pequena porção de açúcar em uma colher e aproxima-se a uma chama com o intuito de demonstrar que o açúcar muda de consistência quando exposto ao calor devido à sua oxidação.

A sacarose perde água durante a fundição do açúcar e se transforma em anidridos de glicose e anidridos de frutose ou glicosanos e levulosanos. Os ácidos formados são responsáveis pelo novo aroma e cor dada ao caramelo. A nova cor marrom dada ao caramelo é devida à formação de polímeros com pigmentos chamados de melanoidina. Os fatores que influenciam na produção de caramelos são os ácidos carboxílicos, alguns metais e o pH básico ou ácido.



Figura 6: experimento do “Açúcar e fogo”

Fonte: Autores, 2021

Por fim, na experiência com “Vinagre e Bicarbonato de Sódio” (Figura 7), acende-se uma vela, mistura-se em um recipiente, vinagre e bicarbonato de sódio. Enquanto estes reagem, fecha-se o primeiro recipiente com o outro vazio. Em seguida, aproxima-se o recipiente vazio da chama da vela, o qual se apaga. O CO_2 , produto da reação entre o bicarbonato de sódio e vinagre (ácido acético) é mais denso que o ar, assim ele pode ser “derramado” sobre as velas cortando o suprimento de oxigênio que é essencial para a combustão.



Figura 7: Experiência com Vinagre e Bicarbonato de Sódio.

Fonte: Autoria Própria, 2021

Ao final da aula percebe-se que os estudantes compreenderam bem o assunto ministrado, impressão confirmada pelas respostas no segundo questionário. Isso serve

como indicador de sucesso do método experimental no ensino remoto. É importante salientar que, a longo prazo, esta metodologia garante uma formação adequada à compreensão do que é ciência e de seus conceitos mais básicos, visto que, os alunos passam a ser agente responsável pelo seu próprio conhecimento, pois, de acordo com Demo (2004), através de uma aprendizagem criativa e atrativa os estudantes deixam de ser meros espectadores e passam a ser protagonistas de seu próprio saber.

4 | CONCLUSÕES

Considerando os dados obtidos desta pesquisa, conclui-se que mesmo na ausência de laboratórios, a prática experimental mostrou-se eficiente no processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Tal prática, pode ser desenvolvida usando apenas materiais de baixo custo e de fácil acessibilidade. Dessa forma, é necessário que o professor tenha domínio do conteúdo e dê espaço a essa metodologia.

São desenvolvidos ao longo dos anos, muitos estudos a respeito da importância das práticas experimentais. No entanto, existe uma resistência por parte dos educadores em executar tais práticas. Diante disso, nota-se que barreiras ainda precisam ser rompidas.

Com a pandemia da COVID-19, o rompimento de tais barreiras tornou-se ainda mais necessário. Visto que, os dados obtidos por meio dos questionários aplicados, evidenciam que a experimentação de forma remota e o ambiente virtual de aprendizagem, possui um papel fundamental quando acompanhada de uma reflexão sobre sua aplicação, além de contribuir para melhor compreensão de teorias estudadas.

Por fim, evidencia-se que esta experiência foi bem-sucedida de modo que os discentes desenvolveram a habilidade de relacionar os conceitos abordados na química partindo da experimentação, além de se sentirem mais motivados a perguntarem, expondo desta maneira dúvidas e alegrias.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelas bolsas PIBID, projeto LABINFRA da UFPA pela oportunidade de atuar em sala de aula de forma remota e aos discente da Escola Nunes Direito pela oportunidade de parceria do projeto.

REFERÊNCIAS

ANDRADE V. F.; PINHEIRO Thales A; PINHEIRO Thaisa A. **Aulas práticas de química online no processo de ensino e aprendizagem em tempos de pandemia.** In INTEGRA EDA. 2020. Mato Grosso do Sul. **Anais...**Mato Grosso do Sul: UFMS, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/IntegraEaD/issue/view/601>. Acesso em: 19 de nov. 2021.

BOZKURT, Aras; SHARMA, Ramesh Chander. **Emergency Remote Teaching in a Time of Global Crisis Due to Coronavirus Pandemic**. Asian Journal of Distance Education, Nova Deli, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2020. Disponível em: <http://asianjde.org/ojs/index.php/AsianJDE/article/download/447/297>. Acesso em: 19 de nov. 2021.

DEMO, P. Pesquisa como princípio educativo na Universidade. In: MORAES, R., LIMA, V. M. R. (orgs.). **Pesquisa em Sala de Aula: tendências para a Educação em Novo Tempos**. 2 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, p. 51-86, 2004.

MONTEIRO, I.G.S.; SALES, E.S.; LIMA, K.S. (2013). **Experimentos em sala de aula: minimizando barreiras do ensino da Química**. In: VII Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, Anais do VII EDUCON, Sergipe, UFS, p. 2-3, 2013.

MOORE, Michael Grahame; KEARSLEY, Greg. **Educação a Distância: uma visão integrada**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

RODRIGUES, N. C.; SOUZA, N. R.; PATIAS, S. G. O.; CARVALHO, E. T.; CARBO, L.; SANTOS, A. F. S. **Recursos didáticos digitais para o ensino de Química durante a pandemia da Covid-19**. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 10, n. 4, e22710413978, 2021 (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13978>. Acesso em: 19 de nov. de 2021.

SILVA, Wilson Antonio, et al. **Utilizando Materiais de Baixo Custo Como Ferramenta Didática para o Ensino de Química**. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DAS LICENCIATURAS – COINTER – PDVL, 5, 2018**, Teresina. Artigo. Disponível em: <https://cointer-pdvl.com.br/wp-content/uploads/2019/01/UTILIZANDO-MATERIAIS-DE-BAIXO-CUSTO-COMO-FERRAMENTA-DID%C3%81TICA-PARA-O-ENSINO-DE-QU%C3%8DMICA-1.pdf> Acesso em: 19 nov. 2021.

APLICAÇÃO DO CONTEÚDO DE RADIOATIVIDADE E SUA INTERDISCIPLINARIDADE ATRAVÉS DE UM JOGO LÚDICO NO ENSINO REMOTO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de Submissão: 08/11/2021

Celine Eveli Teixeira de Barros

Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

<http://lattes.cnpq.br/8603893725891377>

Yasmim dos Santos Barros

Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

<http://lattes.cnpq.br/4641780441530029>

Alexsandro Sozar Martins

Secretaria de Estado de Educação- SEDUC, Belém, Pará.

<http://lattes.cnpq.br/2507769399752656>

Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte

Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

<http://lattes.cnpq.br/6575305310211391>

Kelly das Graças Fernandes Dantas

Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

<http://lattes.cnpq.br/7227777727553334>

RESUMO: Este trabalho propõe o desenvolvimento de um jogo lúdico intitulado como “Caminho da Radioatividade” tendo

como objetivo uma sequência didática para o ensino de Radioatividade durante o período de ensino remoto visando a melhoria do ensino-aprendizagem do conteúdo de química. Questionários foram aplicados, assim como a utilização e a produção de materiais visuais e auditivos sobre as áreas interdisciplinares como Física, Biologia, História e Geografia. A aplicação da sequência didática proposta evidenciou a aprendizagem dos alunos sobre os conceitos básicos da radioatividade e atribuiu mais conhecimentos aos alunos que já possuíam algum conhecimento sobre o conteúdo.

PALAVRAS-CHAVE: Jogo lúdico; Ensino remoto; Radioatividade.

APPLICATION OF RADIOACTIVITY CONTENT AND ITS INTERDISCIPLINARITY THROUGH A PLAYFUL GAME IN REMOTE TEACHING

ABSTRACT: This work proposes the development of a playful game entitled “Road of Radioactivity” with the objective of a didactic sequence for the teaching of Radioactivity during the period of remote teaching, aiming at improving the teaching-learning of chemistry content. Questionnaires were applied, as well as the use and production of visual and auditory materials on interdisciplinary areas such as Physics, Biology, History and Geography. The application of the proposed didactic sequence evidenced students’ learning about the basic concepts of radioactivity and gave more knowledge to students who already had some knowledge about the subject.

KEYWORDS: Playful game; Remote teach; Radioactivity.

INTRODUÇÃO

O interesse do aluno em buscar conhecer cada vez mais, surge a partir de uma abordagem fora dos padrões do ensino tradicional. Um tipo de abordagem para despertar a motivação do aluno é a contextualização da relação entre o cotidiano e os conteúdos ministrados em sala de aula. (RICARDO, 2003). A escolha do tema “Radioatividade” surgiu pelo interesse na busca pela eficiência da aprendizagem do ensino de química, uma vez que a abordagem dos conteúdos dos livros não tem muitas explicações e como consequência torna-se um material elementar. (SILVA, *et al.*, 2009).

A partir desta contextualização o aluno poderá acrescentar aos fenômenos presentes no seu cotidiano, os mais variados tipos de tecnologias e a utilização de plataformas via internet, como por exemplo o “phet.colorado”, fazendo valer a eficácia do ensino e aprendizagem. Com isso, o ensino de radioatividade, ao ser abordado de forma contextualizada, torna visível os avanços tecnológicos causados pelo uso da radiação e a interação com o meio e a matéria. Outra forma de conectar o conteúdo com a vivência do aluno é a utilização de um jogo lúdico, que pode servir como um fator estimulante do raciocínio, pensamento e cognição permitindo que ocorra a facilitação do conteúdo mediado (LIMA, 2012).

Diante disso, um jogo de tabuleiro foi desenvolvido utilizando o *Power point* e este foi aplicado em duas turmas do 2º (segundo) ano do ensino médio da E.E. E. F. M. Manoel Leite Carneiro, localizada na cidade de Belém-PA. Neste jogo foi abordado o conteúdo “Radioatividade e sua interdisciplinaridade” para proporcionar a construção do conhecimento através do trabalho coletivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A execução das atividades pedagógicas foi dividida em três aulas. Na primeira aula foi realizada a aplicação do primeiro questionário (Q1), a fim de que as respostas servissem de base para início do projeto e maior compreensão da margem do conhecimento dos alunos acerca do conteúdo de radioatividade. Em seguida, uma aula expositiva foi apresentada utilizando *slides*, as aulas aconteceram por meio da plataforma *Google Meet*. Na segunda aula, foi feita uma revisão do conteúdo da aula anterior e logo deu-se continuidade ao conteúdo de radioatividade, seguido de uma apresentação de um documentário sobre os efeitos das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki. Na terceira aula, houve a aplicação do lúdico com os alunos, onde cada turma foi dividida em dois grupos (grupo A e grupo B).

O Caminho da radioatividade é um jogo de tabuleiro que consiste em conseguir alcançar a linha de chegada na frente dos adversários e durante a jornada pode-se ganhar ou perder *rays* (pontuação do jogo) a partir de perguntas relacionadas à radioatividade, conteúdo abordado em aulas anteriores (Figura 1).

O jogo aconteceu a partir da divisão de dois grupos entre os alunos de cada turma,

o grupo A e o grupo B, que por meio de uma rolagem de dado virtual, era possível o avanço ou regressão, nas casas do jogo. Algumas casas tinham nomes especiais como as casas de Saúde (Urgência!), as quais falavam sobre os efeitos da radiação em organismos vivos (Figura 2A), as casas de sinalização de Radiação (Cuidado, radiação!), responsáveis pelos efeitos químicos e físicos da radiação (Figura 2B), as casas de Sorte ou azar (Sorte ou azar?), que garantiam vantagens ou desvantagens, fazendo a equipe da vez ganhar ou perder *rays* (Figura 2C) e o “Dia do juízo” as quais permitiam que a equipe sorteada perguntasse algo sobre a radioatividade à outra equipe e a pontuação era concedida à cada resposta correta, ou para a equipe que formulou a pergunta, caso respondessem errado. Para a identificação das equipes, além dos nomes A e B, foram utilizados personagens que tiveram grande influência nas áreas de química e física, sendo eles Marie Curie, Antoine-Henri Becquerel e Albert Einstein (Figura 3) e assim disputaram para alcançar a linha de chegada.

Após a aplicação do jogo, foi realizado o segundo questionário (Q2) para verificar a eficiência de toda didática aplicada.



Figura 1: Caminho da radioatividade

Fonte: Os autores.



Figuras 2A, 2B e 2C: Casas especiais.

Fonte: Os autores

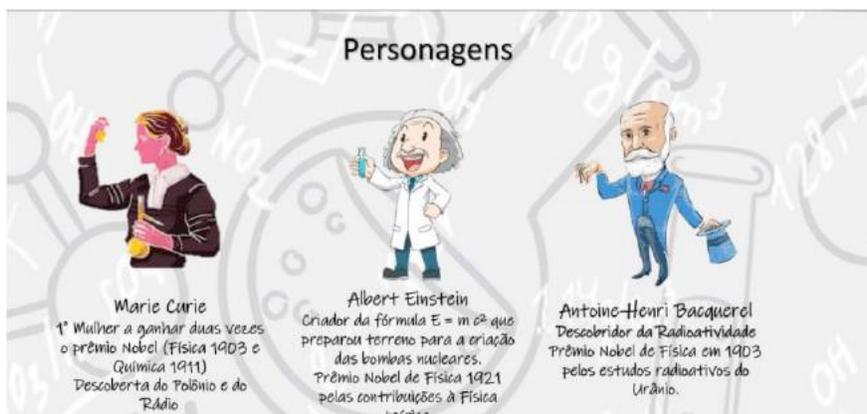


Figura 3: Personagens para sequência do jogo.

Fonte: Os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do jogo foi observado que os alunos tiveram algumas dúvidas sobre o conteúdo, as quais permitiram a troca de conhecimentos entre eles e as bolsistas monitoras. Vale lembrar que a aplicação do jogo lúdico se deu após as apresentações da parte conceitual. Isso proporcionou discussões durante a aplicação do jogo e um melhor entendimento sobre o que foi ministrado. Tendo como base a descoberta da radioatividade, os tipos de radiação, suas causas e consequências, foi realizada a análise das respostas dos questionários Q1 (Quadro 1) e Q2 (Quadro 2). Para verificação da viabilidade do método aplicado, foi realizada a comparação das respostas dos alunos aos questionários 1 e 2, os resultados estão dispostos no gráfico da Figura 4.

Perguntas	Participantes
1- O que você acha sobre o uso de jogos didáticos nas aulas de química?	12
2- Para você a emissão de radiação é algo positivo ou negativo? Justifique sua resposta.	12
3- A radiação é benéfica para a saúde?	12
4- Cite alguma aplicação cotidiana da radiação.	12
5- Cite aplicações da radiação no contexto histórico e geográfico mundial.	12

Quadro 1: Perguntas e número de participantes do questionário (Q1) de sondagem.

Fonte: Os autores.

Perguntas	Participantes
1- Para você como foi a experiência com a didática utilizada?	12
2- Para você a emissão de radiação é algo positivo ou negativo? Justifique sua resposta.	12
3- A radiação é benéfica para a saúde?	12
4- Cite 3 aplicações da radiação na medicina.	12
5- Cite aplicações da radiação no contexto histórico e geográfico mundial.	12

Quadro 2. Perguntas e número de participantes do questionário (Q2) após a aula e o lúdico.

Fonte: Os autores.



Figura 4. Gráfico referente as respostas dos questionários.

Fonte: Os autores.

Comparando a questão 1, do questionário Q1, com a questão 1, do questionário Q2, podemos inferir que a receptibilidade dos alunos foi alta para a utilização de um método aplicado.

Fazendo o comparativo entre a questão 2, do questionário Q1, com a questão 2, do questionário Q2, cuja pergunta é a mesma, podemos inferir que antes da apresentação do conteúdo e do jogo lúdico alguns alunos não sabiam responder. Após a apresentação, os alunos tiveram a noção de que a radiação pode ser um tanto danosa se exposto por longos períodos e positiva quando aplicada no uso da medicina.

Comparando as questões 3 dos questionários Q1 e Q2. No questionário Q1 entende-se que alguns alunos já tinham um certo conhecimento a respeito dos efeitos biológicos da radiação. Após a aplicação da aula e do jogo lúdico pode ser percebido que grande parte dos alunos puderam agregar as informações do conteúdo ministrado ao conhecimento que eles já possuíam.

Fazendo o comparativo do questionário Q1 e Q2 para a questão 4. No questionário Q1, os 11 alunos relacionaram a radiação com a medicina, com os meios de comunicação e aparelhos eletrônicos. Apenas um aluno não soube responder. No questionário Q2, os 12 alunos responderam raios x, radiografia e tomografia. A princípio, os alunos já possuíam o conhecimento prévio acerca da aplicação da radiação em um contexto geral e com a aplicação da aula e do lúdico, eles puderam aprofundar o conhecimento sobre essas aplicações na medicina.

Comparando as respostas do questionário Q1 e Q2 na questão de número 5, entende-se ao analisar as respostas da sondagem que 6 alunos demonstraram conhecer alguns fatores históricos envolvendo a radiação e 6 alunos não souberam responder. Nas respostas do questionário aplicado após as aulas e ao jogo lúdico, todos os alunos apresentaram conhecer pelo menos um fator histórico envolvendo a radiação. Assim, demonstrando a eficácia da aula e do lúdico aplicado.

CONCLUSÕES

Ficou evidente que após a aplicação da atividade lúdica e as aulas ministradas, os alunos que já tinham uma base acerca do tema, puderam aprofundar o conhecimento que já possuíam. Por outro lado, aqueles alunos que não apresentaram conhecimento algum, após a aplicação da atividade lúdica subsidiada pelas aulas, apresentavam conhecimentos satisfatórios sobre o tema, pois de acordo com as respostas do segundo questionário todos os alunos conseguiram responder adequadamente, demonstrando assim, uma aprendizagem favorável pelo método utilizado. Pôde-se perceber que a recepção de uma metodologia fora dos padrões de sala foi bem recebida pelos alunos, pois durante a aplicação do lúdico demonstraram interesse em participar. O que fica evidente que a metodologia aplicada com os alunos pode influenciar diretamente na vontade do aluno em

aprender o assunto abordado pelo professor.

REFERÊNCIAS

LIMA, J. O. G. **Perspectivas de novas tecnologias no Ensino de Química**. Revista Espaço Acadêmico, v. 1, n. 136, p. 96-97, 2012.

OKUNO, E., YOSCHIMURA, E. **Física das Radiações** – Oficina de Textos, p.70, São Paulo – 2010.

PEROVANO, L. P.; PONTARA, A. B.; MENDES, A. N. F. **DOMÍNIO INORGÂNICO: UMA FORMA INCLUSIVA E LÚDICA PARA ENSINO DE QUÍMICA**. Revista Conhecimento Online, [S. l.], v. 2, p. 37–50, 2017. DOI: 10.25112/rco.v2i0.1088.

Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistaconhecimentoonline/article/view/1088>. Acesso em: 2 jul. 2021.

RICARDO, E. C. **Implementação dos PCN em sala de aula: dificuldades e possibilidades**. Física na Escola. São Paulo, v. 4, n. 1, 2003, p. 8-11.

SILVA, R. T.; CURSINO, A. C. T.; AIRES, J. A. & GUIMARÃES, O. M.. **CONTEXTUALIZAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO UMA ANÁLISE DOS ARTIGOS PUBLICADOS NA SEÇÃO “EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA” DA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA 2000-2008**. Ensaio, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, 2009, p. 245-261.

O USO DE MÁSCARAS COMO TEMA PARA AULA DE GASES E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO CONTEXTO DA PANDEMIA DE COVID-19

Data de aceite: 01/02/2022

Igor Andrade Ribeiro

Poliane Moreira Pereira

André Luigi Soares de Souza

Matheus Conceição Jacaúna

Rosenir Xavier Tavares

Jackson Guerreiro de Almeida

Crisquelen Guimarães de Souza

José Nilton Almeida da Silva Filho

Alex Izuka Zanelato

Ataiany dos Santos Veloso Marques

RESUMO: O presente resumo expandido trata de um relato de experiência com o objetivo de desenvolver postagens de divulgação científica, sobre o tema uso de máscaras para aula de gases na disciplina de química ministrada de forma remota para estudantes da segunda série do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Parintins. A postagem foi criada a partir da plataforma de design gráfico Canva e desenvolvida pelos bolsistas do PIBID/Química sobre orientação da professora da disciplina de química da escola, com estudantes do segundo ano do ensino médio no turno vespertino do Colégio Batista de Parintins. Os resultados mostram a relevância de trabalhar o tema

de gases com os estudantes, no contexto da pandemia.

PALAVRAS-CHAVE: Uso de máscaras; Gases; Divulgação Científica.

ABSTRACT: This expanded abstract is an experience report with the aim of developing scientific dissemination posts on the topic of using masks for gas classes in the chemistry discipline taught remotely to second grade high school students at a public school. from the city of Parintins, Amazonas. The post was created from the graphic design platform Canva and developed by the PIBID/Chemistry scholarship holders under the guidance of the school's chemistry teacher, with second-year high school students in the afternoon shift at Colégio Batista de Parintins. The results show the relevance of working the topic of gases with students in the context of the pandemic.

KEYWORDS: Use of mask; Gases; Scientific divulgation.

1 | INTRODUÇÃO

O estudo dos gases é muito importante na compreensão de fatos que ocorrem no cotidiano. O contexto da pandemia de Covid-19 no Brasil trouxe muitas mudanças, dentre elas, a recomendação para o uso de máscara. No entanto, observou-se inúmeras informações com idoneidade questionável, as chamadas Fake News, que põem em dúvida a importância desse equipamento. A partir de uma postagem em rede social, afirmando que o uso de

máscara faz com que o usuário respire o próprio CO₂, buscou por meio deste trabalho criar postagens de divulgação científica em redes sociais como forma de chamar atenção do público para informações disseminadas sem respaldo científico e apresentá-las como material para a aula de Gases da disciplina de Química. Uma vez que de acordo com Santos e Schnetzler (2010) os professores de Química têm papel muito importante no auxílio à construção de uma sociedade democrática, transformando a sala de aula em um instrumento de conscientização. Além disso, a responsabilidade dos professores ao ensinar Ciências, é fazer com que todos os estudantes se transformem em cidadãos mais críticos, por meio do ensino recebido (CHASSOT, 2011). Concomitante a isso, o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), possibilita os primeiros contatos entre futuros professores e estudantes da educação básica. Esse momento, é propício para a vivência de experiências e para o desenvolvimento de atividades que busquem melhorar o ensino. Falar da ciência, além de explicar fatos do cotidiano, possibilita que os estudantes tenham um conhecimento crítico diante de notícias sem respaldo científico, tornando-se, alfabetizados cientificamente (CHASSOT, 2011).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As postagens de divulgação científica usados na aula de Gases, foram produzidas por acadêmicos da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), vinculados ao subprojeto do PIBID/Química do Colégio Batista de Parintins (CBP), localizado na cidade de Parintins. As atividades foram realizadas sobre orientação da professora de Química da escola. A elaboração dos materiais estava vinculada ao conteúdo programático de Gases, a fim de apresentá-los a 157 estudantes do 2º ano do ensino médio vespertino. O procedimento do trabalho se deu em 6 etapas: Etapa 1 – Criação dos perfis nas redes sociais Facebook e Instagram. Etapa 2 – Discussões entre professora supervisora e bolsistas, a fim de identificar assuntos importantes na sociedade para relacionar com o estudo de Gases. Etapa 3 – Leitura de publicações com o tema sobre a importância do uso de máscara feita pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) e pela Agence France- Presse (AFP), afim de encontrar respostas para a seguinte pergunta: “É verdade que o uso de máscara faz com que o usuário respire o próprio CO₂?”. Etapa 4 – Criação das postagens, usando a plataforma de design gráfico Canva. Etapa 5 – Divulgação dos posts nas redes sociais do PIBID/Química. Etapa 6 – Apresentação dos posts na aula de Gases, para 157 pessoas presentes no grupo de WhatsApp da 2ª série do Ensino Médio. Nesse grupo, a professora de química contava com 1 tempo, com média de 50 minutos. As aulas eram preparadas por meio do PowerPoint e PDF's, publicadas no grupo e em seguida disponibilizados áudios para explicar o material. Após a explicação do conteúdo, abria-se o grupo para participação dos estudantes. Usando este mesmo modelo de aplicação, o material criado pelos bolsistas foi apresentado aos estudantes.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

“A divulgação científica é entendida como o modo de difundir o conhecimento produzido no campo científico para fora do seu contexto originário” (OLIVEIRA, 2013, p.110). Neste sentido, após pesquisa sobre a importância do uso de máscara, encontrada em relatório elaborado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que a coloca como “parte de um conjunto completo de medidas de prevenção e controle cujo objetivo é frear a propagação do [...] vírus que causa a COVID-19” (OPAS, 2020, p.1), usou-se as redes sociais criadas pelos bolsistas do PIBID/Química (Figura 1) a fim de propagar o conhecimento científico por meio de imagens explicativas. Após a divulgação nas redes sociais, as imagens foram usadas nas aulas de gases, aplicadas pelos bolsistas para 157 estudantes presentes em um grupo de WhatsApp, usado como sala de aula virtual (Figura 2). O conceito de Gases pôde ser visto a partir da explanação de como ocorre a respiração, com a troca gasosa entre Oxigênio (O_2) e Dióxido de Carbono (CO_2). Quanto a pergunta: “É verdade que o uso de máscara faz com que o usuário respire o próprio CO_2 ?” A resposta foi não, pois os resíduos respiratórios são partículas muito pequenas que atravessam a máscara, e um desses principais resíduos é o CO_2 , cujas partículas também a atravessam e não se acumulam. Assim, verificou-se a relevância do assunto diante do contexto da pandemia, pois difunde o conhecimento científico, a fim de tornar os estudantes, indivíduos críticos e comprometidos com a cidadania, para que alfabetizados cientificamente, entendam a necessidade de transformar o mundo para melhor (CHASSOT, 2011).



Figura 1 - Publicações nas redes sociais do PIBID.

Fonte: Autores.

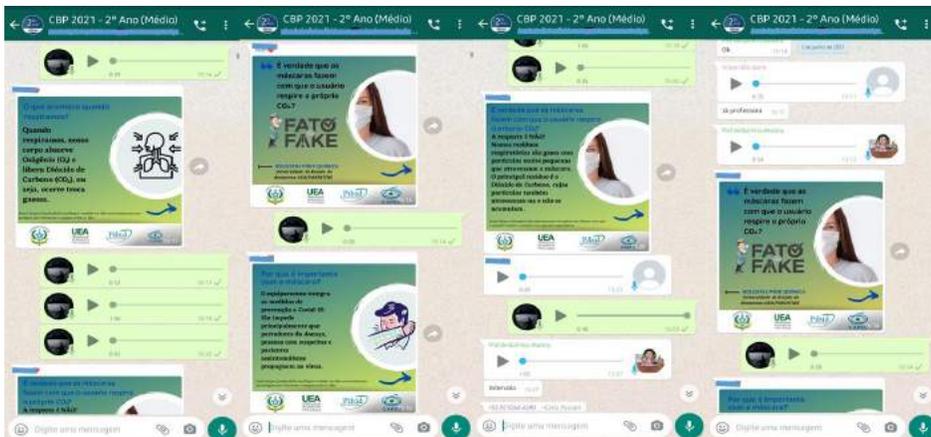


Figura 2: Apresentação dos materiais aos alunos via WhatsApp

4 | CONCLUSÕES

A realização da atividade proporcionou aos alunos da 2ª série do ensino médio, informações com maior respaldo científico. Relacionando conceitos do ensino de Química com a realidade em que vivem no contexto da pandemia. Desta forma, foi possível trabalhar conceitos relacionados ao estudo dos gases, mostrando a relevância do tema na atualidade. E enfatizando o papel do professor de química na promoção do conhecimento científico em favor de uma melhor qualidade de vida dentro de uma comunidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pela CAPES, através do Projeto PIBID (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência). Agradecemos aos gestores, professores de química e estudantes.

REFERÊNCIAS

CHASSOT, Attico. Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação / Attico Chassot - 5. ed., rev. - Ijuí: Ed. Unijuí, 2011. - 368 p. - (Coleção Educação em química).

MARVAL, Valentina de. As máscaras cirúrgicas não fazem com que o usuário respire o próprio CO₂, segundo especialistas. AFP. Brasil, 20 de set. de 2020. Disponível em: <https://checamos.afp.com/mascaras-cirurgicas-nao-fazem-com-que-o-usuario-respire-o-proprio-co2-segundo-especialistas>. Acesso em 10 de maio de 2021.

OLIVEIRA, Irene Correia de. A educação científica como elemento de desenvolvimento humano: uma perspectiva de construção discursiva. Revista Ensaio. Belo Horizonte. v.15 n.02, p. 105-122, maio - ago 2013.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. Uso de máscara no contexto da Covid-19. Whashington (D.C.); dez de 2020.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação em Química: compromissos com a cidadania / Wildson Luiz Pereira dos Santos, Roseli Pacheco Schnetzler. – 4. Ed. rev. atual. Ijuí: ed. Unijuí, 2010.- 160 p. – (Coleção educação em química).

CAPÍTULO 11

O ENSINO DE CHUVA ÁCIDA POR MEIO DE MÍDIAS DIGITAIS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 29/10/2021

Alice Pantoja Trindade

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/7829585293947820>

Brennda Monteiro Gama

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/0814104342040115>

Fabricia Oliveira da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/6461211985388062>

Kalebe Pinheiro Ramos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2610436372756651>

Laura Cristina Ponte Moraes

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/3731395740595256>

Mateus de Jesus Silva Matos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/5603144449198853>

Ruan Brandão Quintela

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/9512631311733450>

Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2365914824078283>

Filipe dos Anjos Queiroz

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8057189662871112>

Francisco Diniz da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8562429127078586>

RESUMO: Este trabalho trata sobre o tema “chuva ácida” e teve como objetivo auxiliar os alunos no processo de aprendizagem por meio dos recursos midiáticos Google Meet, simulador Phet Colorado e laboratório Yenka, oportunizando a construção de conhecimentos básicos sobre ácido-base para o ensino de chuva ácida através de vídeos experimentais para os alunos. A avaliação do grau de conhecimento obtido pelos alunos durante a oficina ocorreu através da aplicação de questionários referentes aos experimentos e as metodologias realizados. O projeto foi desenvolvido na Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa, localizada no bairro Zerão do município de Macapá-AP, em turmas da 3ª série e 2ª etapa do EJA.

PALAVRAS-CHAVE: *Chuva Ácida; Ensino; Mídias digitais.*

TEACHING ACID RAIN THROUGH DIGITAL MEDIA

ABSTRACT: This work deals with the theme “acid rain” and aimed to assist students in the learning process through the media resources Google Meet, Phet Colorado simulator and Yenka laboratory, providing opportunities for the construction of basic knowledge about acid-base for the teaching of acid rain through experimental videos for students. The evaluation of the degree of knowledge obtained by the students during the workshop occurred through the application of questionnaires referring to the experiments and methodologies carried out. The project was developed at the Teacher Nancy Nina da Costa State School, located in the Zerão neighborhood of the city of Macapá-AP, in classes from the 3rd grade and 2nd stage of EJA.

KEYWORDS: *Acid rain; Teaching; Digital media.*

1 | INTRODUÇÃO

O assunto abordado tem como importância mostrar as consequências que a chuva ácida provoca no meio ambiente e no ser humano por causa da industrialização, visando envolver os alunos em uma atividade coletiva, familiarizá-los com o tema e prepará-los para um dos assuntos mais recorrentes do ENEM.

O objetivo desse trabalho é ensinar e proporcionar ao aluno o entendimento de onde, como e porque ocorre a chuva ácida. Objetiva-se ainda fazer com que o aluno relacione a queima de combustíveis fósseis à essa chuva, além de assimilar que o homem, se quiser, pode destruir seu ambiente natural. E ainda, despertar o senso crítico através de análise ambiente natural X ambiente industrial.

De acordo com Odum (1988), as áreas urbanas são ambientes fundamentais para o alto nível de poluição ambiental. Apesar das sujeiras também aparecerem de outras formas, a progênie da impureza ecológica ocorre mais em locais altamente desenvolvidos, ou seja, industrializados.

Segundo Cred (2020), as estatísticas, nos últimos vinte anos, mostram que aumentaram os números de acontecimentos de desastres ambientais, tendo relação com fatores climáticos ocasionados pela interferência de ações humanas que causaram risco ambiental para a população mundial.

A poluição ambiental, gerada por carvão, petróleo, gás natural etc., traz graves consequências climáticas para o ser humano, em razão de haver liberação de gases como o dióxido de carbono. O risco dessas consequências ambientais torna-se ainda maior quando há degradação e ocupação em locais de preservação ambiental. Para Odum (2001, p. 34):

O homem, claro está, tenta mais do que qualquer outra espécie modificar o ambiente físico afeiçoando-o às suas necessidades imediatas, porém, ao fazê-lo está a desbaratar, mesmo a destruir, componentes bióticos necessários, à sua própria sobrevivência.

De acordo com Derísio (2017), as reações químicas formadas por processos

industriais liberam várias partículas de gases poluentes, como os óxidos de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Corroborando com essa temática, Cowling (1982) afirma que esses gases soltos na atmosfera, juntamente com dióxido de carbono, quando se encontram com as gotículas de água formam o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3), que são a causa da acidez da água das chuvas no planeta.

Conforme Cowling (1982), a expressão Chuva Ácida surgiu no século XIX, pelo químico britânico Robert Angus Smith, uma das principais consequências que ele observou foi a deterioração que elas causavam nas plantas e materiais, relacionando a acidez da chuva com ácido sulfúrico.

De acordo com Fornaro (2006), existem dois tipos de chuva, a “chuva alcalina” que apresenta o $\text{PH}>6$ e a “chuva ácida” quem têm o $\text{PH}<5$. Em algumas regiões, estudos revelaram, que o PH da chuva foi inferior à 4,5, elevando mais a acidez nas cidades.

A extensão, na qual a precipitação ácida afeta uma determinada área, depende significativamente da composição do solo: áreas fortemente afetadas são as que contêm granito ou quartzo, já que estes têm pequena capacidade de neutralização; em contraste, solos contendo carbonato de cálcio, podem neutralizar a acidez de modo mais eficiente (MARTINS e ANDRADE, 2002, p.270).

A chuva, mesmo sendo ácida, ainda é considerada um meio de limpar os resíduos poluentes da atmosfera, porém essa limpeza desloca a poluição para rios e lagos, causando graves problemas ambientais (JESUS, 1996).

Além de poluir rios e lagos, destruindo a flora e a fauna aquática, a chuva ácida se infiltra no solo, liberando metais potencialmente tóxicos tais como Al, Pb, Cd, que podem se introduzir na cadeia alimentar (MARTINS e ANDRADE, 2002, p.270).

De acordo com Giordan (1999), o conhecimento científico é, facilmente, desenvolvido através de práticas experimentais porque a investigação instiga a construção do conhecimento em relação ao tema trabalhado.

“O trabalho docente é atividade que dá unidade ao binômio ensino-aprendizagem, pelo processo de transmissão-assimilação ativa de conhecimentos, realizando a tarefa de mediação na relação cognitiva entre o aluno e as matérias de estudo”. (LIBÂNEO, 1994, p.88)

Justifica-se a aplicação desse trabalho em virtude da necessidade de abordagem e compreensão do tema chuva ácida, tópico amplamente discutido frente as problemáticas ambientais enfrentadas pela sociedade. Para isso, as mídias digitais podem ser fundamentais na conjuntura vivenciada no ano de 2020, uma vez que o processo de ensino-aprendizagem está se sucedendo de forma totalmente remota, o qual exige adaptação para o aproveitamento de novas metodologias de ensino digitais.

2 | METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido na Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa, no mês de junho do ano de 2021, em 3 turmas da 3ª série, turma 333 com 30 alunos, turma 332 com 47 alunos e turma 333 com 38 alunos, das 19 horas às 19 horas e 40 minutos, e 3 turmas da 2ª etapa do EJA (Educação de Jovens e Adultos), etapa A com 50 alunos, etapa B com 31 alunos e etapa C com 33 alunos, das 19 horas e 40 minutos às 20 horas e 20 minutos, totalizando 6 turmas e 229 discentes. A necessidade da escolha do tema surgiu mediante observações feitas na aprendizagem e dificuldades dos alunos em questões, tanto nas avaliações das escolas como nas do ENEM, relacionadas ao assunto. E observações externas em jovens-alunos, em geral, que apresentam dificuldades em se posicionar em relação a esse assunto perante a sociedade, a fim de influenciar decisões importante para o planeta e para a humanidade.

A oficina aconteceu através do Google Meet e teve como momento inicial a aula teórica e a utilização do Simulador Phet Colorado para conceituar Ácido-Base, sendo parte introdutória para o entendimento da Chuva Ácida.

O segundo momento foi a realização de um experimento, no Laboratório Virtual Yenka, onde foi demonstrado a reação do dióxido de carbono (CO_2) atmosférico com a água (H_2O). O experimento implicou em demonstrar um dos processos que contribuem para a acidez da chuva.

O terceiro momento foi a transmissão de um experimento (já gravado), onde foi colocada uma flor em um pote de vidro para demonstrar o efeito causado pela acidez da chuva e com o auxílio de uma colher foi queimado o enxofre, a fim de simular o efeito ácido. Em seguida, foi comparado a flor que ficou na chuva ácida com a flor que não ficou na chuva ácida e se observou que as flores mudaram de cor e de textura. Isso aconteceu porque a queima do enxofre reagiu com o gás oxigênio do ar se formando em dióxido de enxofre causando acidez dentro do pote fechado. Após o experimento, que teve a finalidade de demonstrar os efeitos negativos no meio ambiente, foi explicado as consequências ambientais dessa chuva.

E no quarto momento foi aplicado uma atividade de 5 questões, sendo 2 perguntas de resposta aberta e 3 questões objetivas, 2 adaptadas do ENEM e 1 de concurso, referindo-se ao assunto estudado com o objetivo de examinar e medir a absorção de conteúdo obtida pelos alunos.

Por fim, foi realizada a aplicação de outro questionário, onde o mesmo continha 5 perguntas do tipo fechadas de respostas e binárias (sim ou não), relacionadas à aprendizagem dos alunos para avaliar e coletar dados sobre a metodologia utilizada, os recursos midiáticos e a forma do ensino. O questionário foi de opinião individual, por serem respostas binárias.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

No momento inicial, notou-se que as turmas estavam intimidadas com presença de todos os bolsistas do PIBID/CAPES/UEAP presentes na sala de aula virtual, porém, para instigar a dúvida a respeito da chuva ácida e atrair a atenção deles foi necessário fazer questionamentos como “A chuva normal é considerada ácida?”, “Vocês acham que existe diferença entre a chuva normal e a chuva ácida?”, diante destes questionamentos foi possível notar que os alunos tinham pouco conhecimento sobre o assunto, pois a maioria respondia que a chuva normal não era ácida e que essa era a diferença entre ambas. A partir desse ponto a aula teórica fluiu de acordo com o entendimento dos alunos e se eles não entendiam, um ponto específico do assunto, a explicação era retornada ao ponto duvidoso e, posteriormente, seguida. Logo após, utilizando o Simulador Phet Colorado, foi explicado e exemplificado a diferença entre um ácido e uma base e suas principais características.

Após a aula teórica, procedeu-se à experiência que demonstrava o processo de formação da chuva ácida com o auxílio do Laboratório Virtual Yenka. Nesse momento, os alunos não só aprenderam como ocorre a chuva ácida, mas também puderam conhecer, mesmo de forma virtual, algumas vidrarias e outros aparatos que são utilizadas, diariamente, em um laboratório de química.

A fim de completar a oficina e, conseqüentemente, esclarecer ainda mais o assunto para os alunos, foi transmitido o experimento, gravado anteriormente que simulava o efeito da acidez da chuva em uma flor, que representava o meio ambiente. Em seguida, perguntou-se para os alunos o que eles haviam notado na experiência e alguns responderam que a flor “desbotou”, “enfraqueceu”, “ficou embranquecida” e etc.... Dessa forma, os discentes, observaram na prática o que apenas foi repassado na aula teórica sobre as conseqüências que chuva ácida traz para o meio ambiente e ser humano.

Para medir o grau de aprendizagem dos alunos foi aplicado a atividade a respeito do assunto abordado (chuva ácida), sendo que do total de 229 alunos apenas 200 discentes participaram, com prazo de uma semana para entregar a mesma. Veja a seguir o gráfico 1 que apresenta os resultados da aprendizagem dos alunos:

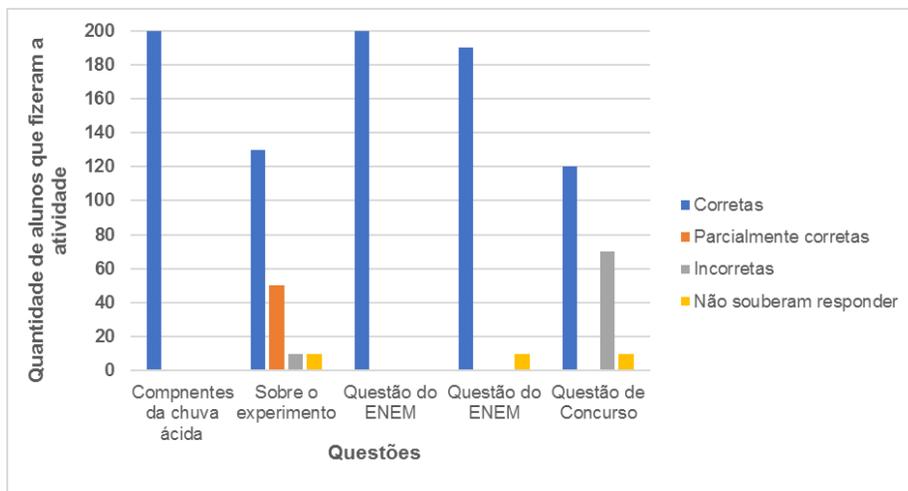


Gráfico 1: Aprendizagem dos alunos.

Neste gráfico, pode-se perceber que, dos alunos que participaram, todos conseguiram identificar os principais componentes que causam a acidez da chuva. A segunda pergunta sobre o experimento, em relação as parcialmente corretas dos alunos, foi devido à falta de explicação na resposta, uma vez que a questão era explicativa e as respostas incorretas ou sem respostas foi devido a indisponibilidade de internet de alguns alunos que inviabilizou a atenção ao experimento transmitido.

Percebe-se na segunda questão do ENEM e a de concurso que há acertos, mas também existem respostas incorretas e até mesmo alunos que não souberam responder, e isso pode ter acontecido pela falta de leitura por parte dos alunos, uma vez que, de acordo com o Anuário da Educação Básica 2020, a biblioteca e/ou sala de leitura, que é um dos equipamentos essenciais, não é presente na maioria das escolas brasileiras. Essa é uma realidade que afeta o desenvolvimento de alfabetização dos discentes, porém, os professores, por sua vez, necessitam adotar questões semelhantes nas suas metodologias a fim de habituar seus discentes à realidade do ENEM, uma vez que o mesmo exige um grau de leitura em suas questões propostas.

Após a atividade, procedeu-se a aplicação do questionário acerca dos recursos midiáticos, ensino e metodologia utilizado. Veja o gráfico 2 que representa a satisfação dos alunos:

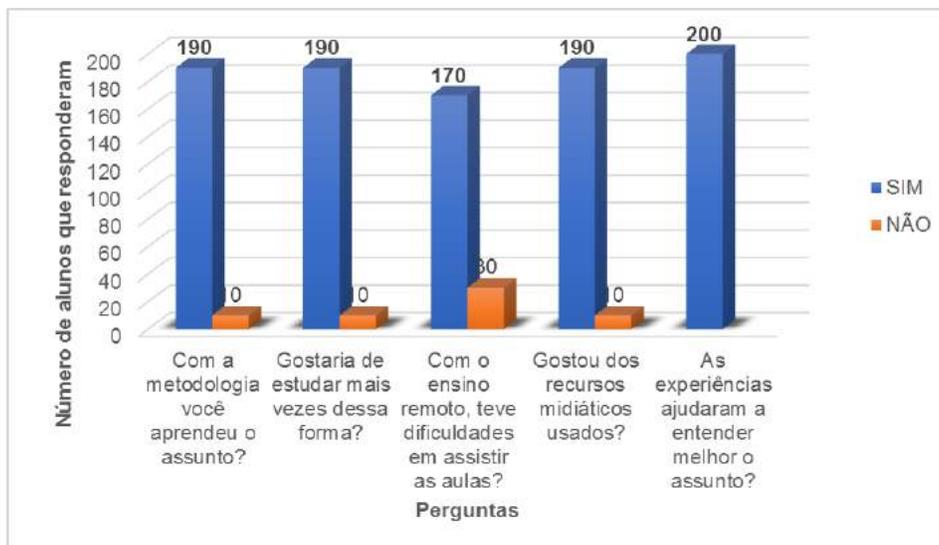


Gráfico 2: Satisfação dos alunos.

No gráfico 2 percebe-se que os recursos midiáticos, a metodologia, juntamente com as experiências funcionaram como facilitadores de aprendizagem dos alunos para a compreensão de um dos assuntos de química (chuva ácida). Por outro, o ensino remoto impossibilitou muitos alunos a assistirem as aulas, alguns por causa da internet e outros por não terem um dispositivo para participar das mesmas. Entretanto, nota-se uma facilidade dos alunos em entender o assunto quando há uma diferente metodologia, realizando experiências e associando-as com a realidade dos mesmos, pois o conhecimento empírico, quando estudado, dificilmente é esquecido.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oficina temática realizada não só tratou sobre um tema importante dos conteúdos da disciplina química, mas como também o correlacionou à problemáticas sociais com a finalidade de facilitar o entendimento do aluno utilizando recursos midiáticos para instigar o mesmo a participar das aulas e, principalmente, querer estudar. Assim, os resultados de aprendizagem do conteúdo e satisfação dos alunos para com a oficina proposta na realização desses questionários, embora considerados satisfatórios, incluem pontos que devem ser encarados como desafios, pois, faz-se necessário repensar novas metodologias para facilitar a construção do conhecimento dos alunos que tiveram baixos índices a fim de possibilitar o ensino remoto até aqueles alunos que se encontram, no momento de pandemia, sem internet e até mesmo sem dispositivo para a realização e participação das aulas online.

AGRADECIMENTOS

Esta obra foi publicada com recursos oriundos do Programa de Apoio a Publicações Acadêmicas Nacionais e Internacionais da Universidade do Estado do Amapá (UEAP) e por este ato os autores prestam gratidão à instituição que possibilita a expansão do saber científico.

REFERÊNCIAS

COWLING, E.B. **Acid Precipitation in Historical Perspective**. Environmental Science Technology, Estados Unidos 16(2), p 110A-1234A. 01 fev. 1982.

CRED. **CRED CRUNCH 61 – HUMAN COST OF DISASTERS (200-2019)**. Disponível em: <Centre for Research on the Epidemiology of Disasters | Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (cred.be)>. Acesso em: 06 de jan. 2021.

DERÍSIO, J.C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 5ª Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

FORNARO, A. **Águas de Chuva: conceitos e breve histórico**. Há chuva ácida no Brasil? Revista USP, São Paulo, n. 70, p. 79, 01 ago. 2006.

GIORDAN, M. **Experimentação e Ensino de Ciências**. Química Nova na Escola, n 10, p 43-49, nov 1999.

JESUS, E. F. R. **A importância do estudo das chuvas ácidas no contexto da abordagem climatológica**. Sitientibus, Feira de Santana, n. 14, p. 143-153, 1996.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 1ª Ed. São Paulo: Cortez Editora, 1994.

MARTINS, C. R; ANDRADE, J. B. **QUÍMICA ATMOSFÉRICA DO ENXOFRE (IV): EMISSÕES, REAÇÕES EM FASE AQUOSA E IMPACTO AMBIENTAL**. Química Nova, Bahia, v 25, p 259-272, 2002.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6ª Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. **ANUÁRIO 2020: TODOS PELA EDUCAÇÃO E EDITORA MODERNA LANÇAM PUBLICAÇÃO COM DADOS FUNDAMENTAIS PARA MONITORAR O ENSINO BRASILEIRO**. Disponível em: <<https://todospelaeducacao.org.br/noticias/anuario-2020-todos-pela-educacao-e-editora-moderna-lancam-publicacao-com-dados-fundamentais-para-monitorar-o-ensino-brasileiro/>>. Acesso em: 19 de jun. 2021.

CAPÍTULO 12

O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA POR MEIO DE JOGOS E SIMULADORES DIGITAIS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 08/11/2021

Fabricia Oliveira da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/6461211985388062>

Alice Pantoja Trindade

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/7829585293947820>

Brennda Monteiro Gama

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/0814104342040115>

Kalebe Pinheiro Ramos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2610436372756651>

Laura Cristina Ponte Moraes

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/3731395740595256>

Mateus de Jesus Silva Matos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/5603144449198853>

Ruan Brandão Quintela

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/9512631311733450>

Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/2365914824078283>

Filipe dos Anjos Queiroz

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8057189662871112>

Francisco Diniz da Silva

Universidade do Estado do Amapá
Macapá – AP
<http://lattes.cnpq.br/8562429127078586>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do letramento digital e incorporação das tecnologias nas aulas de química, utilizando aplicativos como Google Meet, simulador Phet Colorado e jogo digital Estequiz no desenvolvimento de aprendizagens com cálculos estequiométricos para discentes do ensino médio, desenvolvendo e preparando os alunos para o atual momento pandêmico nos impôs. Com a realização das aulas teóricas e das oficinas práticas, em turmas de 1º, 2º ano e 1º ano do EJA da Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa de Macapá-AP, e posterior coleta de dados, observar através da aprendizagem dos alunos a necessidade de utilizar as TIC's para melhor desenvolvimento das aulas como parte complementar, discentes participaram e compreenderam obtendo resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: *Apps; Cálculos*

THE TEACHING OF STEQUIOMETRY THROUGH GAMES AND DIGITAL SIMULATORS

ABSTRACT: This work aims to develop digital literacy and incorporate technologies in chemistry classes, using applications such as Google Meet, Phet Colorado simulator and Estequiz digital game in the development of learning with stoichiometric calculations for high school students, developing and preparing students for the current pandemic moment has imposed on us. With the realization of theoretical classes and practical workshops, in classes of 1st, 2nd and 1st year of EJA of the State School Professor Nancy Nina da Costa de Macapá-AP, and subsequent data collection, observe through the learning of students the need to use ICTs for better development of classes as a complementary part, students participated and understood obtaining satisfactory results.

KEYWORDS: *Apps; Stoichiometric Calculations; TCLs.*

1 | INTRODUÇÃO

O sistema educacional brasileiro sofreu mudanças, isso pôde ser observado com ênfase, no advento da pandemia do SARS-CoV. Esta gerou impactos na educação nacional, para estudantes e para Instituições de Ensino, em especial do Estado do Amapá, forçando a busca de novos meios de aprendizagem por parte de discentes e docentes, havia a necessidade em buscar novos meios tecnológicos para complementar e contribuir com as aulas durante o afastamento social e escolar.

Para Weffort (1967), educação estava tendendo para o caminho que parecia ser necessário, identificada com as condições da realidade. Contudo, houve avanços massivos nas tecnologias da informação, com grande contribuição para a educação, abrangendo um universo de indivíduos envolvidos no processo educacional. A mais recente conversão da LDB diz: para efeito de cumprimento das exigências curriculares do ensino médio, os sistemas de ensino poderão reconhecer competências e firmar convênios com instituições de educação a distância com notório reconhecimento, mediante as seguintes formas de comprovação (BRASIL,2017).

Para Fortuna (2013), a questão central da abordagem lúdica nos processos de ensino-aprendizagem não é ensinar como agir, como ser, pela imitação e pelo ensaio através do jogo, tampouco obnubilando o ensino e os conteúdos escolares, manipulando o aluno-jogador, mas sim, a possibilidade de desenvolver a imaginação, o raciocínio, a expressão, a relação com o outro e consigo mesmo. No entanto, Wu e Shah (2004) afirmam que as relações entre as tecnologias e Química, definem a Química como uma ciência essencialmente visual. A aprendizagem da Química envolve a compressão de conceitos expressos pela ciência por meio de compressão e gráficos, formulas, enunciados, sendo essas tão antigas quanto à própria Química.

O mundo contemporâneo exige a prazo curto um padrão de atualização dentro

das tecnologias. A cada ano é lançado novos saberes, novos letramentos, exigindo que a população consiga lidar com essas funcionalidades. A percepção da falta de interesse pelos cálculos em química, que se desenvolve ao longo dos anos na vida escolar, onde muitos alunos tem a seu favor a tecnologia em mãos, justifica-se a criação desse trabalho junto aos discentes da instituição, no Município de Macapá-Amapá, utilizando o celular móvel dos discentes, para manusear o App Estequiz, jogo criado para facilitar o aprendizado de cálculos estequiométricos e suas relações estequiométricas, além do simulador Phet Colorado, para demonstrar como o balanceamento estequiométrico funciona na prática, exercitando e aprendendo a qualquer momento, deixando com que cada um possa entender no seu ambiente ou em conjunto com seus colegas.

Para Contin e Pinto (2016) atualmente, em grandes centros urbanos brasileiros, crianças ainda muito novas já sabem utilizar tablets, celulares e computadores de seus pais – isso quando elas não têm os próprios dispositivos. Assim, a integração dos alunos neste modelo de buscar aprender tem obtido grandes êxitos vistos nas aulas virtuais que se instalaram durante a pandemia, poucos necessitaram das buscas impressas doadas pela Escola estadual Proessora Nancy Nina da Costa.

Cotin e Pinto (2016) também fazem os seguintes questionamentos: É preciso uma escola para aprender? Estar sentado em uma carteira escolar garante o aprendizado do aluno? O professor, independentemente de sua postura pedagógica, tem apenas suas horas aulas para colaborar com a construção do conhecimento de seus alunos? Algumas barreiras impostas no dia-a-dia acarretam em resultados onde alunos desistem de buscar conhecimentos. É preciso comunicação entre as partes para um melhor desempenho dos discentes, e é diante das comunicações entre duas ou mais pessoas virtualmente que acontece o entendimento com base na troca de informações podendo acontecer resultados positivos. Para Dalbem e Cintra (2016), para que haja comunicação eficaz é preciso um emissor atencioso e preocupado com seus receptores e receptores dispostos a ouvir com empatia e atenção. A comunicação depende sempre de pelo menos duas pessoas.

Os desafios dos bolsistas do PIBID/CAPES/UEAP em conjunto com o professor coordenador, está inserido no campo da observação de cada discente e da percepção das dificuldades de cada discente, desde de o uso de tecnologias aos cálculos estequiométricos dentro e fora do âmbito escolar, contribuindo para o desenvolvimento escolare, moral e consciente durante as mudanças.

Aulas teóricas e práticas divididas em etapas foram abordadas com base em cálculos estequiométricos, conteúdo visto como mais difícil de se compreender por parte dos discentes do ensino médio da Escola Estadual Professora Nancy Nina Costa, analisando a capacidade de entendimento sobre o assunto na teoria e pratica com aulas on-line. Dentre os objetivos do trabalho, a inserção de jogos e simuladores usados para facilitar a aprendizagem de estequiometria, mostrando que é possível ensinar e aprender através das TICs.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das oficinas, foi utilizado jogos e simuladores digitais nas aulas remotas, através do Google Meet. A oficina foi aplicada na Escola Estadual Professora Nancy Nina da Costa, no Município de Macapá-Amapá com alunos de 1º, 2º ano e 1º ano do EJA. Para as aulas introdutórias, foi utilizado o simulador Phet Colorado, que simula o balanceamento estequiométrico em suas quantidades a nível molecular em forma de gráfico, os alunos fizeram o balanceamento estequiométrico de forma ilustrada, não necessitando fazer o download no mesmo, podendo utilizá-lo acessando o site repassado. Nas aulas introdutórias, houve explanação sobre o tema com explicativas, buscando sempre introduzir os alunos ao mundo tecnológico, procurando também entender as dificuldades com base no assunto abordado. Para que este objetivo fosse alcançado, demonstrou-se o uso dos aplicativos e simuladores que seriam utilizados na oficina no decorrer das aulas.

Após a aula introdutória com o simulador Phet Colorado, os discentes tiveram que instalar em seus aparelhos de estudo o aplicativo Estequiz, um app de jogo de perguntas e respostas dividido em níveis, para que pudessem começar a jogar de forma online, cabendo a cada um fazer balanceamentos e cálculos com base no assunto de estequiometria, e a cada fase de respostas certas o discente avançava para uma nova pergunta, onde raciocinava e respondia com base nas aulas virtuais dadas pelo professor e estagiários bolsistas do PIBID/UEAP. O Estequiz, por ser um de jogo de perguntas e resposta se mostrou envolvido, pois os discentes estavam entusiasmados na intervenção com este jogo, o mesmo traz tabela periódica, mapa mental e calculadora. O simulador Phet Colorado foi utilizado buscando agregar à temática. Assim, os alunos puderam fazer balanceamentos e cálculos estequiométricos, e a aplicação de um exercício no final da oficina, onde os alunos deveriam reproduzir um mapa conceitual em torno do assunto explanado, para a análise do entendimento e da fixação do assunto de estequiometria explanados durante a apresentação e uso dos aplicativos em aula, contendo todos os exemplos de cálculos e observações em relação a estequiometria.

Para finalizar, houve a aplicação de um questionário com perguntas básicas relacionadas ao app e jogo, contendo questões direcionadas para cada recurso usado. Essa coleta de dados serviu para análise da aprendizagem dos discentes, bem como para saber a opinião dos mesmos sobre como pode-se estar inserindo novos aplicativos digitais nas aulas para complementar sua aprendizagem. Dentro do assunto de estequiometria pude observar que existe uma gama de apps relacionados ao tema, porém alguns alunos não obtinham espaços suficientes para baixar mais de dois apps e sendo escolhidos os apps phet colorado e esterquiz como auxílio de aprendizagem outra percepção estava relacionada a alguns poucos alunos não saberem mexer com os apps, mais com um pouco de paciência acabaram desenvolvendo o raciocínio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES



Para avaliar a opinião dos alunos a respeito do uso dos aplicativos e de suas influências no aprendizado de estequiometria, foi elaborado quatro perguntas do tipo aberta, demonstradas abaixo:

- 1- Com relação ao app estequiz. O quão proveitosa foi a utilização do app para o ensino da estequiometria?
- 2- Com relação ao programa PHET colorado. O quão proveitosa foi a utilização do programa para o ensino da estequiometria?
- 3- Para o conjunto das mídias utilizadas. O quão proveitosa foi a utilização desse conjunto para o ensino da estequiometria?
- 4- Indique o quão proveitosa foi a dinâmica da oficina.

Para a primeira questão nota-se a eficácia da utilização do app para o entendimento do assunto tratado com base na opinião dos alunos. Os números de moderado e ruim se devem ao fato de que alguns alunos não conseguiram fazer o download do aplicativo Estequiz ou manuseá-lo corretamente devido à baixa memória dos seus smartphone, e por isso, foi feita manuseio de forma online para que eles pudessem aprender e então manuseá-lo em outro momento, para fixar melhor os saberes explanados na aula.

Para a segunda questão percebe-se uma leve queda na eficácia isso e deve ao fato de que uma parte dos alunos acompanhava as aulas apenas pelo celular então não conseguiram abrir o programa por ele. Alguns alunos também relataram falhas no carregamento e na taxa de quadros. Todavia, os que conseguiram ter acesso ao programa, demonstraram nas atividades que obtiveram êxito na aprendizagem do assunto abordado, o que pôde ser refletido em suas notas.

Com isso, o conjunto utilizado de ambos em sala se mostrou satisfatório, uma vez que em aula os alunos conseguiram, em sua maioria, observar o equilíbrio e onde

se encaixa a estequiometria através do programa Phet Colorado e responder perguntas imediatas contidas no aplicativo Estequiz.

A opinião de dinâmica da oficina também e mostrou plena, sendo isenta de aproveitamento “ruim” por parte dos alunos, mesmo com a dificuldades enfrentadas por conta da internet ou por processadores, os alunos conseguiram (para aqueles que participaram) compreender o assunto em sua totalidade ou parcialmente através das mídias utilizadas e das explicações teóricas ministradas pela professora.

4 | CONCLUSÕES

Com a realização da aula/oficina e através dos resultados obtidos, pôde-se que o uso do aplicativo Phet Colorado relacionado ao jogo Esterquiz se mostrou ser uma excelente alternativa para despertar o interesse do aluno pelo conteúdo de estequiometria, uma vez que esse assunto, para muitos, é encarado com dificuldades por sua complexidade de cálculos. Todavia, com o uso dos aplicativos, pôde-se ensinar além dos cálculos, mas também tornar a aula mais atrativa, o que acarretou numa maior interação aluno-aluno e aluno-professor. Dessa forma, entende-se ainda que os aplicativos não serviram somente como distração, mas sim para a auxílio de uma aprendizagem mais sólida de balanceamento estequiométrico e dos cálculos estequiométricos, além do desenvolvimento de outras habilidades, como coordenação motora, memória e velocidade de raciocínio.

Dessa forma, depreende-se que os resultados foram satisfatórios, observando que é possível utilizar jogos e outros aplicativos digitais em conciliação as aulas de estequiometria e alcançar bons resultados no que tange a aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Presto agradecimentos ao coordenador Francisco Diniz da Silva, ao supervisor Filipe dos Anjos Queiroz e aos meus colegas que incansavelmente estiveram comigo em todos os momentos do desfecho deste artigo, pois cada um desempenhou um papel fundamental no decorrer, sendo de grande importância para o futuro da minha formação acadêmica e como bolsista do PIBID, todos contribuíram nas correções, agradecer também a dedicação e amizade de todos.

Esta obra foi publicada com recursos oriundos do Programa de Apoio a Publicações Acadêmicas Nacionais e Internacionais da Universidade do Estado do Amapá (UEAP) gratidão em especial à mesma.

REFERÊNCIAS

CINTRA, Josiane; DALBEM, Eloísa. **Comportamento organizacional**. Londrina: Editora e distribuidora educacional S/A. 2016.

CONTIN, Ailton Alex; PINTO, Rosângela de Oliveira. **Educação e tecnologias**. Londrina: Editora e distribuidora educacional S/A. 2016.

FERNANDES, Rochele da Silva. **Diagnostico De Dificuldades De Aprendizagem Relacionadas Ao Estudo De Estequiometria Com Alunos Do Ensino Médio Da Rede Pública Estadual Do Rio Grande Do Sul E Proposta De Estratégia Didáticas**. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/204681> Acesso em 05 jan 2021.

FORTUNA, Tânia Ramos. **Brincar é aprender: dimensões conceituais e operacionais da abordagem lúdica do ensino**. In: jogos e atividades lúdicas para o ensino de química. Foz do Iguaçu. 2018.

<http://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 03 jul 2021. As 13:40.

<http://hdl.handle.net/10183/200554>. Acesso em: 26 jan 2021. As 07:54

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13415.htm#art4 Acesso em: 23 jan. 21. As 23:20.

MARTINHO, T.; POMBO, L. **Potencialidades das TIC no ensino das ciências naturais – um estudo de caso**. Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciências, v. 8, n. 2, p. 527-538,2009.

MAZZALI, K. OLIVEIRA. W. A. **O uso de laboratório virtual para o ensino e aprendizado de estequiometria nas aulas de química**. Disponível em: **TeleviTelevisão e História: os (des)caminhos teórico-metodológicos trilhados na pesquisa histórica sobre a criação do programa Telecurso 2º Grau da Fundação Roberto Marinho, 1978-1981**. IV Encontro Nacional de Estudos da Imagem I Encontro Internacional de Estudos da Imagem. Páginas 3189 – 3199. Londrina. 2013

WEFFORT, Francisco C. **Educação e Política: Reflexões sociológicas sobre uma pedagogia da liberdade**. Exemplar nº 1405. Editora: paz e terra Ltda. Rio de Janeiro. 1967

WU, H.; SHAH, P. **Exploring visuospatial thinking in Chemistry learning**. Inc. Sci. Ed., 88, p. 465-492, 2004.

DESENVOLVIMENTO DE UM CARBOIDRATO CONTENDO UMA UNIDADE ACEPTORA DE MICHAEL APLICADO NO COMBATE ÀS LARVAS DO MOSQUITO *Aedes aegypti*

Data de aceite: 01/02/2022

Data de Submissão: 08/11/2021.

Herbert Igor Rodrigues de Medeiros

Universidade Federal da Paraíba,
João Pessoa-PB
<http://lattes.cnpq.br/1046723167683891>

Rodrigo Ribeiro Alves Caiana

Universidade Federal de Campina Grande,
Centro de Educação e Saúde,
Cuité -PB
<http://lattes.cnpq.br/2044550367458726>

Rayane de Oliveira Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife- PE
<http://lattes.cnpq.br/7091152951812117>

Jonh Anderson Macêdo Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Pernambuco, Barreiros-PE
<http://lattes.cnpq.br/4352755253464410>

Cláudia Laís Araújo Almeida Santos

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Química Fundamental,
Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/4352755253464410>

Juliano Carlo Rufino de Freitas

Universidade Federal de Campina Grande,
Centro de Educação e Saúde,
Cuité -PB
<http://lattes.cnpq.br/6552913556583647>

interesse em diversos segmentos científicos, principalmente na área da química sintética, que objetivam, através de modificações estruturais, potencializar uma atividade biológica ou descobrir um novo composto. Neste sentido, uma modificação que merece destaque é a introdução do grupo acceptor de Michael no combate às larvas do mosquito *Aedes aegypti*, vetor das principais arboviroses que vem mobilizando os órgãos públicos de saúde. Diante do exposto, a presente pesquisa visou a síntese do cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose, composto **5**, bem como avaliar suas propriedades larvicidas frente o *Aedes aegypti*. Assim, realizou-se diversas modificações na estrutura do 3,4,6-tri-*O*-acetil-D-glucal, a fim de obter o composto **5** com rendimento global após 73%, após três etapas de reação. As estruturas de todos os compostos foram confirmadas por técnicas espectroscópicas, comprovando o sucesso das metodologias empregadas, e posteriormente foram realizados os testes larvicidas frente as larvas no estágio L-4 do *Aedes aegypti*. O composto **5** mostrou-se inativo contra as larvas do *Aedes aegypti*, uma vez que sua CL₅₀ foi maior que 100 ppm, não apresentando toxicidade frente as mesmas. Com isso, é necessário o desenvolvimento de outros estudos que objetivem evidenciar e potencializar as possíveis atividades farmacológicas desta molécula e seus derivados, uma vez que os carboidratos desempenham papéis primordiais na luta contra diversas patologias.

PALAVRAS-CHAVE: Carboidratos, Aceptor de Michael, *Aedes aegypti*.

RESUMO: Os carboidratos despertam

DEVELOPMENT OF CARBOHYDRATES CONTAINING A MICHAEL ACCEPTING UNIT APPLIED IN THE FIGHT AGAINST MOSQUITO Aedes Aegypti LARVES

ABSTRACT: Carbohydrates arouse interest in several scientific segments, especially in the area of synthetic chemistry, which aim, through structural modifications, to enhance a biological activity or discover a new compound. Thus, a modification that deserves to be highlighted is the introduction of Michael's acceptor group in the fight against *Aedes aegypti* mosquito larvae, vector of the main arboviruses that have been mobilizing public health agencies. Given the above, this research aimed at the synthesis of cyclohexyl 2,3-dideoxy-2-enopyranosid-4-ulose, compound **5**, as well as evaluating its larvicidal properties against *Aedes aegypti*. Thus, several modifications were carried out in the structure of 3,4,6-tri-O-acetyl-D-glucal, in order to obtain compound **5** with an overall yield after 73%, after three reaction steps. The structures of all compounds were confirmed by spectroscopic techniques, proving the success of the methodologies employed, and later larvicidal tests were carried out against the L-4 stage larvae of the *Aedes aegypti*. Compound **5** was shown to be inactive against *Aedes aegypti* larvae, as its LC_{50} was greater than 100 ppm, with no toxicity against them. Thus, it is necessary to develop other studies that aim to highlight and enhance the possible pharmacological activities of this molecule and its derivatives, since carbohydrates play key roles in the fight against various pathologies.

KEYWORDS: Carbohydrates, Michael's Acceptor, *Aedes aegypti*.

1 | INTRODUÇÃO

Os carboidratos são biomoléculas polifuncionais e pertencem ao grupo de compostos mais abundante encontrados na natureza (BANDERA, et al., 2014). Além de seu papel bem conhecido no metabolismo energético, participam de uma diversidade de eventos fisiológicos e biológicos, que vão desde o transporte e armazenamento de energia através da Adenosina Trifosfato (WU, et al., 2015;), até funções complexas de reconhecimento molecular realizada por glicoconjugados presentes na superfície celular (BONDUELLE; LECOMMANDOUX, 2013).

Estas biomoléculas estabelecem ligações de hidrogênio, característica que as tornam componentes cruciais para os sistemas biológicos, uma vez que regulam diversos processos bioquímicos, como a proliferação celular, diferenciação e resposta imunológica (DELBIANCO et al., 2016). Adicionalmente, elas desempenham importantes ações que, juntamente com as proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos, proporcionam a integridade celular e uma homeostasia nos processos fisiológicos e genéticos dos organismos vivos (AGIRRE, et al., 2017; DELBIANCO et al., 2016). A literatura relata diversas atividades farmacológicas dos carboidratos, como: ação inseticida, antiprotozoária, anti-inflamatória, antineoplásica, antibiótica, antiviral, antitrombótica, dentre outras (NOGUEIRA, et al., 2009; ALMEIDA, 2015).

Devido a uma crescente valorização dos importantes papéis biológicos e do potencial terapêutico dos carboidratos, é justificável o amplo interesse da comunidade científica por

essas biomoléculas. Especificamente, o interesse dos químicos sintéticos pela química dos carboidratos está focado nas modificações estruturais destes compostos, visando simular as atividades biológicas previamente descritas, como consequência, os carboidratos têm sido submetidos a diferentes tipos de transformações (NIGUDKAR, DEEMCHENKO, 2015).

Visando contornar problemas de citotoxicidade, a introdução de grupamentos farmacofóricos para alcançar uma determinada ação farmacológica consiste numa importante estratégia de modificação estrutural, pois assim pode proporcionar uma diminuição da agressão à homeostasia. Diante disto, o essencial seria a realização de modificações em substâncias biocompatíveis nos sistemas biológicos (DELBIANCO et al., 2016).

Uma modificação que merece destaque é a incorporação de um fragmento molecular denominado de acceptor de Michael, ou seja, um grupo farmacofórico que apresenta a conjugação $-(C=C)_n-R$, onde R pode ser um carbonil, ciano, imina, imínio, sulfonila ou nitro (AHN; SOK, 1996; MATTOS; MARZORATI, 1999). Os aceptores de Michel mais conhecidos e importantes são as cetonas α,β -insaturadas, pois são uma das unidades farmacofóricas mais ativas contra diversas linhagens de células tumorais (KARPAVICIENE; CIKOTIENE, PADRÓN, 2013).

Menezes e colaboradores (2015) descreveram a síntese de diferentes compostos contendo um grupo acceptor de Michael aplicados no combate às larvas do *Aedes aegypti*. O *Aedes aegypti* é originário da África, sendo um mosquito de hábitos diurnos, agindo ao amanhecer e no fim da tarde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Este é o vetor das quatro principais arboviroses (dengue, febre amarela, Zika Vírus e Chikungunya) que vem mobilizando os principais órgãos públicos de saúde no combate a sua reprodução e disseminação.

Devido a isso, torna-se necessário promover a erradicação do vetor através de campanhas de conscientização pública e do desenvolvimento de compostos que atuem como larvicidas e que não interfiram no meio ambiente (MENEZES et al, 2015).

Diante do exposto e levando em consideração todos esses argumentos, o trabalho visou o desenvolvimento do cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose, denominando de composto **6**, um derivado sintético da D-glicose contendo em sua arquitetura molecular um grupo acceptor de Michael, bem como avaliar sua atividade frente as larvas do mosquito *Aedes aegypti*.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Locais da pesquisa

Os processos de síntese e purificação de todos os compostos foram realizados no Laboratório de Síntese Orgânica (LASO), localizado no Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande – *Campus Cuité*. Contudo, o bioensaio

larvicida, bem como os espectros de infravermelho (IV) e ressonância magnética nuclear (RMN) de hidrogênio (^1H) e carbono (^{13}C) dos compostos sintetizados foram realizados na Central Analítica da Universidade Federal de Pernambuco – *Campus Recife*.

2.2 Equipamentos, materiais, solventes e reagentes

As análises de ressonância magnética nuclear (RMN) foram realizadas em um espectrômetro *VARIAN®* modelo *Unity Plus-300* utilizando como solvente o clorofórmio deuterado (CDCl_3). A calibração deste equipamento utilizou o tetrametilsilano (0,00 ppm) como referência interna para os núcleos de ^1H e ^{13}C , e todas as constantes de acoplamento (J) foram descritas em hertz (Hz). O espectro de infravermelho (IV) foi registrado em um espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier no *Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR Spectrometer* modelo *PerkinElmer*, sendo as amostras preparada em pastilhas de KBr. A rotação específica foi determinada em um polarímetro digital da marca *JASCO® P-2000* equipado com a luz de sódio em comprimento de onda 589 nm. A amostra foi preparada em concentração de 1 m/v % (em MeOH) em uma cubeta de 1 mL. A chapa de agitação com aquecimento e a manta aquecedora foram da marca Visaton modelo 754A e 102E, respectivamente. O solvente foi removido utilizando um evaporador rotativo da Büchi Rotavapor modelo R-114 conectado a uma bomba de vácuo modelo KNF Neuberger, e o solvente remanescente foi removido utilizando uma bomba de alto vácuo da Edwards modelo RV3.

O acompanhamento das reações foi realizado através da cromatografia em camada delgada (CCD) utilizando placas de sílica-gel, contendo indicador fluorescente F_{254} da empresa Merck e para a visualização, as placas foram colocadas em solução ácida ($\text{EtOH}/\text{H}_2\text{SO}_4$, 95:5). A purificação foi através da cromatografia em coluna de vidro, utilizando a sílica-gel 60 (Merck, 70-230 mesh) como fase estacionária, e diferentes proporções de sistemas eluentes de Hexano:Acetato de etila como fase móvel. Os solventes comerciais foram purificados de acordo com os protocolos descritos na literatura (PERRIN; AMAREGO, 1996). O álcool ciclohexílico foi adquirido da empresa *Sigma Aldrich*.

2.3 Síntese do cicloexil 4,6-DI-O-ACETIL-2,3-DIDESOXI-A-D-ERITRO-HEX-2-ENOPIRANOSÍDEO (3)

O cicloexil 4,6-di-*O*-acetil-2,3-didesoxi- α -*D*-eritro-hex-2-enopiranosídeo (3) foi obtido através do protocolo de Toshima e colaboradores (1995), com algumas modificações. Deste modo, em um balão de fundo redondo com capacidade de 50 mL foram adicionados o 3,4,6-tri-*O*-acetil-D-glucal (1; 0,27 g; 1 mmol), o álcool ciclohexílico (2) e diclorometano seco (20 mL). Em seguida, o balão foi resfriado a 0°C e mantido sob agitação por 5 minutos. Após este intervalo de tempo foi adicionado montmorillonita K-10 (0,27 g; 100% M/M) e um sistema de refluxo foi acoplado ao balão. A mistura reacional foi mantida sob agitação e aquecimento ($50\pm 5^\circ\text{C}$) por cerca de 30 minutos. Após este intervalo de tempo

o aquecimento foi interrompido e o término da reação foi verificado por cromatografia de camada delgada (CCD). Em seguida, a solução contida no balão foi filtrada e o solvente foi removido sob pressão reduzida utilizando evaporador rotativo. O produto bruto foi purificado em coluna cromatográfica utilizando inicialmente hexano e terminando com um sistema de hexano:acetato de etila na proporção de 9:1.

O composto foi então caracterizado, apresentando os seguintes dados espectrais: Cicloexil 4,6-di-*O*-acetil-2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**3**): (0,265 g, 85%); óleo incolor; $[\alpha]_D^{20} +103,8$ (c 1,00; MeOH); IV (filme) n_{\max} 2933, 2858, 2659, 2134, 1747, 1450, 1370, 1233, 1187, 1036 cm^{-1} ; RMN ^1H (300 MHz, CDCl_3) δ 5,86 (*dl*, 1H, J = 10,5 Hz, H-3), 5,77 (*dt*, 1H, $J_{2,3} = 10,5$ Hz, $J_{2,1} = J_{2,1} = 1,5$ Hz, H-2), 5,13 (*dl*, 1H, H-1), 4,23-4,09 (*m*, 3H, H-5, H-6, H-6'), 3,65-3,56 (*m*, 1H, $\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$), 2,05 (*s*, 3H, OAc), 2,04 (*s*, 3H, H-5, OAc), 1,93-1,83 (*m*, 2H, $\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$), 1,71-1,69 (*m*, 2H, $\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$), 1,52-1,49 (*m*, 1H, $\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$), 1,38-1,16 (*m*, 5H, $-\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$); RMN ^{13}C (75 MHz, CDCl_3) δ 170,6; 170,2; 128,6; 128,4; 92,6; 76,6; 66,6; 65,2; 63,0; 33,6; 32,0; 25,4; 24,3; 20,9; 20,6.

2.4 Síntese do cicloexil 2,3-DIDESOXI-A-D-ERITRO-HEX-2-ENOPIRANOSÍDEO (4)

O cicloexil 2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**4**) foi sintetizado a partir da hidrólise em meio básico dos grupos acetila presentes no composto **3**, através do protocolo de Santos e colaboradores (2017), com algumas modificações. Desta forma, em um tubo de ensaio, o composto **3** (0,25 mmol) foi dissolvido em metanol (1,0 mL). A esta solução foi adicionado o sal básico K_2CO_3 (0,5 mmol) e então, a água (0,3 mL). O sistema reacional foi mantido sob agitação durante 5 minutos sob temperatura ambiente ($28 \pm 2^\circ$). Após o término da reação, a mistura reacional foi transferida para um balão e evaporado sob pressão reduzida. Na sequência, a mistura reacional foi seca com sulfato de sódio anidro e extraída com acetato de etila. Em seguida foi realizada uma filtração simples e o filtrado foi coletado em um segundo balão, o qual foi evaporado sob pressão reduzida para retirada do solvente. O cicloexil 2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**4**) foi purificado em coluna cromatográfica utilizando inicialmente hexano e terminando com um sistema de hexano:acetato de etila na proporção de 6:4.

O composto foi então caracterizado, apresentando os seguintes dados espectrais: cicloexil 2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**4**): (50,2 mg, 88%); $[\alpha]_D^{25} + 57,6$ (c 1,0, MeOH); RMN ^1H (300 Hz, CDCl_3) δ 5,93 (*dl*, 1H, $J_{3,2} = 9,9$ Hz, H-3), 5,71 (*dt*, 1H, J = 10,5 Hz, J = 2,4 Hz, H-2), 5,11 (*sl*, 1H, H-1), 4,19 (*dl*, 1H, H-4), 3,84 (*d*, 2H, J = 4,2 Hz, H-6), 3,72 (*dd*, 1H, J = 4,8, J = 4,2 Hz, H-5), 3,61 (*s*, 1H, J = 5,1 Hz, $\text{OCH}(\text{CH}_2)_5$), 2,22 (*sl*, 2H, OH), 1,93-1,14 (*m*, 10H, 4CH_2); RMN ^{13}C (75 MHz, CDCl_3) δ 133,2; 126,9; 92,5; 71,3; 64,2; 62,7; 33,9; 32,1; 25,5; 24,4; 24,2.

2.5 Síntese do CICLOEXIL 2,3-DIDESOXI-2-ENOPIRANOSID-4-ULOSE (5)

O cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (**5**), foi sintetizado a partir da oxidação do glicosídeo hidrolisado (composto **4**) através do protocolo de Fraser-Reid e colaboradores (1970), com algumas modificações. Em um balão de fundo redondo foi adicionado 1,0 mmol do composto **4**, 10 mL de diclorometano e 25 mmol equivalentes do óxido de manganês. A reação foi realizada em temperatura ambiente e sob agitação contínua. O término da reação foi verificado por CCD. Uma vez comprovada a total conversão do reagente, a mistura reacional foi filtrada em sílica para retirada do óxido de manganês e o produto foi concentrado sob pressão reduzida. O cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (**5**) foi purificado em coluna cromatográfica utilizando inicialmente hexano e terminando com um sistema de hexano:acetato de etila na proporção de 7:3.

O composto foi então caracterizado, apresentando os seguintes dados espectrais: cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (**5**): (0,199 g, 88%); sólido amorfo; $[\alpha]_D^{25} - 3,08^\circ$ (c 1,00, CHCl_3); RMN ^1H (300 Hz, CDCl_3): δ 6,87 (*dd*, 1H, $J_{3,2} = 10,5$ Hz, $J_{2,1} = 3,6$ Hz, H-2), 6,10 (*d*, 1H, $J_{2,3} = 10,5$, H-3), 5,41 (*d*, 1H, $J_{1,2} = 3,6$ Hz, H-1), 4,52 (*t*, 1H, $J_{5,6} = 4,5$ Hz, H-5), 4,05-3,88 (*m*, 2H, H-6 e H-6'), 3,74-3,68 (*m*, 1H, OCH), 2,26 (*t*, 1H, $J = 6,0$ Hz, OH), 1,95-1,21 (*m*, 10H, 5CH_2); RMN ^{13}C (75 MHz, CDCl_3): δ 196,2; 144,9; 127,5; 91,4; 76,6; 74,0; 61,7; 33,4; 31,9; 25,4; 24,2; 24,0.

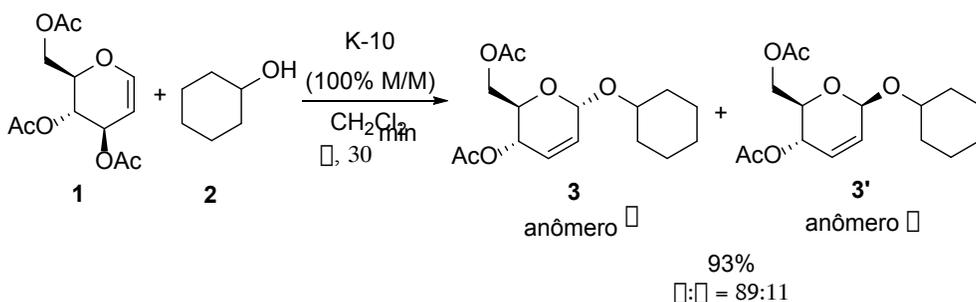
2.6 Procedimento geral para os bioensaios larvicidas

As larvas utilizadas foram da colônia do *A. aegypti* Linneaus (cepa Rockefeller) do insetário do Laboratório de Ecologia Química da UFPE. O insetário foi mantido à temperatura constante de 28°C, umidade relativa de 58% e fotoperíodo de 14D:10N. A princípio, realizou-se um teste de solubilidade, afim de selecionar o co-solvente mais apropriado. Os co-solventes mais utilizados são: tween 80, etanol, DMSO, cetona, para cada substância-teste para melhor solubilizá-las em água. Posteriormente, preparou-se em um béquer, uma solução estoque do cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (**5**) na concentração igual a 100 ppm (partes por milhão), dissolvendo 5,0 mg do composto a ser testado em um volume adequado em um co-solvente. A solução foi então transferida do béquer para um balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com água destilada. Os testes larvicidas preliminares foram realizados em concentrações de 10, 50 e 100 ppm, objetivando-se conhecer a faixa de concentração onde o composto é mais ativo, já que sua toxicidade frente ao *Aedes aegypti* é desconhecida. Os experimentos foram realizados em triplicatas e, em cada réplica, foram utilizadas 20 larvas de *A. aegypti* e a atividade larvicida foi observada após 24 e 48 horas. Os controles negativos (solução contendo apenas o co-solvente e água destilada) foram realizados simultaneamente aos testes. As larvas eram consideradas mortas quando não respondessem ao estímulo ou não emergissem à superfície da solução. Para a determinação da concentração letal para matar

50% das larvas (CL₅₀), trataram-se os dados obtidos usando-se o software Probit com o programa estatístico StatPlus Pro 6.2.5.0 a um nível de confiança de 95%.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foi realizada a síntese do intermediário acetilado, o cicloexil 4,6-di-*O*-acetil-2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**3**), utilizando o protocolo de Toshima e colaboradores (1995) modificado. O composto **3** foi obtido em bom rendimento e com bom excesso enantiomérico (Esquema 1).



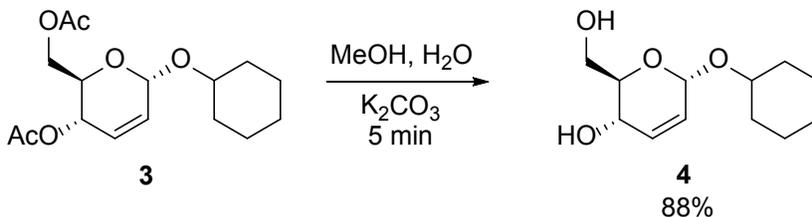
Esquema 1: Síntese do cicloexil 4,6-di-*O*-acetil-2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**3**).

Fonte: Próprio autor.

De acordo com esquema 1, constatou-se que o anômero alfa (**3**) foi obtido como produto majoritário da reação, demonstrando que a reação foi estereosseletiva. Além disso, as modificações na metodologia de Toshima e colaboradores (1995) implicaram na redução do tempo reacional de 60 para 30 minutos. Cabe ressaltar que os resultados obtidos estão semelhantes aos descritos nos trabalhos de Oliveira (2002) e Melo (2007). A caracterização dos glicosídeos **3** está sumarizada na seção experimental.

Analisando os valores das bandas de vibração e deslocamento químicos do glicosídeo **3** (seção experimental), constatou-se que o composto de interesse foi sintetizado com sucesso. No mais, os valores obtidos estão semelhantes aos descritos por Regueira e colaboradores (2016).

Os glicosídeos acetilados (**3**) foram então submetidos à reação de hidrólise a fim de levar ao glicosídeo hidrolisado cicloexil 2,3-didesoxi- α -D-*eritro*-hex-2-enopiranosídeo (**4**). O tempo reacional da hidrólise foi de apenas 5 minutos (Esquema 2).

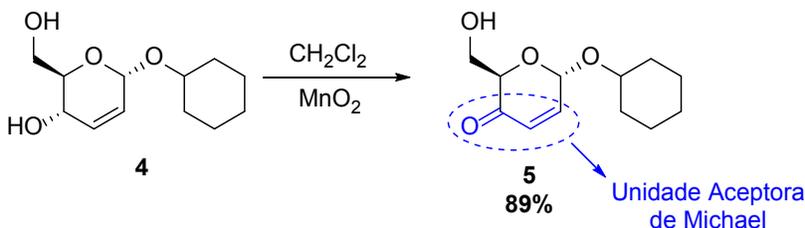


Esquema 2: Síntese do cicloexil 2,3-didesoxi- α -D-eritro-hex-2-enopiranosídeo (4).

Fonte: Próprio autor.

O glicosídeo hidrolisado (4), após purificação em coluna, foi obtido em excelente rendimento, demonstrando um valor de 88%. A caracterização do glicosídeo hidrolisado (4) encontra-se sumarizada no procedimento experimental.

Uma vez sintetizado o glicosídeo hidrolisado (4), partiu-se para o estudo da reação de oxidação para a obtenção do composto almejado no presente estudo, o Cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (5), o qual contém em sua estrutura uma unidade aceptora de Michael (Esquema 3).

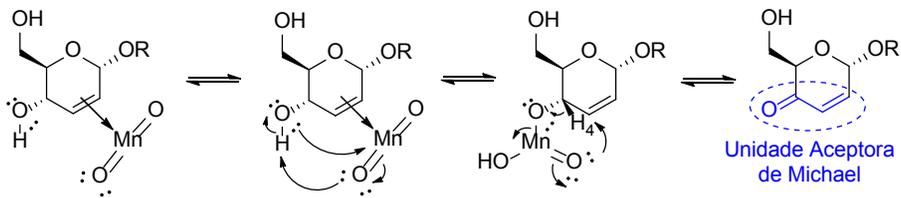


Esquema 3: Reação de oxidação para obtenção do cicloexil 2,3-didesoxi-2-enopiranosid-4-ulose (5).

Fonte: Próprio autor.

Embora a literatura descreva o uso de outros agentes oxidantes na oxidação de álcoois, tais como: CrO_3 , K_2CrO_7 , clorocromato de piridínio (PCC), dicromato de piridínio (PDC), iodo hipervalente, KMnO_4 , AgCO_3 e oxidante de Swern (SOUZA, 2010), a escolha pelo dióxido de manganês levou em consideração algumas características, como seletividade, fácil manuseio, estabilidade, eficiência e principalmente a utilização de condições suaves. Diante desses pressupostos, a oxidação do composto 5 foi realizada com MnO_2 em CH_2Cl_2 , de acordo com protocolo de Fraser-Reid e colaboradores (1970) modificado.

De acordo com o esquema 3, o composto 5 foi obtido em 3,0 h e com bom rendimento (89%). Essa oxidação é conhecida como oxidação alílica e só acontece quando o grupo hidroxila está no carbono β da dupla ligação. Uma proposta mecanística segue no esquema 5.



Esquema 5. Proposta mecanística da reação de oxidação.

Fonte: Próprio autor.

É importante um cuidado especial com o MnO_2 , uma vez que esse composto pode ter sua atividade alterada por diversos eventos, conseqüentemente diminuindo sua atividade frente à reação de oxidação. Uma vez que o óxido disponível estava com a atividade comprometida, a qual não foi restaurada após diversos tratamentos, tivemos que realizar a síntese do MnO_2 empregado na oxidação.

O composto **5** foi submetido às últimas análises espectroscópicas para ser avaliado contra as larvas do *Aedes aegypti*. Menezes e colaboradores (2015) descreveram a atividade larvicida de algumas d-lactona a,b-insaturada, essas apresentando em sua estrutura molecular uma unidade aceptora de Michael, onde postularam que a hipótese dessa atividade está associada aos grupos farmacofóricos presentes nas suas estruturas. Assim, aumentou a expectativa da realização dos testes de atividade larvicida frente às larvas do mosquito *Aedes aegypti* com o composto **5**, devido à associação da estrutura das a-lactonas com compostos sintetizados, pois ambos apresentam em sua estrutura molecular uma unidade aceptora de Michael.

Os testes foram realizados com as larvas no estágio L-4, pois neste estágio elas se alimentam principalmente de matéria orgânica. As larvas no estágio L-4 ficaram por 24 e 48 horas em temperatura constante de 28°C, nas soluções do composto **5** com concentrações de 10, 50 e 100ppm e na solução controle. Os resultados estão postos na Tabela 2.

Composto	Concentrações Preliminares					
	10 ppm		50 ppm		100 ppm	
	24h	48h	24h	48h	24h	48h
<p style="text-align: center;">5</p>	5%	5%	10%	10%	10%	10%

Tabela 2. Resultados dos testes larvicidas frente as larvas do mosquito *Aedes aegypti* no estágio L-4.

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Tabela 2, o composto **5** não apresentou toxicidade significativa. Segundo Menezes e colaboradores (2015), os compostos com atividade larvicida interromperam a atividade de enzimas digestivas das larvas do mosquito *Aedes aegypti* no estágio L-4. As larvas nesse estágio, produzem enzimas semelhantes a tripsina, que são essenciais para o processo digestivo, nutricional e do desenvolvimento. Com isso, o composto **5** não inibiu a atividade da tripsina de todas as larvas. A literatura cita que os óleos essenciais ou extratos de plantas só são considerados como agentes larvicidas ativos quando apresentarem valores de CL_{50} inferiores a 100 ppm e altamente ativos quando as CL_{50} forem inferiores a 50 ppm (Cheng, et al., 2003).

Neste sentido, o composto **5** foi classificado como inativo frente a atividade larvicida, uma vez que sua CL_{50} foi maior que 100 ppm. Adicionalmente, no teste controle não foi observado à mortalidade, o que demonstra que o solvente usado não interferiu nos resultados, assim a atividade corresponde apenas aos compostos testes.

4 | CONCLUSÃO

As reações empregadas para a obtenção do composto contendo o grupo aceptor de Michael mostraram-se simples, com rendimentos bastante satisfatórios a cada etapa, sendo as estruturas moleculares confirmadas por técnicas espectroscópicas, evidenciando o sucesso de cada metodologia empregada.

Esse grupo de moléculas mostra-se bastante promissor, uma vez que combina a capacidade do grupo aceptor de Michael agir como grupo farmacofórico, e conferir atividade a diversas outras moléculas, com a expectativa de apresentar compatibilidade biológica, já que uma forma de se reduzir a citotoxicidade consiste na utilização de substratos que apresentam compatibilidade com os sistemas biológicos.

Os carboidratos possuem pouca toxicidade aos humanos, o que os tornam ideais para serem ativos contra as larvas. No entanto, o composto **5** testado contra as larvas do mosquito *Aedes aegypti* no estágio L-4, não apresentou atividade larvicida, demonstrando uma CL_{50} superior a 100 ppm, não inibindo a atividade da tripsina de todas as larvas. A atividade larvicida está associada as características de determinados grupamentos químicos estruturais desses compostos ou a combinação entre eles podem conferir aumento ou redução da atividade larvicida.

Diante disso, fomenta-se o desenvolvimento de outros estudos que visem evidenciar as possíveis características farmacológicas desta molécula e seus possíveis derivados, bem como entender suas condições de uso seguro, possibilitando assim sua utilização nas mais diversas áreas da saúde e tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do CNPq, a Capes, e a FACEPE.

REFERÊNCIAS

AGIRRE, J.; DAVIES, G.J.; WILSON, K.S.; COWTAN, K.D. **Carbohydrate structure: the rocky road to automation**. *Current Opinion in Structural Biology*, 44, 39, 2017.

AHN, B.Z.; SOK, D.E. **Michael Acceptors as a Tool for Anticancer Drug Design**. *Current Pharmaceutical Design*, 2, 247, 1999.

ALMEIDA, C. L. A. **Planejamento sintético e avaliação antitumoral de carboidratos enônicos**. Monografia (Licenciatura em química) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, Cuité. 2015.

BANDERA, D.; SAPKOTA, J.; JOSSET, S.; WEDER, C.; TINGAUT, P.; GAO, X.; FOSTER, E. J.; ZIMMERMANN, T. **Influence of mechanical treatments on the properties of cellulose nanofibers isolated from microcrystalline cellulose**. *Reactive & Functional Polymers*, 85, 134, 2014.

BONDUELLE, C.; LECOMMANDOUX, S. **Biomacromolecules**. American Chemical Society, 2013.

CHENG, S. S.; CHANG, H. T.; CHANG, S. T.; TSAI, K. H.; CHEN, W. J. **Bioactivity of selected plant essential oils against the yellow fever mosquito *Aedes aegypti* larvae**. *Bioresource Technology*, 89, 99, 2003.

DELBIANCO, M.; BHARATE, P.; VARELA-ARAMBURU, S.; SEEBERGER, P. H. **Carbohydrates in Supramolecular Chemistry**. *Chemical Reviews*, 116, 4, 1693, 2016.

FRASER-REID, B.; MCLEAN, A.; USHERWOOD, E. W.; YUNKER, M. **Pyranosiduloses. II. The synthesis and properties of some alkyl 2,3-dideoxy-2-enopyranosid-4-ulosos**. *Canadian Journal of Chemistry*, 48, 2877, 1970.

KARPAVICIENE, L.; CIKOTIENE, I.; PADRÓN, J.M. **Synthesis and antiproliferative activity of α -branched α,β -unsaturated ketones**. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 70, 568, 2013.

MATTOS, M.C.; MARZORATI, L. **Aspectos mecanísticos da adição de Michael**. *Química Nova*, 22, 5, 1999.

MELO, A. C. N. **Síntese e avaliação farmacológica de O-Glicosídeos 2,3-insaturados**. Dissertação (mestrado em química) – Universidade federal de Pernambuco, Recife. 2007.

MENEZES, P. H.; BARROS, M. E. S. B.; FREITAS, J. C. R.; SANTOS, G. K. N.; SILVA, R. C. S.; PONTUAL, E. V.; PAIVA, P. M. G.; NAPOLEÃO, T. H.; NAVARRO, D. M. A. F. **Effects of α,β -unsaturated Lactones on Larval Survival and Gut Trypsinas Well as Oviposition Response of *Aedes aegypti***. *Experimental Parasitology*, 156, 37, 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – **Combate à Dengue**. Disponível em: <<http://www.combateadengue.com.br/mosquito.da.dengue/>>. Acessado em: 30/07/2021.

NIGUDKAR, S. S.; DEMCHENKO, A. V. **Stereocontrolled 1,2- cis glycosylation as the driving force of progress in synthetic carbohydrate chemistry.** Chemical Science, 6, 5, 2687, 2015.

NOGUEIRA, C.M; PARMANHAN, B.R; FARIAS, P.P; CORRÊ, A.G. **A importância Crescente dos Carboidratos em Química Medicinal.** Revista Virtual de Química, 1, 2, 149, 2009.

OLIVEIRA, R. N. **Síntese mediada por microondas de glicosídeos contendo diversas agliconas e de 1,2,4-Oxadiazóis.** Dissertação (mestrado em química) – Universidade federal de Pernambuco, Recife. 2002.

PERRIN, D. D.; AMAREGO, W. L. F. **Purification of Laboratory Chemicals**, 3^a ed., Pergamon Press: Oxford, 1996.

REGUEIRA, J.L.L.F.; FREITAS, J.J.R.; FILHO, J.R. **Preparação De 1,2,4-Oxadiazol: Sequência Didática Aplicada Em Disciplina De Síntese Orgânica Na Graduação.** Química Nova, 39, 8, 1019, 2016.

SANTOS, J. A. M.; SANTOS, C. S.; ALMEIDA, C. L. A.; SILVA, T. D. S.; FREITAS FILHO, J. R.; MILITÃO, G. C. G.; DA SILVA, T. G.; DA CRUZ, C. H. B.; FREITAS, J. C. R.; MENEZES, P. H. **Structure-based design, synthesis and antitumoral evaluation of enulosides.** European Journal of Medicinal Chemistry, 128, 192, 2017.

SOUZA, B. M. de. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

TOSHIMA, K.; ISHIZUKA, T.; MATSUO, G.; NAKATA, M. **Practical glycosidation method of glycals Montmorillonite K-10 as an environmentally acceptable and inexpensive industrial calayst.** Chemical Reviews, 4, 306, 1995.

WU, J.; KWON, B.; LIU, W.; ANSLYN, E. V.; WANG, P.; KIM, J. S. **Chromogenic/Fluorogenic Ensemble Chemosensing Systems.** Chemical Reviews, 115,15, 7893, 2015.

MOLECULAR INTERACTION PROFILES OF SOLIDAGENONE WITH INFLAMMATORY MARKERS

Data de aceite: 01/02/2022

Simone Sacramento Valverde

Laboratório de Química Medicinal de Produtos
Bioativos (LaQMed)
Departamento de Produtos Naturais (DPN),
FARMANGUINHOS-FIOCRUZ
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4557544100221923>

Bruna Celeida Silva Santos

Laboratório de Farmacologia de Produtos
Naturais, Departamento de Ciências
Farmacêuticas, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9592901649335302>

Temistocles Barroso de Oliveira

Laboratório de Química Medicinal de Produtos
Bioativos (LaQMed)
Departamento de Produtos Naturais (DPN),
FARMANGUINHOS-FIOCRUZ
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7708814317410094>

Orlando Vieira de Sousa

Laboratório de Farmacologia de Produtos
Naturais, Departamento de Ciências
Farmacêuticas, Faculdade de Farmácia,
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9797237863119033>

RESUMO Compreender a interação molecular entre um ligante e um receptor é um conhecimento fundamental para o desenvolvimento de um novo

fármaco, sua atividade e até mesmo sobre suas possíveis interações indesejadas que podem causar reações adversas. O gênero *Solidago* é o maior da família Compositae, e compreende 120 espécies, a maioria delas ocorrendo na América do Norte. Este táxon mostra espécies com reconhecida atividade terapêutica e presença de diterpenos clerodanos e labdanos. Nossos estudos anteriores mostram que os diterpenos e flavonoides podem ser responsáveis pelo efeito antiinflamatório de *S. chilensis*. O diterpeno labdânico solidagenona, descrito como antiinflamatório, gastroprotetor e como uma substância imunomoduladora, é extraído de inflorescências e rizomas de *Solidago chilensis* Meyen. Neste trabalho, a capacidade de ligação da solidagenona e dos compostos anti-inflamatórios de referência, como: ibuprofeno, ácido flufenâmico, celecoxibe, dexametasona, 5- α -di-idrotestosterona e testosterona com receptores inflamatórios são avaliados *in silico*. Os resultados indicam que a solidagenona permitiu interações estáveis com COX-1 e -2 e prostaglandina-E (2) -9-redutase, que devem estar associadas à ação antiinflamatória.

ABSTRACT: Understanding the molecular interaction between a ligand and a receptor is fundamental knowledge in the development of a new drug, its activity and even about its possible unwanted interactions that may cause adverse reactions. The genus *Solidago* is the biggest of Compositae family, and comprises 120 species, most of them occurring in North America. This taxon shows species with recognized therapeutic activity and presence of diterpene clerodane and

labdane types. Our previous studies show that diterpene and flavonoids could be responsible for the anti-inflammatory effect of *S. chilensis*. The labdane diterpene solidagenone, described as anti-inflammatory, gastroprotective and an immunomodulating active substance, has been extracted from the *Solidago chilensis* Meyen inflorescences and rhizomes. In this work, the binding ability of solidagenone and reference compounds ibuprofen, flufenamic acid, celecoxib, dexamethasone, 5- α -dihydrotestosterone and testosterone with inflammatory receptors are evaluated *in silico*. The results indicate that solidagenone allowed stable interactions with COX-1 and -2 and prostaglandin-E(2)-9-reductase, which should be associated with the anti-inflammatory action.

INTRODUCTION

The molecular interaction between small molecules and the biological target is the cause of the biological activity process. It's necessary to analyze and comprehend the interactions between the small molecules (biomarkers, lead compounds or others active substances) and the biomolecules (receptors) to find a correlation between the activities and their structures to the development of a new drug. These interactions depend on a variety of enthalpic and entropic factors. Enthalpic contributions are represented by van der Waals, electrostatic, and hydrogen bonding interactions, while the main entropic contribution is the hydrophobic effect arising from the desolvation step which precedes the formation of a ligand–target complex. (Laue and Shire, 2020; Tosco and Mackey, 2017; Yoshiharu et al., 2003)

The genus *Solidago* is the biggest of Compositae family, and comprises 120 species, most of them occurring in North America. This taxon shows species with recognized therapeutic activity and presence of diterpene clerodane and labdane types, as solidagenone, a labdane diterpene isolated from *Solidago chilensis* traditionally used as a diuretic, anti-inflammatory, anti-spasmodic and anthelmintic. *Solidago chilensis* Meyen (**Fig.1**) is mentioned in the literature as “arnica brasileira”, “arnica do mato” and it is externally used to treat wounds, trauma, contusions, as anthelmintic and antidiuretic. This species is included in the 71 plant list of SUS (Brazil's Unified Health System) and at the Herbal Therapeutic Memento of Rio de Janeiro city. (Brasil, 2009)

Our previous studies show that diterpene and flavonoids are responsible for anti-inflammatory effect of *S. chilensis*, their extraction from inflorescences, their isolation and the chemical characterization of solidagenone and main flavonoids compounds. (Valverde et al., 2021; Oliveira et al., 2017; Valverde et al., 2009)

In this work, we compared the binding ability of solidagenone and the reference compounds ibuprofen, flufenamic acid, celecoxib, dexamethasone, 5- α -dihydrotestosterone and testosterone with inflammation-related markers.

This finding corroborates the *in vivo* results, indicating an inhibitory action by SOL on the COX-1 pathway. However, COX-2 is considered pathological and controls responses

related to pain and inflammation, and COX-1 is widely distributed and constitutively expressed in most tissues where it is found. (Pannunzio and Coluccia, 2018)



Figure 1 – *Solidago chilensis* Meyen.

MATERIAL AND METHODS

Two-dimensional structures of the ligands were drawn in the MarvinSketch Program™ (16.7.4), while the three-dimensional structures were generated using the Clean in 3D function. The structural geometry was refined by semi-empirical calculations with MOPAC™ 2012 applying the PM7 method, and the three-dimensional crystallographic coordinates of the proteins were obtained from the Protein Data Bank (PDB) (**Fig. 2**). (Stewart, 2014) In the next step, molecular docking was performed by the AutoDockVina™ 1.1.2 program and the coupling procedure involved the preparation of the ligand and macromolecules in simulation boxes. (Trott and Olson, 2010)

Cyclooxygenase-1 (COX-1, code 1EQG; crystallographic binder: ibuprofen; dimensions: 20×20×28 with spaced points of 1 Å and directions: X 28.185, Y 38.74 and Z 192.606), cyclooxygenase-2 (COX-2, code 5IKV; crystallographic binder: flufenamic acid; dimensions: 28×20×20 with spaced points of 1 Å and directions: X 159.748, Y 183.604 and Z 196.47), glucocorticoid receptor (code 1P93; crystallographic binder: DEXA; dimensions: 20×20×20 with spaced points of 1 Å and directions: X 31.274, Y 30.038 and Z 21.319), estradiol-17-β-dehydrogenase (code 1DHT; crystallographic ligand: 5-α-dihydrotestosterone; dimensions: 20×20×20 with spaced points of 1 Å and directions: X 10,683, Y 7,826 and Z-11,134) and prostaglandin-E(2)-9-reductase (code 1Q13; crystallographic linker: testosterone; dimensions: 14×14×14 with spaced points of 1 Å and directions: X 27.731, Y 3.287 and Z 30.811) were used in this study to explore the active sites of the enzymes. The docking calculations were performed, and the automatic evolutionary parameters were considered based on the characteristics of the crystallographic binders, which were validated by redocking. Analyses of the molecular recognition interactions were performed using the program Discovery Studio v. 4.5 2016. (Oliveira et al., 2013).

The ligands that presented better orientations and superior scores were analyzed on a graphical screen. The choice of these ligands is due to several enzymes and proteins involved in the inflammatory pathways and their availability in the computer system for molecular docking.

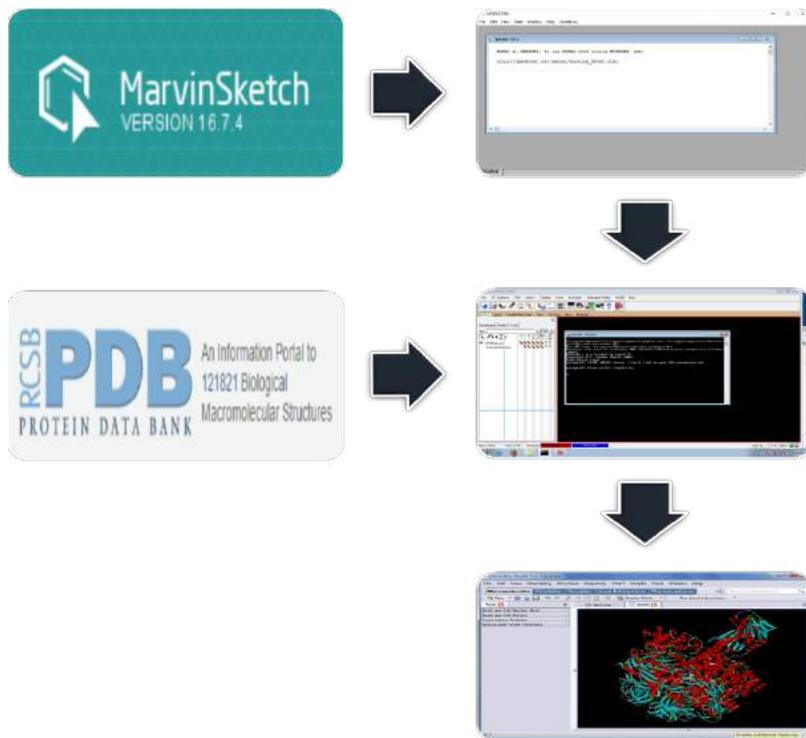


Figure 2 - Methodology The binders were generated in the Marvin Sketch program and refined by the semi-empirical method PM7 present in the MOPAC2012 program. Gasteiger's charges were determined between linkers and lipase through the MGLTools program. The molecular recognition interactions were performed through the Discovery Studio v. 4.5 2016.

RESULTS

Docking study

To perform the docking study, the molecular structures were initially validated by means of redocking, which reproduced a crystallographic protein-binder complex with a root-mean-square deviation (RMSD) of less than 2Å. In this study, ibuprofen, flufenamic acid, dexamethasone, 5- α -dihydrotestosterone and testosterone interacted at the binding sites of COX-1, COX-2, glucocorticoid receptor, estradiol-17- β -dehydrogenase and prostaglandin-E(2)-9-reductase, respectively, with an expressive reconstruction of the crystallographic complexes (Figure S2). Considering this aspect, molecular interactions with COX-1 and COX-2 were hydrogen bonding (Arg120), dipole-dipole interactions (Tyr385) and van der

Waals forces (Ser530), which were perfectly observed with ibuprofen and flufenamic acid, respectively. In addition, significant interactions with glucocorticoid receptor were identified as hydrogen bonding with the Asn67, Gln73, Arg114, Gln145 and Thr242 residues, as well as electrostatic and van der Waals. van der Waals and hydrogen bonding with the Ser142, Try155 and His221 residues are related to oestradiol 17- β -dehydrogenase activity, while prostaglandin-E-(2)-9-reductase showed important hydrogen bonding (His117), dipole-dipole (Pro225 and Val306) and stacking interactions (Phe118 and Phe310). (**Fig. 3 and 4**)

Molecular interactions between SOL and COX-1, COX-2, glucocorticoid receptor, oestradiol 17- β -dehydrogenase and prostaglandin-E(2)-9-reductase are shown in Figure S3, while the free energy (binding affinity) values are given in Table 1.

The binding affinity values are the same for both COX-1 and COX-2 ($-8.2 \text{ kcal.mol}^{-1}$) When compared to their respective inhibitors, ibuprofen and flufenamic acid, respectively (**Table 1**). However, the molecular interaction between SOL and COX-1 is favourable, since it presents a binding affinity ($-8.2 \text{ kcal.mol}^{-1}$) more negative than that of ibuprofen ($-7.6 \text{ kcal.mol}^{-1}$). This interaction is due to the presence of hydrogen bonds established between the ligand and the enzyme site (Figure S3). Molecular docking between SOL and prostaglandin-E(2)-9-reductase produced a binding affinity equal to that of its inhibitor testosterone ($-8.4 \text{ kcal.mol}^{-1}$) (Table 1). The molecular interaction profile showed a hydrogen bonding (His117), dipole-dipole (Val306) and Stacking interactions (Phe118 and Phe310) were highlighted. By having the same binding affinity value, the interaction between the ligand and enzymatic target was also favourable. However, the resulting values between SOL and glucocorticoid receptor and oestradiol 17- β -dehydrogenase were -7.4 and $-7.7 \text{ kcal.mol}^{-1}$, respectively, when compared to their respective crystallographic ligands, DEXA and 5 α -dihydrotestosterone (Table 1), which indicated unfavourable interactions with the sites of these enzymes.

AA interacts with the COX site through hydrogen bonds established between the carboxylate of the acid and the Arg120 and Tyr355 residues of the enzyme, as a precursor of prostaglandins and other mediators. C13 of AA is close to the phenolic oxygen of Tyr385, which is orientated precisely for abstraction of H. The final ω is between Ser530 and Gly533. The residues Phe381, Leu384, Trp387, Phe518 and Met522 constitute a slit that can accommodate conformational transitions at C8 through C12 during the addition and formation of endoperoxide. (Malkowski et al., 2000) In the most of cases, NSAIDs interact mainly with Arg120, as represented in this work by ibuprofen. Corroborated in our study by the result obtained *in vivo* is the docking between SOL and COX-1 and COX-2. This is due to the formation of an instable ligand-receptor complex, mainly by the absence of hydrogen bonding interactions with Arg120. However, according to our results, the binding affinity value of SOL ($-8.2 \text{ kcal.mol}^{-1}$) with COX-1 is lower than that of the reference compound (ibuprofen= $-7.7 \text{ kcal.mol}^{-1}$) (**Table 1**).

This finding corroborates the *in vivo* results, indicating an inhibitory action by SOL

on the COX-1 pathway. However, COX-2 is considered pathological and controls responses related to pain and inflammation, and COX-1 is widely distributed and constitutively expressed in most tissues where it is found. (Pannunzio and Coluccia, 2018)

Considering the molecular docking against the enzyme prostaglandin-E(2)-9-reductase, SOL produced a binding affinity ($-8.4 \text{ kcal.mol}^{-1}$), showing that the interaction between the ligand and enzymatic target is favourable (Table 1). Belonging to the oxidoreductase family, this enzyme participates in the metabolism of AA, which is involved in one of the inflammatory process pathways (Ricciotti and FitzGerald, 2011).

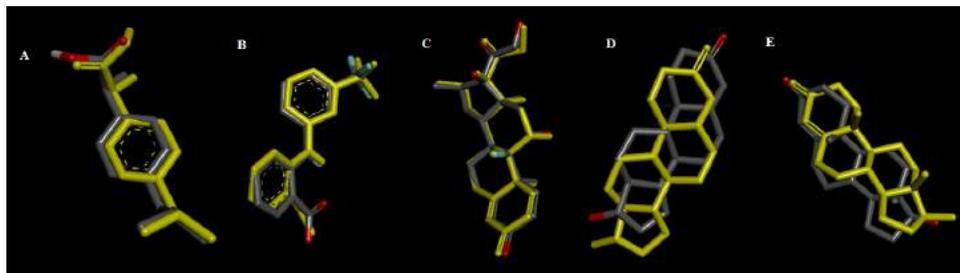


Figure 3 - Redocking structure used as reference, along with the RMS value. In gray: reference structure; Yellow: Ibuprofen; B flufenamic acid; C dexamethasone; D 5- α -dihydrotestosterone; E testosterone. Image built in AutoDockTools 1.5.6rcz2 program. RMS computed using the Discovery Studio Client program™.

Compound	ΔG Energy (Kcal.mol ⁻¹)				
	COX-1	COX-2	Glucocorticoid receptor	Estrogenic 17- β -dehydrogenase	Prostaglandin-E(2)-9-reductase
Ibuprofen	-7,6	-	-	-	-
Flufenamic acid	-	-9,0	-	-	-
Celecoxib	-	-6,9	-	-	-
Dexamethasone	-	-	-11,3	-	-
5- α -dihydrotestosterone	-	-	-	-8,5	-
Testosterone	-	-	-	-	-8,4
Solidagenone	-8,2	-8,2	-7,4	-7,7	-8,8

Table 1 - Molecular docking of solidagenone to proteins

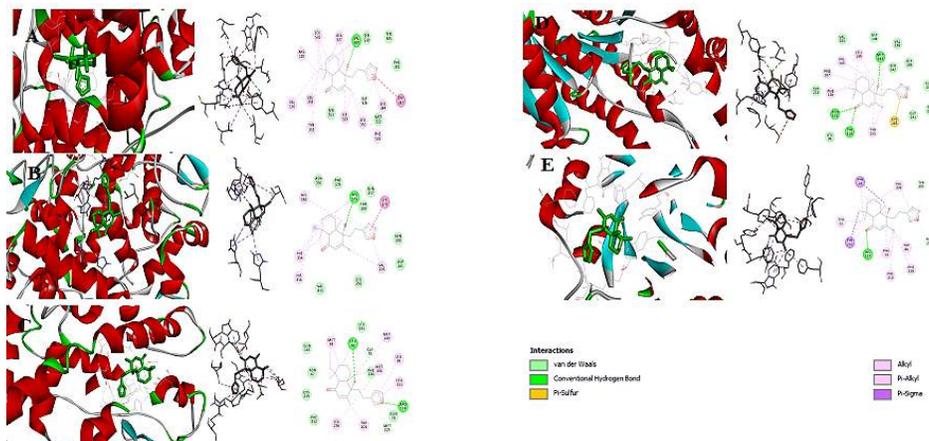


Figure 4 - Orientation of the crystallographic ligand on the protein target. **A** Principal molecular interactions between solidagenone and COX-1. **B** Principal molecular interactions between solidagenone and COX-2. **C** Principal molecular interactions between solidagenone and the glucocorticoid receptor. **D** Principal molecular interactions between solidagenone and estrogenic 17-b-dehydrogenase. **E** Principal molecular interactions between solidagenone and prostaglandin-E (2) -9-reductase.

CONCLUSIONS

The results indicate that solidagenone allowed stable interactions with COX-1 and -2 and prostaglandin-E(2)-9-reductase, which should be associated with the anti-inflammatory action.

According to our docking study, SOL may interfere with the signalling pathways of inflammation mediators such as COX-1 and prostaglandin-E(2)-9-reductase inhibitors. Our findings present new prospects for the treatment of disorders associated with cutaneous inflammation. However, further research is required whether we are to obtain a better understanding of therapeutic potential of SOL.

All these *in silico* results obtained not only corroborate the traditional use of the species, but also lead to the *in vivo* tests demonstrating the anti-inflammatory activity for labdane diterpene solidagenone. (Valverde et al., 2021; Vasconcelos et al., 2021)

REFERENCES

Brasil. MS. Relação de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (Rennisus). Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/07/rennisus.pdf>. Acesso em 2009. 2009.

Laue, T.M., Shire, S.J. The Molecular Interaction Process. J. of Pharmaceutical Sciences. V.109. p.154-160. 2020.

Malkowski, M.G., Ginell, S.L., Smith, W.L., Garavito, R.M. The productive conformation of arachidonic acid bound to prostaglandin synthase. Science. 2000; 289(5496):1933-1937. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1933>.

Oliveira, M.E., Cenzi, G., Nunes, R.R., Andrighetti, C.R., Valadão, D.M.S., Reis, C., Simões, C.M.O., Nunes, R.J., Júnior, M.C., Taranto, A.G., Sanchez, B.A.M., Viana, G.H.R., Varotti, F.P. Antimalarial activity of 4-metoxychalcones: docking studies as falcipain/plasmeprin inhibitors, ADMET and lipophilic efficiency analysis to identify a putative oral lead candidate. *Molecules*. 2013;18(12):15276-15287. <https://doi.org/10.3390/molecules181215276>.

Oliveira, T.B.; Bastos, B.P.M.; Kelly, A.; Monteiro, S.S.; Valverde, S.S. Caracterização de flavonoides por CLAE-UV-PDA em tintura de inflorescências de *Solidago chilensis* Meyen cultivada em Itaipava (RJ). *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, Supl, 1-126, 2017 | e-ISSN: 2446-4775.

Pannunzio A, Coluccia M. Cyclooxygenase-1 (COX-1) and COX-1 inhibitors in cancer: A review of oncology and medicinal chemistry literature. *Pharmaceuticals*. 2018;11(4):1-20. <https://doi.org/10.3390/ph11040101>.

Ricciotti, E., FitzGerald, G.A. Prostaglandins and inflammation. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2011; 31(5):986-1000. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.110.207449>.

Santos, B.C.S.; Oliveira, T.O., Valverde, S.S.; Araújo, A.L.S.M., Sousa, O.V. Molecular Interaction Profiles of Solidagenone with Inflammatory Markers. 46th World Chemistry Congress. 40ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. July 9 to 14, 2017. IUPAC 49th General Assembly. July 7 to 13, 2017. São Paulo. Brazil.

Tosco, P., Mackey, M. Lessons and Successes in the Use of Molecular Fields, Chapter 3.11. In: *Comprehensive Medicinal Chemistry III*, V.3. United Kingdom. 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12353-4>.

Trott, O., Olson, A.J. Software news and update AutoDockVina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *J Comput Chem*. 2010; 31 (2): 455-46. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>.

Valverde, S.S., Azevedo, S.S., Tomassini, T.C.B. Utilização de CLAE, como paradigma na obtenção e controle do diterpeno solidagenona a partir de inflorescências de *Solidago chilensis* Meyen (arnica brasileira). *Rev Bras Farm*. 2009;90(3):196-199. 9.

Valverde, S.S., Oliveira, T.B., Souza, S.P. *Solidago chilensis* Meyen (Asteraceae). *Rev Fitos*. 2012;7(3):131-136.

Valverde, S.S., Santos, B.C.S., Oliveira, T.B., Gonçalves, G.C., Sousa, O.V. Solidagenone from *Solidago chilensis* Meyen inhibits skin inflammation in experimental models. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*. 2021; 128:91–102. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13479>.

Vasconcelos, J.F., Santos, I.P., Oliveira, T.B., Kelly, A.M., Reis, B.P.Z.C., Orge, I.D., Meira, C.S., Valverde, S.S., Soares, M.B.P. The protective effect of solidagenone from *Solidago chilensis* Meyen in a mouse model of airway inflammation. *Basic & Clinical pharmacology & Toxicology*. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13672>. Early View.

Yoshiharu H., Katsuyoshi, S., Mime, K., Masaki, K., Yo, K., Eiichiro, I., Molecular evaluation using *in silico* protein interaction profiles. *Bioinformatics*. V. 19 (12), p.1514–1523. DOI: 10.1093/bioinformatics/btg189. 2003.

CAPÍTULO 15

ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE SUBSTÂNCIAS ISOLADAS DE *usnea steineri* FRENTE A FITOPATÓGENOS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 8/11/2021

Lucas Silva Cintra

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP.
<http://lattes.cnpq.br/2409800960141086>

Marcos Gomide Tozatti

Faculdade Pestalozzi de Franca, Rua José Marques Garcia, 197, CEP 14401-080, Franca - SP.
<http://lattes.cnpq.br/8506469548612581>

Maria Anita Lemos Vasconcelos

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP.
<http://lattes.cnpq.br/4241282867555715>

Carlos Henrique Gomes Martins

Universidade Federal de Uberlândia - Avenida João Naves de Ávila, 2121, CEP 38.400-902, Uberlândia- MG
<http://lattes.cnpq.br/8076024656192550>

Márcio Luis Andrade e Silva

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP.
<http://lattes.cnpq.br/3379459480976790>

Ana Helena Januário

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP
<http://lattes.cnpq.br/5596725243630872>

Patricia Mendonça Pauletti

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP.
<http://lattes.cnpq.br/5900037029288245>

Wilson Roberto Cunha

Universidade de Franca , Avenida Dr. Armando Salles de Oliveira 201, CEP 14404-600, Franca- SP.
<http://lattes.cnpq.br/0167858725923432>

RESUMO: O presente estudo propôs-se a re-isolar, identificar e investigar o potencial antifitopatogênico de uma série de metabólitos secundários obtidos a partir de extrato acetônico obtido do líquen *Usnea steineri*. A partir deste extrato foram obtidos o ácido úsnico, o ácido difractáico, o ácido galbínico e o ácido norstítico. A identificação de todas as substâncias foi realizada com base nos dados obtidos de RMN-¹H, RMN-¹³C e/ou comparação com padrões autênticos. Nos ensaios de avaliação da atividade antimicrobiana frente a seis fungos fitopatogênicos, o ácido úsnico mostrou atividade promissora contra *Pestalotiopsis longisetula* (CIM= 31,25 µg/mL) e o ácido difractáico apresentou atividade antifúngica moderada com valores de CIM de 250 µg/mL frente ao *Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*. Os resultados abrem perspectivas para a utilização do ácido úsnico e do ácido difractáico no desenvolvimento de novos fungicidas e para o controle de determinados fitopatógenos.

PALAVRAS-CHAVE: ácido úsnico, atividade antimicrobiana, fitopatógenos.

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF COMPOUNDS ISOLATED FROM USNEA STEINERI AGAINST PHYTOPATHOGENS

ABSTRACT: The present study aimed to re-isolate, identify and investigate the antiphytopathogenic potential of a series of secondary metabolites from acetonic extract obtained from the lichen *Usnea steineri*. From this extract, usnic acid, difractaic acid, galbinic acid and norstitic acid were obtained. The identification of all substances was performed based on data obtained from $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ and/or comparison with authentic standards. In the tests to evaluate the antimicrobial activity against six phytopathogenic fungi, usnic acid showed promising activity against *Pestalotiopsis longisetula* (MIC = 31.25 $\mu\text{g/mL}$) and difractaic acid showed moderate antifungal activity with MIC values of 250 $\mu\text{g/mL}$ against to *Fusarium solani* and *Rhizoctonia solani*. The results open perspectives for the use of usnic acid and difractaic acid in the development of new fungicides and for the control of certain phytopathogens.

KEYWORDS: usnic acid, antimicrobial activity, phytopathogens.

1 | INTRODUÇÃO

Desde a origem da agricultura, a criação de métodos de controle de pragas tem sido um desafio para o homem. As doenças de plantas são causadas por patógenos, como fungos, bactérias, nematoides e vírus, sendo os fungos os parasitas que causam maior impacto no que diz respeito a doenças e perdas na produção agrícola. As doenças fúngicas mais comuns incluem oídio, ferrugem da folha, praga de raiz, podridão da coroa, tombamento, antracnose e murcha vascular (MDEE et al., 2009; FONSECA et al., 2015) acarretando perdas significativas na agricultura, destruição de grãos durante a estocagem, diminuição do valor nutritivo e, algumas vezes, produção de micotoxinas prejudiciais ao homem e aos animais (VELLUTI et al., 2004; NAGHETINI, 2006). Muitas investigações têm sido conduzidas visando detectar novas fontes de bioinseticidas para controle de pragas em plantas cultivadas e em produtos armazenados. No entanto, apesar da crescente demanda por produtos mais seletivos e seguros, poucas formulações têm sido desenvolvidas e disponibilizadas no mercado mundial (CARVALHO et al., 2015).

As espécies *Fusarium* que causam murchas vasculares são todas classificadas como *Fusarium oxysporum* (PEREIRA, 2007). Este fungo é responsável por cerca de 20 doenças de importância econômica e os sintomas incluem: murcha, descoloração vascular, clorose, nanismo e morte prematura de plantas. Entre algumas doenças de importância econômica podem ser citadas a murcha do algodoeiro, murcha de fusário do tomateiro, murcha de bananeira e murcha de fusário do feijoeiro. Este fungo também é responsável pela redução no rendimento de algumas outras culturas comercialmente importantes como a alfafa e batata (RODRIGUEZ et al., 2005). Outro fitopatógeno de mesmo gênero é o fungo *Fusarium solani* em feijoeiro que está relacionado com podridões de raízes e da coroa e cancos em caule (PEREIRA, 2007).

Rhizoctonia solani é um importante fungo fitopatogênico de solo e causa sérios

problemas nas batatas, guandu, arroz e outras culturas. Doenças do tipo cancro da haste, sarna negra de tubérculos, retardamento ou impedimento da emergência, danos em plantas mais velhas e também nas mudas provocam um baixo rendimento da colheita (ANGUIZ, 1989).

Macrophomina phaseolina possui uma ampla gama de hospedeiros e é responsável por causar prejuízos em mais de 500 espécies de plantas cultivadas e silvestres (KHAN, 2007). Sob condições favoráveis, o fungo provoca muitas doenças como tombamento, mudas ferrugem, podridão do colmo e podridão de raízes em várias culturas economicamente importantes como milho, soja, sorgo e feijão (ROSA, 2006; BABU, et al., 2007).

Lasiodiplodia theobromae apresenta uma gama de mais de 500 hospedeiros já catalogados em regiões tropicais e temperadas. Sua capacidade de infectar frutos coloca-o dentre os mais eficientes patógenos disseminados por meio de sementes e causadores de problemas pós-colheita (FREIRE et al., 2004).

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* possui diversos hospedeiros, infectando goiabeira, mangueira, mamoeiro, cajueiro, sendo também responsável pela antracnose que constitui um dos mais sérios problemas que ocorre no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*), principalmente na fase de pós-colheita (MARTINS et al., 2005). A antracnose foliar causada por este fungo ocorre também na cebolicultura (*Allium cepae*), sendo esta uma das culturas de grande importância econômica. Para controle da doença, utilizam-se intensivamente fungicidas, principalmente o Benomyl® (benlate), o qual tem sido pouco efetivo (HADDAD et al., 2003).

Fungos do gênero *Pestalotiopsis sp.* estão amplamente distribuídos, ocorrendo em solos, ramos, sementes, frutos e folhas podendo ser parasitas endofíticos ou sapróbios. Há aproximadamente 234 espécies descritas (KRUSCHEWSKY et al., 2010). Encontrase na fase de pós-colheita de diversas frutas tropicais, como a banana, o mamão, a uva, o pseudofruto do caju e a laranja (VIANA et al, 2003). Em frutíferas, como o kiwizeiro (*Actinidia deliciosa*), espécies de *Pestalotiopsis* provocam lesões em folhas e frutos, comprometendo a produção e a qualidade dos mesmos (KARAKAYA, 2001). No Ceará, Cardoso et al. (2002), descrevem *P. psidii* como o agente etiológico da doença conhecida como podridão no caule da goiabeira assim como lesões no morangueiro foram atribuídas a *P. longisetula* (CAMILLI et al., 2002; KRUSCHEWSKY, et al., 2010).

O controle dessas doenças na agricultura tem se intensificado, sendo realizado basicamente através do emprego de produtos sintéticos. Quando estes produtos são utilizados de maneira racional, podem-se obter resultados satisfatórios, entretanto, sua adoção indiscriminada tem ocasionado problemas de contaminação humana e ambiental e tem provocado o surgimento de patógenos resistentes a esses produtos químicos (GHINI & KIMATI, 2000). Segundo Ribas e Matsumura (2009), os agrotóxicos podem ser definidos como substâncias químicas naturais ou sintéticas, utilizadas para matar, controlar ou combater de algum modo as pragas, doenças e ervas invasoras das lavouras, constituindo

um importante meio de controle sobre os agroecossistemas (DIAS, et al., 2010).

A busca de substitutos para os produtos sintéticos encontra nas plantas uma alternativa de interesse econômico e ecológico bastante promissora (SOUZA et al., 2007), onde o emprego de substâncias extraídas de vegetais e com possível atividade na inibição de fitopatógenos poderiam representar uma opção no controle de doenças no campo.

A agricultura brasileira ocupa uma posição de destaque no abastecimento de produtos de origem vegetal devido aos avanços das pesquisas e tecnologias que permitem o aumento da produtividade, além da elaboração de produtos agrícolas mais sofisticados (PASTRO et al., 2012).

A Química de Produtos Naturais representa, dentro da área de pesquisa com espécies vegetais, um ponto de grande importância e valor. A diversidade de substâncias ativas em espécies vegetais tem motivado o desenvolvimento de pesquisas envolvendo o uso de extratos vegetais, óleos essenciais e substâncias bioativas no intuito de explorar suas propriedades fungicidas e bactericidas. Na literatura tem-se verificado o registro da eficiência de extratos vegetais e substâncias isoladas, na promoção da inibição do desenvolvimento de vários fitopatógenos (CELOTO et al., 2008; CARNEIRO et al., 2008; FERREIRA et al., 2012; SALES et al.; 2016).

2 | OBJETIVOS

Re-isolamento da substância ácido úsnico e outras presentes no extrato acetônico do líquen *Usnea steineri*, visando a avaliação da atividade antimicrobiana das substâncias frente a microrganismos fitopatogênicos.

3 | 3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estudo químico

3.1.1 Coleta e identificação do líquen

O líquen *Usnea steineri* Zahlbr foi coletado na Reserva de Jataí - município de Luís Antônio-SP e identificado pelo Prof. Dr. Milton Groppo do Departamento de Botânica da Faculdade de Filosofia de Ciências e Letras de Ribeirão Preto (USP). Uma exsicata da espécie foi depositada no Herbário do Departamento (SPFR 12661).

3.1.2 Obtenção do extrato de *Usnea steineri*

O material coletado (*U. steineri*) foi seco e estabilizado em estufa de ar circulante (40°C) e triturado em moinho de facas até a forma de pó (300 g), o qual foi posteriormente submetido à extração por maceração com o solvente acetona (3 litros, temperatura

ambiente). O processo de extração foi repetido por três vezes com um intervalo de uma semana entre elas. Todo o material resultante do processo de maceração foi filtrado e concentrado sob pressão reduzida à temperatura de 40°C, utilizando-se um evaporador rotativo até a eliminação completa do solvente. O extrato bruto seco (18,44 g) foi acondicionado em frasco âmbar com tampa e mantido em geladeira.

3.1.3 Re-investigação do extrato acetônico de *Usnea steineri*

Ao ser solubilizado o extrato bruto acetônico de *U. steineri* em acetonitrila foi possível observar a formação de um precipitado, o qual foi separado e codificado como **US-P**. O sobrenadante foi então submetido à CLAE-preparativa, do qual foi possível isolar o (+) - ácido úsnico codificado como **US-1** e outros dois componentes mais polares codificados como **US-2** e **US-E**. Todas as substâncias isoladas e o precipitado foram submetidas à análise por RMN-¹H, RMN-¹³C e EM gerando espectros que permitiram sua identificação.

3.2 Estudo biológico

3.2.1 Avaliação da atividade antimicrobiana

Para o presente estudo, foram realizados vários ensaios para avaliação das atividades antimicrobiana. Todos estes ensaios foram realizados nos laboratórios da UNIFRAN em colaboração com o professor Dr. Carlos Henrique Gomes Martins (Laboratório de Microbiologia).

3.2.2 Cepas de fungos fitopatogênicos

As cepas dos fungos que foram utilizadas no presente estudo foram fornecidas por pesquisadores colaboradores da Embrapa e outras Instituições. O **Quadro 1** abaixo descreve os microrganismos utilizados e os hospedeiros (espécies vegetais) destes.

Microrganismos	Hospedeiro
<i>Rhizoctonia solani</i>	Arroz
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Pimenteira
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Melão
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Cajueiro
<i>Pestalotiopsis longisetula</i>	Morangueiro
<i>Fusarium solani</i>	Maracujazeiro

Quadro 1. Fitopatógenos de interesse agrícola.

3.2.3 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) nos ensaios com os fungos fitopatogênicos

A técnica da determinação da CIM foi realizada em placas de microdiluição com 96 poços, onde foram feitas diluições seriadas em concentrações de 2000 $\mu\text{g/mL}$ a 0,98 $\mu\text{g/mL}$. O meio de cultura utilizado foi o caldo RPMI, tamponado com MOPS e pH final de 7,2. Nas linhas da placa de 96 poços, em todos os poços, foram adicionados 100 μL do caldo. Posteriormente no primeiro poço foram adicionados mais 100 μL da solução de trabalho e realizada a homogeneização. Em seguida foram retirados 100 μL do primeiro poço e adicionados ao segundo poço, homogeneizado, e assim sucessivamente até o décimo segundo poço, realizando-se assim a diluição seriada dos extratos e substâncias avaliadas. Para o controle do fármaco padrão realizou-se o mesmo processo, no entanto, para a anfotericina B foram utilizadas as concentrações de 16 $\mu\text{g/mL}$ a 0,031 $\mu\text{g/mL}$ e para o DMSO a concentração utilizada foi de 1%.

Após esse procedimento foram adicionados 100 μL do inóculo, previamente preparado, em todos os poços. Após a montagem das microplacas, estas foram incubadas por 72 horas a 28°C. Decorrido este período, ocorreu a observação a olho nu da microplaca. Em alguns casos, foi necessário o auxílio de uma lupa para que ocorresse melhor visualização do crescimento fúngico. A concentração inibitória mínima foi determinada comparando-se o crescimento fúngico dos poços com o controle de esterilidade do caldo e o controle do inóculo.

O inóculo foi preparado baseado nas normas preconizadas pela CLSI M-38 A2. Primeiramente, os fungos foram cultivados em tubos contendo ágar batata-dextrose por sete dias a 25°C, para que ocorresse a formação de conídios ou esporangiosporos. As espécies de *Fusarium* foram incubadas por 72 horas a 35°C e depois permaneceram em temperatura de 25°C até o sétimo dia.

Após esse período, o inóculo foi feito adicionando-se 1 mL de solução salina estéril 0,85% ao tubo de ensaio contendo o cultivo, formando-se assim uma suspensão. A mistura foi transferida para um tubo estéril e permaneceu em repouso por 5 minutos. Após a sedimentação, o sobrenadante homogêneo foi transferido para outro tubo e sofreu agitação em vórtex durante cerca de 15 segundos.

As densidades das suspensões foram lidas em espectrofotômetro com comprimento de onda de 530 nm e ajustadas para que atingissem densidade óptica de 0,09 a 0,11 (transmitância de 80% a 82%) e de 0,15 a 0,17 (transmitância de 68% a 70%) para espécies de *Fusarium*. O ajuste foi realizado adicionando-se a quantidade necessária de solução salina 0,85% ou suspensão de conídios. Após o ajuste em espectrofotômetro, a suspensão foi diluída em meio RPMI, na proporção 1:50, que corresponde 2x a concentração necessária de 0,4 x 10⁴ a 5 x 10⁴ UFC/mL.

Como controle foi utilizada o fármaco Anfotericina B, para validação da técnica,

sendo diluída para obter a concentração de 16 $\mu\text{g/mL}$ a 0,031 $\mu\text{g/mL}$, na microplaca de 96 poços.

Para a validação dos ensaios, quanto ao controle da Anfotericina B, foi utilizada a cepa de referência *Aspergillus fumigatus* (ATCC 204305), para se obter faixa de CIM de 0,5 a 2,0 $\mu\text{g/mL}$.

Também foram realizados outros controles como o de esterilidade do meio de cultura (caldo RPMI), controle do inóculo (que deve apresentar crescimento devido à ausência de agentes antimicrobianos), controle de esterilidade dos antifúngicos, controle de esterilidade dos extratos brutos, e controle do solvente (DMSO).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estudo Químico

4.1.1 Re-isolamento e identificação do ácido úsnico

Estudos prévios realizados pelo nosso grupo relatam o isolamento e a identificação do ácido úsnico presente no extrato acetônico do líquen *Usnea steineri* (TOZATTI et al., 2016). O extrato acetônico de *Usnea steineri* foi analisado por CLAE-DAD (Figura 2) e comparado com padrão de ácido úsnico ($R_t = 7.11$ min) (Figura 3). Parte deste extrato foi aplicado em CLAE-preparativa (Figura 4), sendo possível isolar o ácido úsnico. O ácido único isolado corresponde ao (+)-ácido úsnico ($[\alpha]_D^{22} = +0,410$; $c = 3\text{mg/mL}$). (Figura 1).

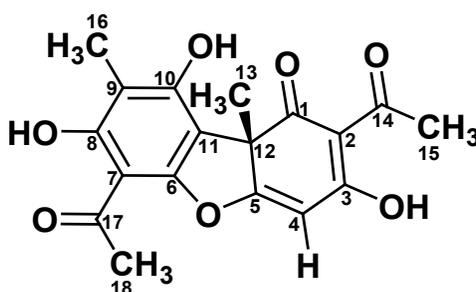


Figura 1: Estrutura química do (+)-Ácido Úsnico

4.1.2 Resultados da re-investigação do extrato acetônico de *Usnea steineri*

Parte deste extrato foi submetido à CLAE-preparativa, no qual ao ser solubilizado foi possível observar a formação de um precipitado codificado como US-P. A partir da CLAE-preparativa foi possível isolar o ácido úsnico (US-1) e outros dois componentes mais polares que foram codificados como US-2 ($R_t = 5.17$ min) e US-E ($R_t = 2.42$ min). Através

dos espectros de RMN-¹H e RMN-¹³C foi possível a identificação de todas as substâncias, sendo elas o ácido norstítico (US-P), ácido galbínico (US-E), ácido difractáico (US-2) e ácido úsnico (US-1).

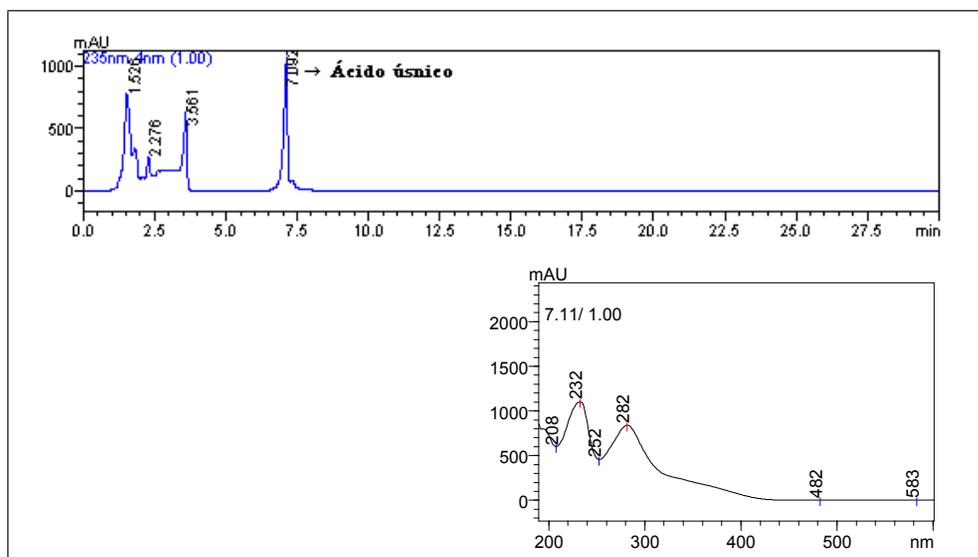
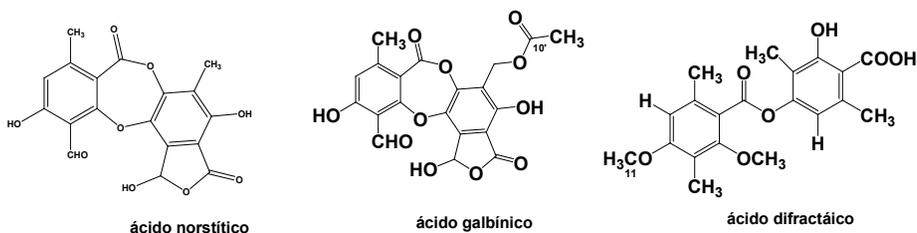


Figura 2: Cromatograma do extrato acetônico de *Usnea steineri* e seu respectivo espectro de UV do pico em 7,09 minutos.

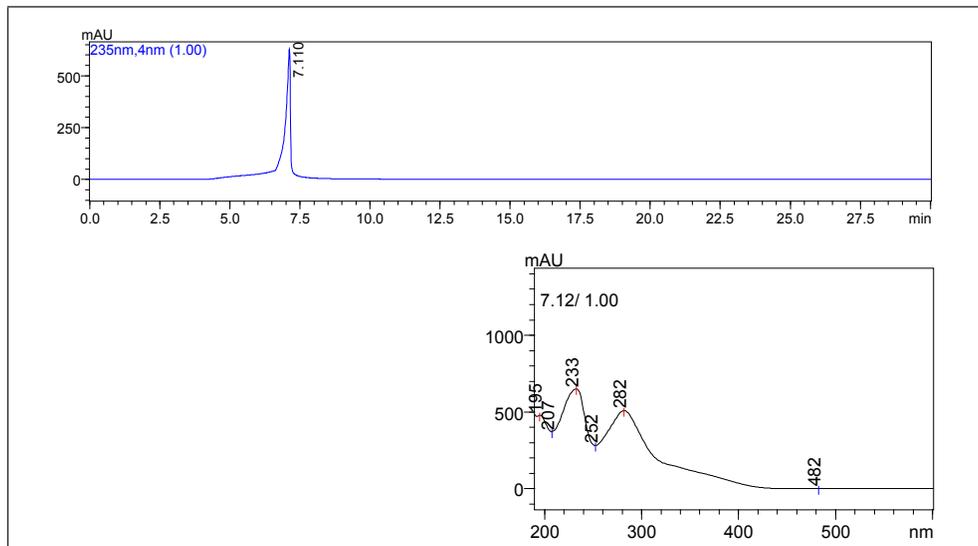


Figura 3: Cromatograma do padrão ácido úsnico e seu respectivo espectro de UV.

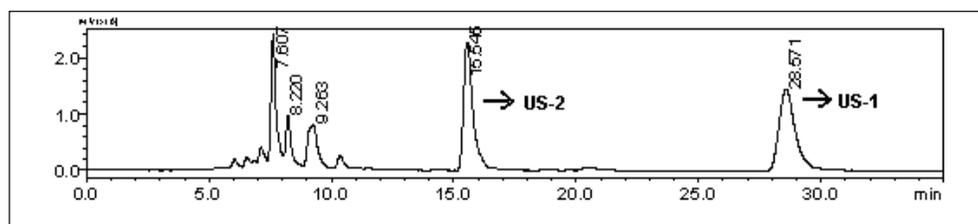


Figura 4: Isolamento do ácido úsnico por CLAE preparativa.

4.2 Estudo biológico

4.2.1 Resultados da Concentração Inibitória Mínima (CIM) das substâncias isoladas frente aos fungos fitopatogênicos

Segundo Holetz *et al.* (2002) na avaliação da atividade antimicrobiana na determinação da concentração inibitória mínima (CIM) de produtos naturais consideramos valores de CIM menores que 100 µg/mL apresentam uma atividade antimicrobiana boa, CIM >100 a 500 µg/mL apresentam moderada atividade antimicrobiana, os valores de CIM de >500 a 1000 µg/mL apresentam fraca atividade antibacteriana, os valores da CIM maiores que 1000 µg/mL, são considerados inativos.

A Concentração Inibitória Mínima (CIM) para cepas *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium solani*, *Pestalotiopsis longisetula*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Rhizoctonia solani* e *Colletotrichum gloeosporioides* demonstram que os resultados obtidos variam de bons a inativos, de acordo com o descrito por Holetz *et al.*, (2002). Sendo os melhores resultados

encontrados sobre a cepa *Pestalotiopsis longisetula*, com valor de CIM de 31,25 $\mu\text{g/mL}$ e 62,5 $\mu\text{g/mL}$ diante da exposição ao Ácido Úsnico. Seguidos pela atividade das mesmas substâncias frente a cepa de *Macrophomina phaseolina*, porém com valores de CIM de 500 $\mu\text{g/mL}$ frente ao Ácido Úsnico.

A inatividade das substâncias testadas, frente aos fitopatógenos pode ser justificada pela resistência natural que estes microrganismos possuem.

Para melhor compreensão, esses, e os demais resultados estão discriminados na Tabela 1, a seguir.

O resultado de CIM da cepa controle frente ao antifúngico controle foi de 2 $\mu\text{g/mL}$ e está de acordo com o descrito pela CLSI, assegurando que a técnica foi realizada de forma correta e os resultados obtidos são verídicos.

Os resultados obtidos também demonstram que o Ácido Difractáico foi o mais eficaz contra os microrganismos testados, apresentando atividade antifúngica moderada com valores de CIM de 250 $\mu\text{g/mL}$ frente ao *Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*, e 500 $\mu\text{g/mL}$ frente à *Macrophomina phaseolina* e *Lasiodiplodia theobromae*. Frente às demais espécies avaliadas, as substâncias apresentaram-se inativas.

Embora seja capaz de inibir o crescimento microbiano de algumas espécies, são necessários mais estudos com o Ácido Úsnico e o Ácido Difractáico para garantir o uso seguro.

Microrganismos	Ácido Úsnico	Ácido Difractáico	Ácido Norstítico	Ácido Galbinico
<i>Macrophomina phaseolina</i>	500	500	>2000	>2000
<i>Fusarium solani</i>	2000	250	>2000	>2000
<i>Pestalotiopsis longisetula</i>	31,25	1000	>2000	>2000
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	2000	500	>2000	>2000
<i>Rhizoctonia solani</i>	>2000	250	>2000	>2000
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	2000	2000	>2000	>2000

Tabela 1: Atividade antimicrobiana de substâncias isoladas frente a fungos fitopatógenos.

Os resultados desse trabalho podem ser comparados ao de Andrade et al., (2014). Neste estudo, os pesquisadores avaliaram a atividade antifúngica de *Pinus ellioti* e *Pinus tropicalis* frente às mesmas espécies de fitopatógenos avaliados nesse trabalho e com a mesma metodologia.

Os resultados obtidos por esses pesquisadores corroboram com os dados observados em nossa pesquisa, visto que os autores também citam a resistência natural do fungo e que também tiveram valores de CIM considerados inativos. Além disso, os

valores de CIM obtido por eles ficaram entre 62,5 µg/mL e 1000 µg/mL, valores próximos aos encontrados nessa pesquisa.

Como mencionado anteriormente, os valores de CIM encontrados em altas concentrações são justificáveis pela resistência natural dos fungos. Essa afirmação é confirmada pelo trabalho de Formighieri et al., (2010), que citam que nas últimas décadas houve aumento da resistência dos fungos fitopatogênicos.

Assim como Formighieri et al., (2010), outros autores como Parreira et al., (2010), Stallbaun et al., (2016), Casado et al., (2018) fazem as mesmas afirmações em relação à resistência fúngica.

Ainda, Amaral e Bara (2005) investigaram a atividade antifúngica do açafrao e do coração negro frente a cinco fitopatógenos, sendo eles: *M. phaseolina*, *S. rolfisii*, *Rhizoctonia solani*, *F. solani* e *F. oxysporum*. Quanto ao açafrao foi possível concluir, pelos autores, que seu extrato em concentração de 1% é eficiente frente ao *F. oxysporum* e *R. solani*. Já o extrato de coração negro foi eficaz contra *F. oxysporum* e *M. phaseolina*.

Nosso estudo se assemelha aos resultados de Amaral e Bara (2005), pois o Ácido Difrataico também apresentou atividade antifúngica frente às cepas de *M. phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *F. solani*.

Face ao exposto, acredita-se no potencial promissor do Ácido Úsnico e Ácido Difrataico para criação de defensivos agrícolas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio a pesquisa (processo no. 2016/22228-1). Ao CNPq pelas bolsas concedidas. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M.F.Z.J.; BARA, M.T.F. Avaliação da atividade antifúngica de extratos de plantas sobre o crescimento de fitopatógenos. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.2, n.2, p.5-8, 2005.

ANDRADE, Gessica et al. Atividade antifúngica da oleoresina e frações de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus tropicalis* contra fitopatógenos. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 26, pág. 3898, 2014.

ANGUIZ, R.; MARTIN, C. Anastomosis groups, pathogenicity, and other characteristics of *Rhizoctonia solani* isolated from potatoes in Peru. **Plant Disease**, v. 73, n. 3, p. 199-201, 1989.

BABU, Bandamaravuri Kishore et al. Identification and detection of *Macrophomina phaseolina* by using species-specific oligonucleotide primers and probe. **Mycologia**, v. 99, n. 6, p. 797-803, 2007.

BARREIRO, E. J. Strategy of molecular simplification in rational drug design: the discovery of a new cardioactive agent. **Química Nova**, v. 25, n. 6 B, p. 1172-1180, 2002.

- BRINGEL, José Magno Martins; TAKATSU, Armando; UESUGI, Carlos H. Colonização radicular de plantas cultivadas por *Ralstonia solanacearum biovars 1, 2 e 3*. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 497-500, 2001.
- CALDERON, Leonardo de Azevedo et al. Biodiversidade amazônica: uma visão do desenvolvimento de medicamentos para leishmaniose e malária. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 20, n. 6, pág. 1011-1023, 2009.
- CAMILLI, Elisângela C.; CARBONARI, Murilo; SOUZA, N. L. Caracterização de *Pestalotiopsis longisetula* e sua patogenicidade em morango. **Summa Phytopathologica**, v. 28, n. 2, p. 213-214, 2002.
- CARNEIRO, S. M. T. P. G.; PIGNONI, E.; GOMES, J. C. Efeito do nim (*Azadirachta indica A. Juss.*) no controle da mancha angular do feijoeiro. **Rev. Bras. de Plantas Mediciniais**. Botucatu, 10, 3, 6-10, 2008.
- CARVALHO, Sheila Salles de et al. Efeito inseticida sistêmico de nanoformulações à base de nim sobre *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B em tomateiro. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 298-306, 2015.
- CASADO, Priscila Santos et al. Método eficiente, baseado em leitores de microplaca, para detecção de resistência a fungicidas triazóis (IDM) e estrobirulinas (IQe) em populações do patógeno do brusone do trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 3, p. 236-244, 2018.
- CELOTO, Mercia Ikarugi Bomfim et al. Atividade antifúngica de extratos de plantas a *Colletotrichum gloeosporioides*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2008.
- DIAS, Lucas Pinheiro et al. Toxicidade do extrato metanólico da canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) contra fungos fitopatógenos. **Revista do V CONNEPI**, v. 5, p. 1-6, 2010.
- FERREIRA, Fátima Teresinha Rampelotti; VENDRAMIM, José Djair; FORIM, Moacir Rossi. Bioatividade de nanoformulações de nim sobre a traça-do-tomateiro. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1347-1353, 2012.
- FONSECA, Maira Christina Marques et al. Potencial de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de fitopatógenos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 1, p. 45-50, 2015.
- FORMIGHIERI, A. P. et al. Avaliação do potencial da planta *Adiantum capillus-veneris* (L.) no controle de fitopatógenos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 3, 2010.
- FREIRE, F.O.C.; VIANA, F.M.P.; CARDOSO, J.E.; SANTOS, A.A. Novos Hospedeiros do Fungo *Lasiodiplodia theobromae* no Estado do Ceará. **Comunicado técnico online Embrapa**, 2004.
- GHINI, Raquel; KIMATI, Hiroshi. **Resistência de fungos a fungicidas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000., 2000.
- HADDAD, F.; MAFFIA, Luiz A.; MIZUBUTI, Eduardo SG. Evaluation of fungicides to control *Colletotrichum gloeosporioides* on onion. **Fitopatologia brasileira**, v. 28, n. 4, p. 435-437, 2003.
- HOLETZ, Fabíola Barbiéri et al. Screening of some plants used in the Brazilian folk medicine for the treatment of infectious diseases. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 97, n. 7, p. 1027-1031, 2002.
- KARAKAYA, A. First report of Infection of kiwifruit by *Pestalotiopsis sp.* **Plant Disease**. 85, 1028, 2001.
- KHAN, S. N. *Macrophomina phaseolina* as causal agent for charcoal rot of sunflower. **Micopath**, v. 5, p. 111-118, 2007

KIM, Jonghoon; KIM, Heejun; PARK, Seung Bum. Privileged structures: efficient chemical “navigators” toward unexplored biologically relevant chemical spaces. **Journal of the American Chemical Society**, v. 136, n. 42, p. 14629-14638, 2014.

KRUSCHEWSKY, M. C. **Taxonomia e ecologia do gênero *Pestalotiopsis* no Brasil, com ênfase para a Mata Atlântica do sul da Bahia**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus.

MARTINS, I. et al. Produção de *Colletotrichum gloeosporioides* em meios líquidos. **Brasília: EMBRAPA**, p. 6, 2005.

MDEE, Ladislaus Kakore; MASOKO, Peter; ELOFF, Jacobus Nicolaas. The activity of extracts of seven common invasive plant species on fungal phytopathogens. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 375-379, 2009.

NAGHETINI, C.C. Caracterização físico-química e atividade antifúngica dos óleos essenciais da cúrcuma. **Dissertação** (Mestrado em Ciências de alimentos). Farmácia da UFMG, 2006.

NCCLS. Método de referência para testes de diluição em caldo para determinação da ridentate de a terapia antifúngica de fungos filamentosos; Norma aprovada. Documento M38-A do NCCLS.NCCLS, Wayne, PA, 2002.

OKUYAMA, Emi et al. Usnic acid and diffractaic acid as analgesic and antipyretic components of *Usnea diffracta*. **Planta Medica**, v. 61, n. 02, p. 113-115, 1995.

PARREIRA, Douglas Ferreira; DOS SANTOS NEVES, Wânia; ZAMBOLIM, Laércio. ARTIGO DE REVISÃO: RESISTÊNCIA DE FUNGOS A FUNGICIDAS INIBIDORES DE QUINONA. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 3, n. 2, 2010.

PASTRO, D.C.; PASCUALI, L.C.; SANDRI, D.O.; ZELA, S.P.; SILVA, F.S. Diagnóstico de extratos vegetais com potencial para o controle fúngico. **Enciclopédia Biosfera**, 8, 14, 389-396, 2012.

PEREIRA, M.J.Z. Resistência do feijoeiro a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. **Tese** (Doutorado em Genética e melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Minas Gerais, 2007.

RIBAS, P. P.; MATSUMURA, A. T. S. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, v. 10, n. 14, p. 149-158, 2009.

ROSA, J. Seleção de genótipos de guandu para resistência a *Macrophomina phaseolina* e esporulação do fungo. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2006.

SALES, Maria Diana Cerqueira et al. Antifungal activity of plant extracts with potential to control plant pathogens in pineapple. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 6, n. 1, p. 26-31, 2016.

SILVA, Danielle Mariana MH; BASTOS, Cleber N. Atividade antifúngica de óleos essenciais de espécies de Piper sobre *Crinipellis pernicioso*, *Phytophthora palmivora* e *Phytophthora capsici*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 143-145, 2007.

STALLBAUN, Patricia Hellenn et al. Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 459-463, 2016.

TOZATTI, Marcos G. et al. Activity of the *Lichen Usnea steineri* and its Major Metabolites against Gram-positive, Multidrug-resistant Bacteria. **Natural Product Communications**, v. 11, n. 4, p. 493-496, 2016.

UENO, B., COSTA, H. Doenças causadas por fungos e bactérias. Morangueiro. Brasília: **Embrapa**, p. 413-480, 2016

VELLUTI, A. et al. Impact of essential oils on growth rate, zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* under different temperature and water activity conditions in maize grain. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, n. 4, p. 716-724, 2004.

VENTUROSOS, L. dos R. et al. Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 1, p. 18-23, 2011.

USO DE PROCESSOS MULTICOMPONENTES NA SÍNTESE DE NOVOS PEPTÓIDES DE INTERESSE BIOLÓGICO

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 08/11/2021

Paulo Marcos Donate

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Departamento de Química, Ribeirão Preto – SP, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/3060964061145182>

Mike Gustavo Coelho

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Departamento de Química, Ribeirão Preto – SP, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/9558786770183611>

RESUMO: Descrevemos a síntese assistida por microondas de diversos peptóides funcionalizados e avaliamos sua atividade leishmanicida *in vitro* contra formas de promastigotas de *Leishmania (Leishmania) amazonensis*. A síntese por meio da reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR) forneceu os compostos de interesse com rendimentos de 55-80%; as reações foram conduzidas em um reator de micro-ondas e duraram apenas 10 min. Em seguida, a atividade leishmanicida dos compostos sintetizados foi verificada *in vitro*. Para determinar os valores de IC_{50} (concentração inibitória necessária para inibir o crescimento de 50% dos parasitas), foram selecionados os compostos que inibiram o crescimento de *L. (L.) amazonensis* em mais de 50%. Os seis compostos selecionados exibiram valores de IC_{50} variando de 2,6 a 60,6 μM após incubação por

48 horas. Três peptóides mostraram valores de IC_{50} entre 2,6 e 7,9 μM e podem ser considerados como moléculas biorreativas.

PALAVRAS-CHAVE: Peptoide, peptômero, reação multicomponente, síntese orgânica.

USE OF MULTICOMPONENT PROCESSES IN THE SYNTHESIS OF NEW PEPTOIDS OF BIOLOGICAL INTEREST

ABSTRACT: We describe the microwave-assisted synthesis of several functionalized peptoids and evaluate their *in vitro* antileishmanial activity against forms of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* promastigotes. Synthesis via the Ugi four-component reaction (Ugi 4CR) reaction furnished the compounds of interest in 55-80% yield; reactions were conducted in a microwave reactor and lasted only 10 min. We then screened the antileishmanial activity of the synthesized compounds *in vitro*. To determine the IC_{50} (inhibitory concentration necessary to inhibit the growth of 50% of parasites) values, we selected the compounds that inhibited *L. (L.) amazonensis* growth by more than 50%. The seven selected compounds displayed IC_{50} values ranging from 2.6 to 60,6 μM after incubation for 48 h. Three peptoids gave IC_{50} values between 2.6 and 7.9 μM and can be considered as bioreactive molecules (*hit* criteria).

KEYWORDS: Peptoid, peptomer, multicomponent reaction, organic synthesis.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Peptoides e peptômeros

Os peptoides e os peptômeros são duas classes de oligômeros de glicinas *N*-substituídas que imitam a estrutura natural primária de peptídeos e proteínas (YOO e KIRSHENBAUM, 2008), (ZUCKERMANN, 2011), (KOUTSOPOULOS, 2018). A Figura 1 mostra algumas importantes classes de derivados de peptídeos, destacando as principais diferenças entre elas.

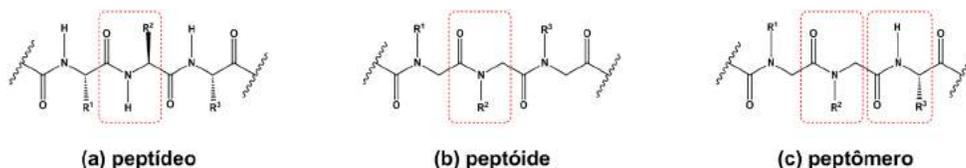


Figura 1. Estruturas de alguns derivados de peptídeo.

Essas moléculas não naturais vêm recebendo muita atenção ultimamente devido a síntese relativamente fácil de ser realizada e a grande variedade de funcionalidades que podem ser incorporadas em suas cadeias, possibilitando gerar novos compostos com uma ampla gama de atividades biológicas (VAGNER, QU e HRUBY, 2008), (SEO, BARRON e ZUCKERMANN, 2010), (SILVA, EMERY, DEL PONTE e DONATE, 2015), (PREVIDI, RODRIGUES, COELHO, CANDIDO, MAGALHÃES e DONATE, 2019).

Nos últimos anos grandes esforços têm sido realizados para melhorar as propriedades farmacológicas de peptídeos através de sua modificação estrutural (ZUCKERMANN e KODADEK, 2009), (PANDA, EL-NACHEF, BAJAJ e KATRITZKY, 2013). Essas modificações estruturais possibilitam a obtenção de moléculas que imitam as propriedades dos peptídeos (*peptidomiméticos*), mas geralmente exibem maior estabilidade proteolítica, maior permeabilidade celular e evitam restrições estereoquímicas.

A Figura 2 mostra estrutura do tetrapeptídeo Ac-DEVD-CHO, que é um exemplo específico de um peptômero (um híbrido de peptídeo e peptóide) (OSTERGAARD e HOLM, 1997) com potencial aplicação terapêutica – é um composto sintético que inibe competitivamente a atividade da capase-3 em células apoptóticas (ZHANG *et al.*, 2014).

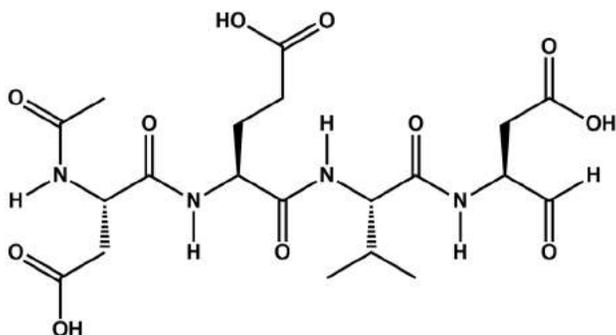


Figura 2. Estrutura do tetrapeptídeo Ac-DEVD-CHO inibidor da caspase-3.

A Figura 3 mostra a estrutura de um peptídeo que é bastante ativo para a inibição do vírus da dengue. Esse composto produziu 100% de inibição nas concentrações de 1,0 mM e 0,5 mM, demonstrando uma excelente atividade virucida (DONATE e RODRIGUES, 2015).

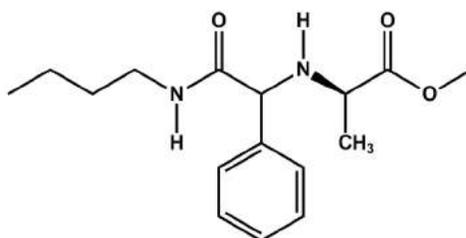


Figura 3. Estrutura de um peptídeo inibidor do vírus da dengue.

A Figura 4 mostra a estrutura de um composto que possui elevada atividade de inibição contra o SARS-CoV-2 (DAI *et al.*, 2020). O valor de IC_{50} desse composto foi de $0,053 \pm 0,005 \mu\text{M}$.

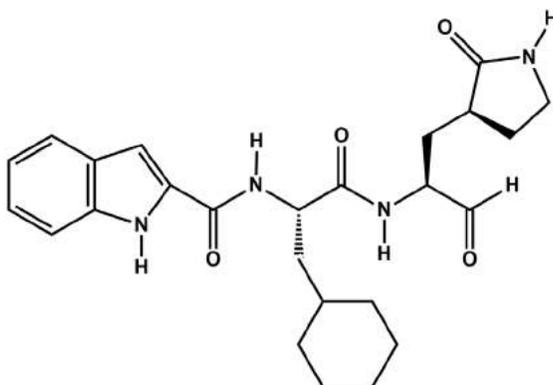


Figura 4. Estrutura de um composto inibidor do SARS-CoV-2.

Nos ensaios de inibição viral *in vitro*, o composto mostrado na Figura 4 exibiu boa atividade anti-SARS-CoV-2, com valor de EC_{50} (concentração efetiva) de $0,53 \pm 0,01 \mu\text{M}$, não causando nenhuma citotoxicidade significativa. Empregando a imunofluorescência e a PCR (Proteína C-Reativa) quantitativa em tempo real para monitorar a atividade antiviral desse composto, foi verificado um forte efeito antiviral no SARS-CoV-2. Um estudo de toxicidade *in vivo* desse composto também foi realizado em ratos e cães. Nenhuma toxicidade óbvia foi observada para este composto, indicando que pode ser um bom candidato para a realização de novos estudos clínicos.

1.2 Reações multicomponentes

Uma reação multicomponente (**MCR**: abreviação de **Multicomponent Reaction**) geralmente é definida como qualquer processo em que três ou mais reagentes se combinam em um único reator (*one pot*), para formar um produto que incorpora todas as características estruturais de cada um dos reagentes (UGI, DÖMLING e HÖRL, 1994), (ARMSTRONG *et al.*, 1996). Além de gerar elevada complexidade estrutural em uma única etapa sintética, as reações multicomponentes possuem as vantagens da simplicidade e da eficiência da síntese orgânica quando comparada com as reações químicas convencionais. As reações multicomponentes mais úteis possuem ainda as vantagens adicionais da seletividade, convergência sintética e economia de átomos (BIENAYMÉ, HULME, ODDONE SCHMITT, 2000). As reações multicomponentes também aliam as particularidades da química combinatória e da síntese orientada para a diversidade e, por causa disso, atualmente vem desempenhando um importante papel no desenvolvimento de modernas metodologias sintéticas para a preparação de novos fármacos e na pesquisa para a descoberta de novas drogas (HULME e GORE, 2003), (DÖMLING, 2006). Por causa de sua elevada produtividade, simplicidade dos procedimentos experimentais e facilidade de execução, as reações multicomponentes são as melhores ferramentas da síntese orgânica moderna para gerar um grande número de compostos para fins de realização de *screening* biológico (DÖMLING, WANG e WANG, 2012), (ZHU, WANG e WANG, 2014).

Em particular, as reações multicomponentes que envolvem isocianetos são as mais versáteis em termos dos tipos de esqueletos químicos e do número de compostos que podem ser obtidos e, por isso, formam a base dos processos bem conhecidos como reações de Passerini (PASSERINI, 1921A, 1921B) e de Ugi (UGI e MEYR, 1958), (UGI, 1962, 2001), (DÖMLING e UGI, 2000), (SINHA, KHOURY, HERDTWECK e DÖMLING, 2013). A reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR) é um processo altamente eficiente em que geralmente uma amina primária (**1**), um composto carbonílico (**2**), um ácido carboxílico (**3**) e um isocianeto (**4**), reagem em um único reator para produzir amidas de α -acilamino (**5**) (peptoides), conforme pode ser visualizado na Figura 5 (ROCHA, RODRIGUES e NETO, 2020).

De acordo com o mecanismo da reação proposto por Ugi (UGI, 1962), (ROCHA,

RODRIGUES e NETO, 2020), mostrado na Figura 6, a amina, o composto carbonílico e o ácido carboxílico estão em equilíbrio com o carboxilato de imínio **6** na mistura reacional. A adição- α do carboxilato de imínio ao carbono carbenóide do isocianeto leva à formação inicial do aduto **7** com quatro componentes, que sofre uma acilação intramolecular, conhecida como rearranjo de Mumm, para produzir o produto estável **5**.

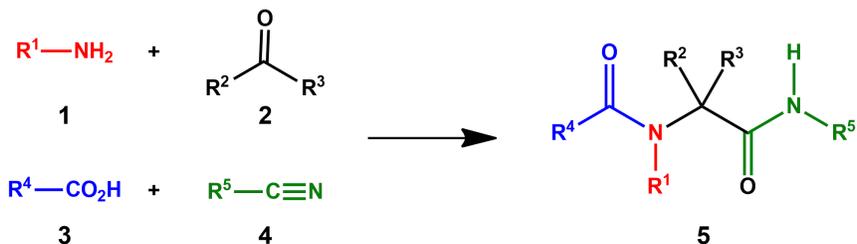


Figura 5. Reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR).

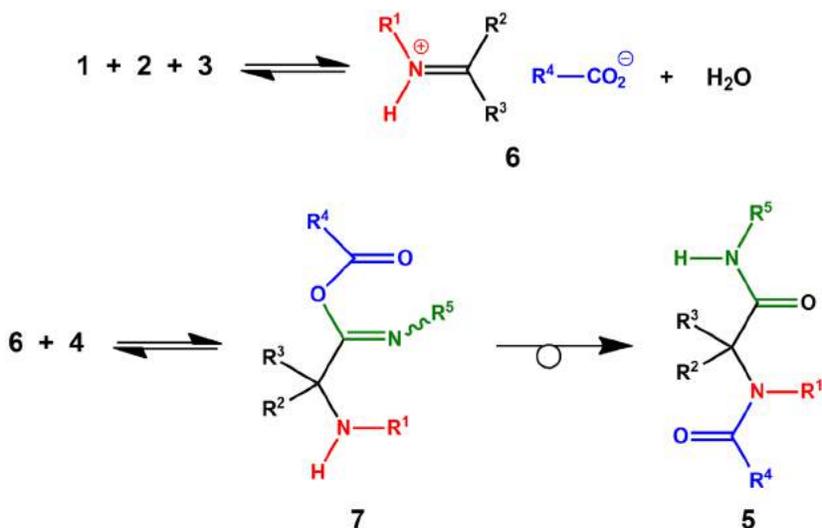


Figura 6. Mecanismo da reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR).

Como parte do interesse do nosso grupo de pesquisa na realização de sínteses de derivados de produtos naturais com atividade biológica, nós planejamos estudar a viabilidade da reação multicomponente de Ugi (Ugi 4CR) para a obtenção de novos compostos de interesse biológico. Esta metodologia de síntese nos permitiu obter rapidamente um grande número de diversas moléculas do tipo peptoides com vários pontos de diversidade, que foram submetidas a ensaios biológicos visando a obtenção de novas drogas.

2 | OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consistiu em utilizar processos multicomponentes para realizar a síntese de compostos análogos de peptídeos, com potencial para atuar como inibidores peptidomiméticos e, conseqüentemente, auxiliar nos estudos relacionados ao tratamento de diversos tipos de doenças.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.3 Procedimento geral para a síntese dos compostos 5a-5f

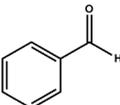
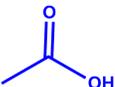
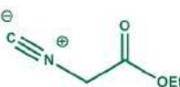
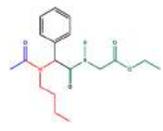
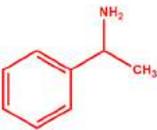
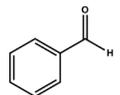
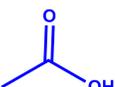
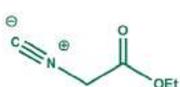
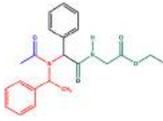
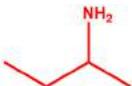
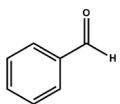
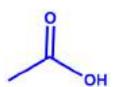
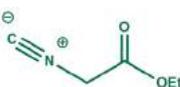
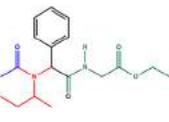
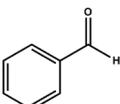
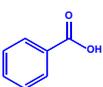
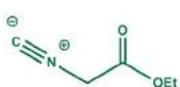
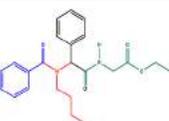
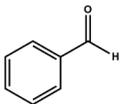
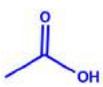
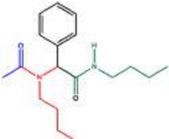
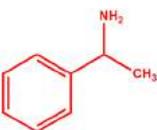
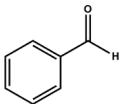
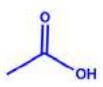
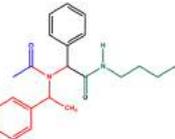
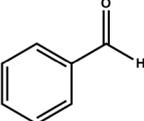
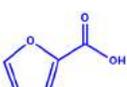
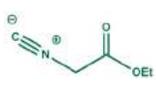
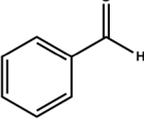
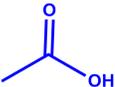
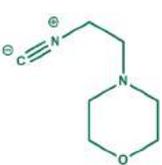
Os compostos **5a-5f** foram sintetizados usando a reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR) (DÖMLING, 2006), (HUANG, YAZBAK e DÖMLING, 2012), (ZHU, WANG e WANG, 2014). As reações foram realizadas sob atmosfera de argônio com a amina **1** (2 mmol), o aldeído **2** (2 mmol), o ácido carboxílico **3** (2 mmol) e o isocianeto **4** (1 mmol), em um frasco de vidro de 5 ml. MgSO₄ anidro (0,05 g) foi adicionado ao frasco de reação e a suspensão resultante foi aquecida a 60 °C por 10 minutos em um forno de micro-ondas CEM Discovery® a 150 W. Após filtrar a mistura reacional, o solvente foi removido sob pressão reduzida e o resíduo foi purificado por cromatografia em coluna de sílica gel usando como eluente uma mistura de diclorometano/metanol (95:5 v/v) para fornecer os compostos **5a-5f** (rendimentos de 55-80%).

4 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A irradiação de microondas ganhou bastante popularidade como uma ferramenta poderosa para sintetizar uma grande variedade de compostos de forma rápida e eficiente. Este processo é vantajoso em relação ao aquecimento térmico convencional, pois reduz os tempos de reação e suprime a geração de produtos colaterais (LOUPY, 2006), (SURATI, JAUHARI e DESAI, 2012).

Os compostos **5a-5f** foram obtidos através da reação de Ugi com quatro componentes reacionais (Ugi 4CR), conforme mostrado na Figura 5, usando matérias-primas comerciais e irradiação de microondas como fonte de calor. A Tabela 1 resume os resultados dessas reações multicomponentes.

As estruturas de todos os compostos sintetizados foram confirmadas por ressonância magnética nuclear (RMN) de ¹H e de ¹³C NMR, espectroscopia de infravermelho (IR) e espectrometria de massas (EM). Os espectros obtidos foram consistentes com as estruturas dos produtos desejados (PREVIDI, RODRIGUES, COELHO, CANDIDO, MAGALHÃES e DONATE, 2019).

Reação	Amina (1)	Aldeído (2)	Ácido (3)	Isocianeto (4)	Produto (5)	Rendimento
1					 5a	71%
2					 5b	78%
3					 5c	58%
4					 5d	77%
5					 5e	80%
6					 5f	77%
7					 5g	70%
8					 5h	55%

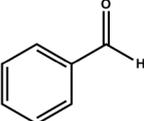
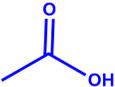
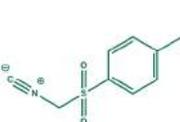
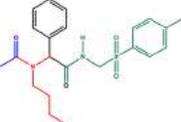
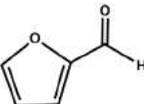
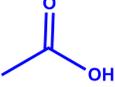
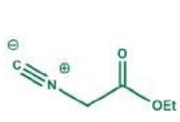
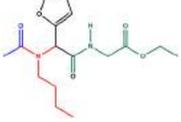
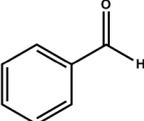
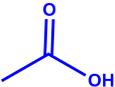
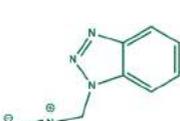
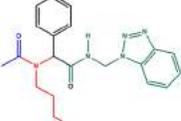
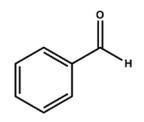
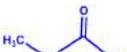
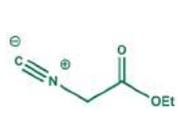
9						57%
10						60%
11						68%
12						55%

Tabela 1. Rendimentos obtidos na síntese dos compostos **5a-5l** pela reação de Ugi 4CR conforme mostrado na Figura 5.

5 | PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DOS COMPOSTOS SINTETIZADOS

Os ensaios biológicos foram realizados com todos os compostos na forma de misturas de enantiômeros (PREVIDI, RODRIGUES, COELHO, CANDIDO, MAGALHÃES e DONATE, 2019). A avaliação *in vitro* da atividade leishmanicida dos compostos **5a-5l** foi realizada contra formas promastigotas de *Leishmania (L.) amazonensis* (MHOM/BR/PH8). Dentre as substâncias avaliadas, os compostos **5b**, **5c** e **5e** apresentaram um percentual de inibição do crescimento das formas promastigotas de *L. (L.) amazonensis* próximo a 50% em um período de 48 horas. Por outro lado, os compostos **5a**, **5c**, **5d**, **5f**, **5i** e **5k** apresentaram um percentual de inibição do crescimento superior a 50% no período de 48 horas. O resultado de atividade biológica mais promissor foi o peptídeo **5i** que apresentou um percentual de inibição do crescimento de 66% em 24 horas e 88% em 48 horas, respectivamente. Então, seis dos compostos testados foram selecionados para realizar os estudos biológicos posteriores.

Os seis compostos selecionados (**5a**, **5c**, **5d**, **5f**, **5i** e **5k**) foram avaliados *in vitro* contra formas promastigotas de *L. (L.) amazonensis* nas concentrações de 6, 12, 25, 50 e 100 μM , para a determinação dos valores de IC_{50} (Concentração Inibitória) dos parasitas. Esses seis compostos apresentaram valores de IC_{50} entre 2,6 e 60,6 μM para um período

de incubação de 48 horas. Comparativamente, a anfotericina B, um antibiótico poliênico macrocíclico que se liga a esteróis específicos do parasita (MACHADO *et al.*, 2015), que foi usado como controle positivo neste estudo, apresentou um valor de IC_{50} de $0,1 \mu\text{M}$ em 48 horas. Embora a anfotericina B seja eficaz no tratamento da leishmaniose ela é altamente tóxica e o uso deste antibiótico pode causar nefrotoxicidade e insuficiência renal (NASCIMENTO *et al.*, 2010).

Quando foram comparadas as porcentagens de inibição do crescimento das formas promastigotas de *L. (L.) amazonensis* pelos compostos **5a-5l**, observou-se que a atividade leishmanicida diminuiu quando o anel aromático benzênico é substituído por um anel furano, como no caso dos compostos **5a** (55%) e **5j** (25%). O mesmo ocorre quando o grupo acetamido dos peptoides é substituído por um grupo *n*-alquilamido de cadeia longa, como no caso do composto **5l** (24%). Quando os valores de IC_{50} foram relacionados com as estruturas desses peptoides, observa-se que a atividade leishmanicida é maior para as benzamidas do que para as acetamidas, como no caso dos compostos **5a** ($IC_{50} = 60,6 \mu\text{M}$) e **5d** ($IC_{50} = 2,6 \mu\text{M}$). No entanto, a presença de um grupo *N*-*sec*-butilacetamido aumenta muito a atividade leishmanicida em relação ao grupo *N*-*n*-butilacetamido, como no caso dos compostos **5a** ($IC_{50} = 60,6 \mu\text{M}$) e **5c** ($IC_{50} = 2,8 \mu\text{M}$). Por outro lado, a presença de um grupo *N*-(1-feniletil)acetamido diminui muito a atividade leishmanicida, como no caso do composto **5f** ($IC_{50} = 59 \mu\text{M}$). Apesar dessas considerações, novos estudos são necessários para investigar o mecanismo pelo qual essas substituições afetam a atividade leishmanicida dessa classe de compostos.

Em 2015, Katsuno e colaboradores (KATSUNO, 2015) estabeleceram alguns critérios para a classificação de moléculas, classificando-as em duas categorias: *hit* e *lead*. A categoria *hit* é uma molécula biorreativa e a categoria *lead* é uma molécula *hit* que foi otimizada e passou por melhorias nas propriedades farmacocinéticas e farmacodinâmicas. Além disso, para uma substância ser considerada *hit*, ela deve ter $IC_{50} < 10 \mu\text{M}$ [concentração inibitória alcançada pelos peptoides **5c** ($IC_{50} = 2,8 \mu\text{M}$), **5d** ($IC_{50} = 2,6 \mu\text{M}$) e **5i** ($IC_{50} = 7,9 \mu\text{M}$)]. Portanto, esses três peptoides apresentam potente atividade *in vitro* contra *L. (L.) amazonensis*, tornando os resultados obtidos bastante promissores. Além disso, recentemente foram identificados vários outros peptoides que apresentam atividade contra a forma promastigota de *Leishmania mexicana* com valores de $IC_{50} \leq 20 \mu\text{M}$ (EGGIMANN, BOLT, DENNY e COBB, 2015), (BOLT, EGGIMANN, DENNY e COBB, 2016), (BOLT, DENNY e COBB, 2016). Esses resultados fornecem evidências adicionais de que os peptoides podem ser uma nova classe promissora de agentes anti-infecciosos que, futuramente, terão grande utilidade como agentes leishmanicidas (ZULFIQAR, SHELPER e AVERY, 2017).

6 | CONCLUSÕES

Em resumo, nós apresentamos aqui um método fácil e eficiente para a obtenção rápida de alguns peptídeos funcionalizados, utilizando reações multicomponentes sob irradiação de microondas. A síntese dos compostos desejados foi realizada utilizando reagentes comercialmente baratos e resultou em tempos de reação bastante reduzidos quando comparados com os métodos tradicionais. Este método, usando a reação de Ugi 4CR assistida por micro-ondas, produziu peptídeos funcionalizados (compostos **5a-5l**) com bons rendimentos (55-80%). Todos os compostos obtidos foram testados *in vitro* contra formas promastigotas de *Leishmania (Leishmania) amazonensis*. Os resultados dos ensaios biológicos mostraram que os compostos **5a-5l** apresentam atividade leishmanicida variável dependendo de suas estruturas. A partir dos resultados obtidos é possível concluir que os peptídeos **5c**, **5d** e **5i**, apresentaram melhor atividade leishmanicida nas concentrações avaliadas (IC_{50} 2,6-7,9 μ M). Então, será necessário expandir o estudo para entender melhor as relações estrutura-atividades biológicas visando explorar a utilidade desse tipo de peptídeo.

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, R.M. *et al.*; **Multiple-component condensation strategies for combinatorial library synthesis**, *Accounts of Chemical Research*, v. 29, p. 123–131, 1996.
- BIENAYMÉ, H.; HULME, C.; ODDON, G.; SCHMITT, P.; **Maximizing synthetic efficiency: Multi-component transformations lead the way**, *Chemistry - A European Journal*, v. 6, p. 3321–3329, 2000.
- BOLT, H.L.; DENNY, P.W.; COBB, S.L.; **An efficient method for the synthesis of peptoids with mixed lysine-type/arginine-type monomers and evaluation of their anti-leishmanial activity**, *Journal of Visualized Experiments*, v. 117, e54750, p. 1–12, 2016.
- BOLT, H.L.; EGGIMANN, G.A.; DENNY, P.W.; COBB, S.L.; **Enlarging the chemical space of anti-leishmanials: A structure-activity relationship study of peptoids against *Leishmania mexicana*, a causative agent of cutaneous leishmaniasis**, *Medicinal Chemistry Communications*, v. 7, p. 799–805, 2016.
- DAI, W. *et al.*; **Structure-based design of antiviral drug candidates targeting the SARS-CoV-2 main protease**, *Science*, v. 368, p. 331–1335, 2020.
- DÖMLING, A.; **Recent developments in isocyanide based multicomponent reactions in applied chemistry**, *Chemical Reviews*, v. 106, p. 17–89, 2006.
- DÖMLING, A.; UGI, I.; **Multicomponent reactions with isocyanides**, *Angewandte Chemie International Edition*, v. 39, p. 3168–3210, 2000.
- DÖMLING, A.; WANG, W.; WANG, K.; **Chemistry and biology of multicomponent reactions**, *Chemical Reviews*, v. 112, p. 3083–3135, 2012.

DONATE, P.M.; RODRIGUES, S.; **Uso de processos multicomponentes na síntese de de novos peptoides de interesse biológico**, *Projeto FAPESP 2015/05627-7*. Resultados não publicados.

EGGIMANN, G.A.; BOLT, H.L.; DENNY, P.W.; COBB, S.L.; **Investigating the anti-leishmanial effects of linear peptoids**. *ChemMedChem*, v. 10, p. 233–237, 2015.

HUANG, Y.; YAZBAK, A.; DÖMLING, A.; *In Green Techniques for Organic Synthesis and Medicinal Chemistry*, Zhang, W.; Cue Jr., B.W. (eds.); Wiley: Chichester, p. 497–522, 2012.

HULME, C.; GORE, V.; **Multi-component reactions: emerging chemistry in drug discovery from xylocaine to crivivan**, *Current Medicinal Chemistry*, v. 10, p. 51–80, 2003.

KATSUNO, K. *et al.*; **Hit and lead criteria in drug discovery for infectious diseases of the developing world**, *Nature Reviews Drug Discovery*, v. 14, p. 751–758, 2015.

KOUTSOPOULOS, S. (ed.); **Peptide Applications in Biomedicine, Biotechnology and Bioengineering**, Woodhead Publishing, Elsevier: Duxford, 2018.

LOUPY, A. (ed.); **Microwaves in Organic Synthesis**, 2ª edição, Wiley-VCH: Weinheim, 2006.

MACHADO, P.R.L. *et al.*; **Treatment of disseminated leishmaniasis with liposomal amphotericin B**, *Clinical Infectious Diseases*, v. 61, p. 945–949, 2015.

NASCIMENTO, R.C.Z. *et al.*; **In vitro sensitivity of *Leishmania (Viannia) braziliensis* and *Leishmania (Leishmania) amazonensis* Brazilian isolates to meglumine antimoniate and amphotericin B**, *Tropical Medicine & International Health*, v. 15, p. 68–76, 2010.

OSTERGAARD, S.; HOLM, A.; **Peptomers: a versatile approach for the preparation of diverse combinatorial peptidomimetic bead libraries**, *Molecular Diversity*, v. 3, p. 17–27, 1997.

PANDA, S.S.; EL-NACHEF, C.; BAJAJ, K.; KATRITZKY, A.R.; **Syntheses of hydrazino peptides and conjugates**, *European Journal of Organic Chemistry*, p. 4156–4162, 2013.

PASSERINI, M.; **Sopra gli isonitrili (I). Composto del *p*-isonitril-azobenzolo con acetone ed acido acético**, *Gazzetta Chimica Italiana*, v. 51, p. 126–129, 1921A.

PASSERINI, M.; **Sopra gli isonitrili (II). Composti con aldeidi o con chetoni ad acidi organici monobasici**, *Gazzetta Chimica Italiana*, v. 51, p. 181–189, 1921B.

PREVIDI, D.; RODRIGUES, S.; COELHO, M.G.; CANDIDO, A.C.B.B.; MAGALHÃES, L.G.; DONATE, P.M.; **Synthesis and antileishmanial activity of some functionalized peptoids**, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 30, p. 1334–1340, 2019.

ROCHA, R.O.; RODRIGUES, M.O.; NETO, B.A.D.; **Review on the Ugi multicomponent reaction mechanism and the use of fluorescent derivatives as functional chromophores**, *ACS Omega*, v. 5, p. 972–979, 2020.

SEO, J.; BARRON, A.E.; ZUCKERMANN, R.N.; **Novel peptoid building blocks: Synthesis of functionalized aromatic helix-inducing submonomers**, *Organic Letters*, v. 12, p. 492–495, 2010.

- SILVA, E.H.B.; EMERY, F.S.; DEL PONTE, G.; DONATE, P.M.; **Synthesis of some functionalized peptomers via Ugi four-component reaction**, *Synthetic Communications*, v. 45, p. 1761–1767, 2015.
- SINHA, M.K.; KHOURY, K.; HERDTWECK, E.; DÖMLING, A.; **Various cyclization scaffolds by a truly Ugi 4-CR**, *Organic & Biomolecular Chemistry*, v. 11, p. 4792–4796, 2013.
- SURATI, M.A.; JAUHARI, S.; DESAI, K.R.; **A brief review: Microwave assisted organic reaction**, *Archives of Applied Science Research*, v. 4, p. 645–661, 2012.
- UGI, I.; DÖMLING, A.; HÖRL, W.; **Multicomponent reactions in organic chemistry**, *Endeavour*, v. 18, p. 115–122, 1994.
- UGI, I.; MEYR, R.; **Neue Darstellungsmethode für Isonitrile**, *Angewandte Chemie*, v. 70, p. 702–703, 1958.
- UGI, I.; **Recent progress in the chemistry of multicomponent reactions**, *Pure and Applied Chemistry*, v. 73, p. 187–191, 2001.
- UGI, I.; **The α -addition of immonium ions and anions to isonitriles accompanied by secondary reactions**, *Angewandte Chemie International Edition*, v. 1, p. 8–21, 1962.
- VAGNER, J.; QU, H.; HRUBY, V.J.; **Peptidomimetics, a synthetic tool of drug discovery**, *Current Opinion in Chemical Biology*, v. 12, p. 292–296, 2008.
- YOO, B.; KIRSHENBAUM, K.; **Peptoid architectures: elaboration, actuation, and application**, *Current Opinion in Chemical Biology*, v. 12, p. 714–721, 2008.
- ZHANG, J. *et al.*; **Effect of caspase inhibitor Ac-DEVD-CHO on apoptosis of vascular smooth muscle cells induced by artesunate**, *AIMS Bioengineering* v. 1, p. 13–24, 2014.
- ZHU, J.; WANG, Q.; WANG, M. (ed.); **Multicomponent Reactions in Organic Synthesis**, Wiley-VCH: Weinheim, 2014.
- ZUCKERMANN, R.N.; KODADEK, T.; **Peptoids as potential therapeutics**, *Current Opinion in Molecular Therapeutics*, v. 11, p. 299–307, 2009.
- ZUCKERMANN, R.N.; **Peptoid origins**, *Peptide Science*, v. 96, p. 545–555, 2011.
- ZULFIQAR, B.; SHELPER, T.B.; AVERY, V.M.; **Leishmaniasis drug discovery: Recent progress and challenges in assay development**, *Drug Discovery Today*, v. 22, p. 1516–1531, 2017.

CAPÍTULO 17

REAÇÃO DE DEBUS-RADZISZEWSKI – RELEVANTE METODOLOGIA PARA A SÍNTESE DE 1,3-IMIDAZÓIS E 1,3-OXAZÓIS

Data de aceite: 01/02/2022

Sidney Silva Simplicio

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/3330976249968656>

Victória Laysna dos Anjos Santos

Programa de Doutorado em Biotecnologia – Rede Nordeste de Biotecnologia
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/7950494299600778>

Cristiane Costa Lima

Colegiado de Ciências Farmacêuticas,
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/2290622088607350>

Matheus Vieira Castro

Colegiado de Ciências Farmacêuticas,
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5869940012740368>

Arlan de Assis Gonsalves

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5431415076004332>

Cleônia Roberta Melo Araújo

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/0345962384656771>

RESUMO: A reação de Debus-Radziszewski é uma metodologia eficiente para a síntese dos heterociclos imidazol e oxazol. Em razão das atividades biológicas apresentadas por moléculas que possuem o núcleo imidazol, este é considerado uma estrutura privilegiada do ponto de vista da Química Medicinal. Já os compostos contendo o heterociclo oxazol possuem propriedades fotofísicas que os tornam promissores para o desenvolvimento de materiais fluorescentes com possibilidade de aplicação em tecnologia e em medicina. A relevância dos heterociclos imidazol e oxazol levou os pesquisadores a voltarem os reforços ao aperfeiçoamento das condições reacionais da reação de Debus-Radziszewski. E este trabalho apresenta as principais adaptações que essa metodologia sofreu ao longo dos anos. Os trabalhos encontrados mostram que os imidazóis e oxazóis mono, di e trissubstituídos, bem como, imidazóis tetrassubstituídos podem ser obtidos através da reação de Debus-Radziszewski. E o grau de substituição dos heterociclos depende do composto α -dicarbonílico e do aldeído empregados na reação. Com o intuito de melhorar os rendimentos reacionais, gerar seletividade, reduzir os tempos de reação e utilizar fontes de energia alternativas, os pesquisadores realizaram

modificações no agente fornecedor de amônia, da fonte de energia, e empregaram diferentes solventes e catalisadores.

PALAVRAS-CHAVE: Reações Multicomponentes; Naftoimidazol; Naftoxazol; Síntese Orgânica; Química Medicinal.

DEBUS-RADZISZEWSKI REACTION - RELEVANT METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF 1,3-IMIDAZOLES AND 1,3-OXAZOLES

ABSTRACT: Debus-Radziszewski reaction is an efficient methodology for the synthesis of the imidazole and oxazole heterocycles. Due to the biological activities presented by molecules that have an imidazole nucleus, this is considered a privileged structure from the point of view of Medicinal Chemistry. The compounds containing the heterocycle oxazole have photophysical properties that are promising for the development of fluorescent materials with the possibility of application in technology and medicine. The relevance of the imidazole and oxazole heterocycles led the researchers to focus on improving the reaction conditions of the Debus-Radziszewski reaction. And this review presents the main adaptations that this methodology has undergone over the years. The papers found show that mono, di and trisubstituted imidazoles and oxazoles, as well as tetrasubstituted imidazoles can be obtained through the Debus-Radziszewski reaction. And the degree of substitution of heterocycles depends on the α -dicarbonyl compound and of the aldehyde used in the reaction. In order to improve reaction yields, generate selectivity, reduce reaction times and use alternative energy sources, the researchers carried out modifications in the ammonia supplier agent, the energy source, and used different solvents and catalysts.

KEYWORDS: Multicomponent Reactions; Naphthoimidazol; Naphthoxazol; Organic Synthesis; Medicinal Chemistry.

1 | INTRODUÇÃO

A Química é um importante instrumento para o desenvolvimento social, dentre as suas principais áreas, a Química Orgânica e a Medicinal são de relevância singular para esse desenvolvimento (CORREIA; COSTA; FERREIRA, 2002). Antes do surgimento da Síntese Orgânica, a obtenção de substâncias terapêuticas era realizada principalmente por processos de fermentação ou isolamento de fontes naturais (SANGI, 2016). Assim, o desenvolvimento da Química Medicinal encontrava-se vinculado ao uso de produtos naturais para fins terapêuticos (NOGUEIRA; MONTANARI; DONICI, 2009). Com o surgimento da Síntese Orgânica, a preparação de compostos candidatos a fármacos, consolidou-se como importante parte no processo de descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos (SANGI, 2016).

Historicamente, a síntese da ureia realizada em 1828 por F. Wöhler e foi fundamental para a origem da Química Orgânica Sintética (CORREIA; OLIVEIRA, 2011). Outro importante marco sintético foi a produção da mauveína, realizada por W. H. Perkin em 1856. A síntese da mauveína estabeleceu uma forte associação entre Química Orgânica

e Química Medicinal, a muveína é um corante que foi obtido de forma não pretenciosa, quando se almejava sintetizar o quinino para fins medicinais, pois mostrou a importância do desenvolvimento racional e científico de novos compostos bioativos (CORREIA; COSTA; FERREIRA, 2002).

Em 1850, Strecker relatou um protocolo sintético de uma reação realizada em que os reagentes eram adicionados em única etapa (STRECKER, 1850). Posteriormente, reações de síntese que utilizavam metodologias como essa foram chamadas de Reações Multicomponentes (RMCs). As RMCs são definidas como reações, onde três ou mais componentes são adicionados juntos para reagirem em uma reação convergente, onde o produto final apresenta a maioria dos átomos dos reagentes de partida (ALEGRE-REQUENA; MARQUÉS-LÓPEZ; HERRERA, 2015).

A reação de Debus-Radziszewski é um exemplo de RMC, essa metodologia possibilita a obtenção de dois produtos heterocíclicos, o imidazol e o oxazol, estruturas importantes para a Química Medicinal, em razão das atividades farmacológicas e propriedades fotofísicas atribuídas aos seus derivados (DIAS *et al.*, 2021). Desse modo, a presente revisão teve como objetivo abordar, do ponto de vista sintético, a reação de Debus-Radziszewski, enfatizando as principais adaptações que essa metodologia sofreu ao longo dos anos na síntese de derivados imidazólicos e oxazólicos. Assim, os artigos encontrados foram organizados pontuando as principais adaptações descritas na literatura para esta reação a fim de otimizar variáveis como o tempo reacional, o rendimento dos produtos obtidos e conseqüentemente o custo da sua realização.

Desse modo, a presente revisão teve como objetivo abordar, do ponto de vista sintético, a reação de Debus-Radziszewski, enfatizando as principais adaptações que essa metodologia sofreu ao longo dos anos na síntese de derivados imidazólicos e oxazólicos. Assim, os artigos encontrados foram organizados pontuando as principais adaptações descritas na literatura para esta reação a fim de otimizar variáveis como o tempo reacional, o rendimento dos produtos obtidos e conseqüentemente o custo da sua realização.

Desse modo, a presente revisão teve como objetivo abordar, do ponto de vista sintético, a reação de Debus-Radziszewski, enfatizando as principais adaptações que essa metodologia sofreu ao longo dos anos na síntese de derivados imidazólicos e oxazólicos. Assim, os artigos encontrados foram organizados pontuando as principais adaptações descritas na literatura para esta reação a fim de otimizar variáveis como o tempo reacional, o rendimento dos produtos obtidos e conseqüentemente o custo da sua realização.

2 | OS HETEROCICLOS IMIDAZOL E OXAZOL

O núcleo imidazol (Figura 1) é caracterizado como um anel heterocíclico de cinco membros, sendo um átomo de nitrogênio do tipo pirrólico na posição 1 e outro do tipo piridínico, localizado na posição 3. A presença desses nitrogênios, conferem ao núcleo

o imidazol um caráter anfótero, sendo ele capaz de atuar como ácido ou base de Lewis (GRIMMETT, 2002; GÂZ; BODA; POP, 2020). O núcleo oxazol, por sua vez, é um isostéro do imidazol (LU *et al.*, 2012), que possui um oxigênio substituindo o nitrogênio pirrólico (Figura 1). Sua estrutura permite que derivados oxazólicos exibam um amplo potencial de aplicação em diversos campos, como na medicinal e na química supramolecular e de materiais (ZHANG; ZHAO; ZHOU, 2018).

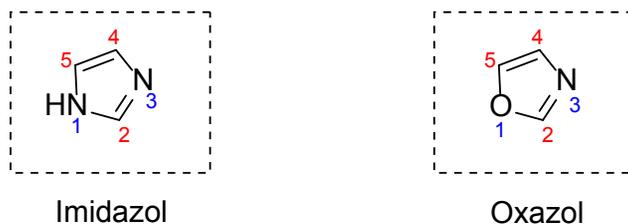


Figura 1 – Heterociclo imidazol e oxazol.

Fonte: O autor (2021).

A natureza anfotérica do heterociclo imidazol, o torna suscetível a ataques eletrofílicos e nucleofílicos (ROMERO *et al.*, 2014). Os estudos apontam que a sua suscetibilidade a ataques eletrofílicos ocorra nas posições C2, C4 e C5 (Figura 1), por meio de reações como nitração, halogenação, sulfonação e hidroximetilação. Além disso, uma variedade de eletrófilos podem atacar o nitrogênio da sua estrutura, por reações do tipo *N*-alquilação, *N*-acilação *N*-arilação, dentre outras. O C2 também é suscetível a ataques nucleofílicos, embora isso acabe exigindo uma ativação considerável, no qual substituintes e reagentes podem exercer efeitos importantes nessa reatividade (GRIMMETT, 2002).

Do ponto de vista estrutural e sintético, o núcleo base oxazol é um heterociclo aromático que possui três pontos potenciais de substituição eletrofílica, C2, C4 e C5 (Figura 1), no qual o ataque ocorre preferencialmente em C5. A reatividade do núcleo permite que o nitrogênio presente na estrutura possa sofrer uma série de reações como desprotonação, aminação, além de ter alta afinidade para sofrer acilação e alquilação. Já as reações de substituição nucleofílica no anel oxazol são incomuns (JOSHI; BISHT; JUYAL, 2017).

A aromaticidade tanto do núcleo imidazol quanto do oxazol pode ser estendida quando são substituídos nas posições C4 e C5 por anéis aromáticos, e a depender da extensão desse anel podem ser formados os derivados benzoimidazóis e benzoxazóis, naftoimidazóis e naftoxazóis ou fenantroimidazóis e fenantroxazóis (Figura 2). O benzimidazol, por exemplo, é um composto heteroaromático bicíclico, formado a partir da fusão do benzeno com um heterociclo imidazol (BELTRAN-HORTELANO *et al.*, 2020), enquanto o benzoxazol é um composto heteroaromático bicíclico do benzeno fundido com o oxazol (SATTAR *et al.*, 2020).

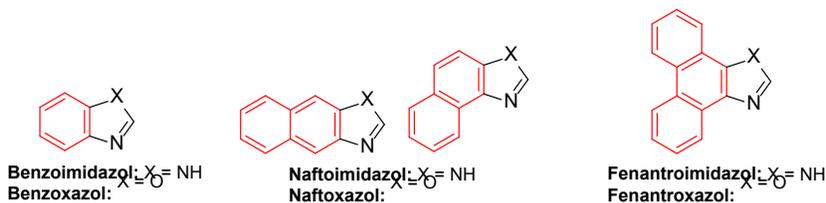


Figura 2 - Classificação dos imidazóis e oxazóis de acordo com o número de anéis aromáticos conjugados.

Fonte: O autor (2021).

Os imidazóis são constituintes de várias substâncias de ocorrência natural (KERRU *et al.*, 2019), sendo um núcleo base de algumas biomoléculas, como a biotina, a histidina e o seu derivado descarboxilado, a histamina (GÂZ; BODA; POP, 2020). Os compostos contendo o heterociclo oxazol não apresentam muitas atividades biológicas, ao contrário dos seus isômeros, os heterociclos imidazolinícos. (DIAS *et al.*, 2021), No entanto, sua aplicação na Química Medicinal encontra-se em contínua investigação, sobretudo no que diz respeito a sua aplicação como sondas fluorescentes (DIAS *et al.*, 2015; DIAS *et al.*, 2016).

Atualmente, existem alguns fármacos que contêm os heterociclos imidazol ou oxazol em sua estrutura, como: o tafamidis (1), um fármaco para o tratamento de paramiloidose; o cetoconazol (2) e o miconazol (3), antifúngicos; a oxaprozina (4), um anti-inflamatório; o midazolam (5), um sedativo; e o omeprazol (6), um inibidor da bomba de prótons (Figura 3).

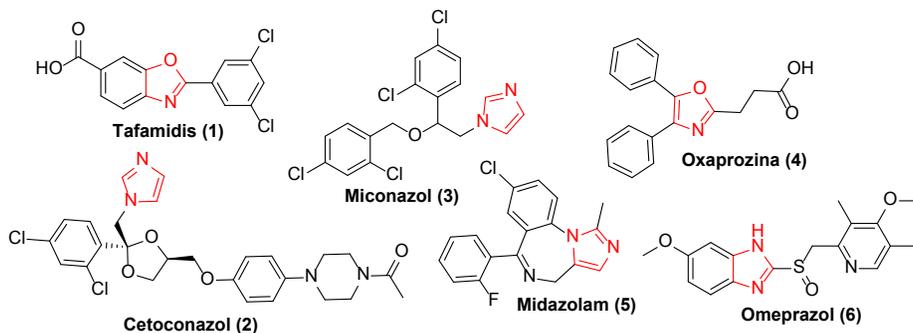


Figura 3 - Estrutura de fármacos contendo oxazol ou imidazol.

Fonte: O autor (2021).

Os derivados benzoimidazóis também são estruturas privilegiadas do ponto de vista da Química Medicinal, estando presente em uma série de drogas usadas clinicamente, como o omeprazol (6) e outros fármacos anticâncer, antibacterianos, antifúngicos, anti-

inflamatórios e antileishmania (KERI *et al.*, 2014). Aos derivados benzoxazólicos, como o tafamidis (**1**), são atribuídas algumas atividades farmacológicas como antibacteriana, anti-inflamatória, antifúngica e anticâncer (AGGARWAL *et al.*, 2017).

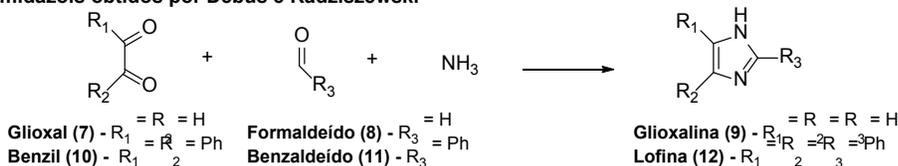
Já os derivados naftoimidazóis, outra extensão aromática do núcleo imidazol, atuam como antiparasitários, anti-inflamatórios, antibiofilme e antimicrobianos (ABRAHAM *et al.*, 2018). Os naftoxazóis, assim como os naftoimidazóis, têm sido investigados, principalmente como substâncias tripanocidas. Por outro lado, estudos biológicos com fenantroimidazol e fenantroxazol têm explorado as suas propriedades anticâncer e para o tratamento da Doença de Alzheimer (DIAS *et al.*, 2021).

3 I A REAÇÃO DE DEBUS-RADZISZEWSKI

A reação de Debus-Radziszewski é resultado dos trabalhos independentes de Debus e Radziszewski na síntese de imidazóis. Inicialmente, em 1858, Debus propôs a síntese da glioxalina (**9**), um 1,3-imidazol não substituído. Anos depois, em 1882, Radziszewski e colaboradores obtiveram a lofina (**12**), um imidazol 2,4,5-trissubstituído (SANTOS; GONSALVES; ARAÚJO, 2020). Em decorrência dos trabalhos desses dois pesquisadores, a reação de Debus-Radziszewski é uma das metodologias mais utilizadas para obtenção de imidazóis (Figura 4).

Em 1880, Japp e Wilcock, estudando a reatividade da fenantrenoquinona (**13**) frente a alguns aldeídos obtiveram um heterociclo oxazol ao reagir **13** com o benzaldeído (**11**) em solução aquosa de amônia, em tubo selado, e sob aquecimento (JAPP; WILCOCK, 1880). No ano seguinte, o heterociclo imidazol (**16**) foi preparado ao investigar a mesma reação, utilizando o salicilaldeído (**14**) (JAPP; WILCOCK, 1881). Com esses achados, Japp deduziu que essa metodologia reacional entre compostos α -dicarbonílicos, aldeídos e amônia, resultava na formação de estruturas contendo dois nitrogênios (**16**) ou um nitrogênio e um oxigênio (**15**) (JAPP, 1883) (Figura 4). Posteriormente, esses heterociclos foram chamados de imidazol e oxazol, respectivamente.

a) Imidazóis obtidos por Debus e Radziszewski



b) Azóis obtidos por Japp e Wilcock

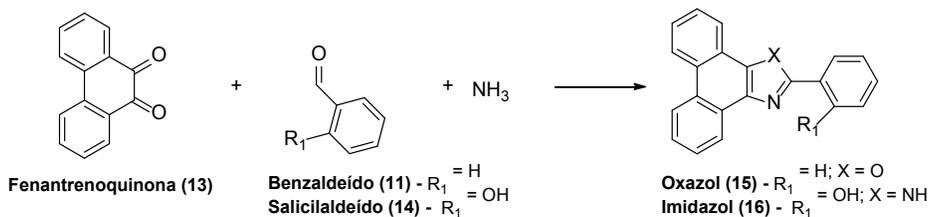


Figura 4 – Esquema das reações dos trabalhos de Debus, Radziszewski e Japp e Wilcock.

Fonte: O autor (2021).

3.1 Síntese de 1,3-imidazóis e 1,3-oxazóis substituídos

A reação de Debus-Radziszewski pode ser empregada na obtenção de 1,3-imidazóis e 1,3-oxazóis dissustituídos e trissustituídos, assim como imidazóis tetrassustituídos. Os derivados di e trissustituídos podem ser obtidos mediante a ciclocondensação *one pot* de três componentes usando diferentes compostos α -dicarbonílicos, aldeídos e uma fonte de amônia. Já a utilização de aminas primárias como o quarto componente da reação de Debus-Radziszewski possibilita a formação de derivados imidazólicos *N*-substituídos ou também chamados de imidazóis tetrassustituídos (Figura 5) (MUNÖZ; JONES JUNIOR; SILVA, 2014).

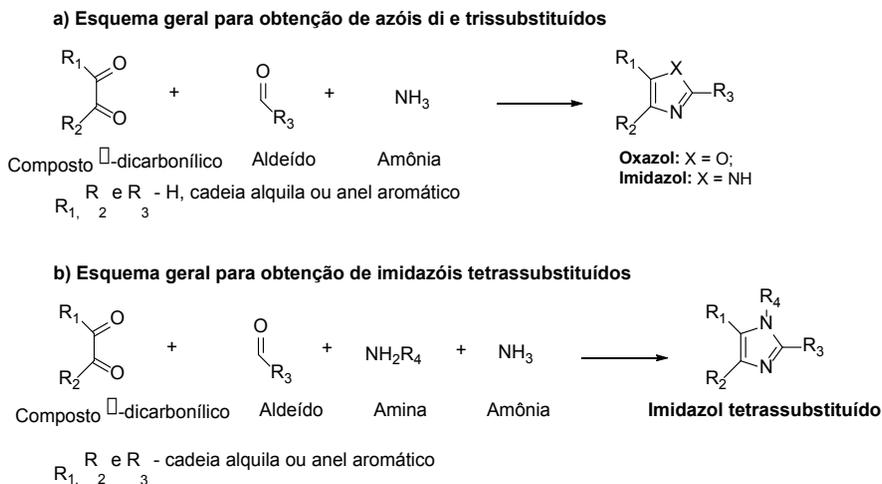


Figura 5 - Esquema geral de obtenção de imidazóis e oxazóis di e trissubstituídos, e imidazóis tetrassubstituídos

Fonte: O autor (2021).

3.2 Mecanismos propostos para a Reação de Debus-Radziszewski

A versatilidade da reação de Debus-Radziszewski se dá pela possibilidade de obter diferentes imidazóis ou oxazóis substituídos ao alterar os componentes da reação. Os núcleos imidazol ou oxazol formados via reação de Debus-Radziszewski terão diferentes substituintes nas posições C4 e C5, a depender do composto α -dicarbonílico empregado, já o substituinte em C2 é dependente do aldeído utilizado (Figura 1). Assim, uma infinidade de pares de isômeros com diferentes substituintes podem ser preparados a partir dessa metodologia.

Apesar de ser possível preparar tanto o núcleo imidazol como o oxazol por meio da reação de Debus-Radziszewski, ainda não foi determinado as condições que conduzem seletivamente a um azol específico (DIAS *et al.*, 2021). Com isso, a maioria dos mecanismos que tentam explicar como se processa a reação de Debus-Radziszewski evidenciam apenas a formação do núcleo imidazol (STECK; DAY, 1943; ACKE; ORRU; STEVENS, 2006; TEIMOURI; CHERMAHINI, 2011; HIGUERA; PEÑA-SOLÓRZANO; OCHOA-PUENTES, 2019).

Recentemente, Dias e colaboradores (2021) propuseram um mecanismo para explicar a formação do naftoimidazol (**26**) e do naftoxazol (**22**), derivados da β -lapachona (**18**) via reação de Debus-Radziszewski. Nesse caso, os núcleos naftoazólicos foram formados pela reação entre a β -lapachona (**18**) (composto α -dicarbonílico), benzaldeído (**11**) e acetato de amônio em presença de ácido acético (Figura 6).

Segundo os autores, inicialmente, o benzaldeído (**11**) reage com o acetato de

amônio em meio ácido para produzir o aminoálcool (17). Em seguida, a reação entre 17 e a β -lapachona (18) resulta na formação de um intermediário imino-álcool (19) e a partir desse intermediário, dois caminhos podem ser considerados. No primeiro, a tautomerização de 19 fornece a amida 20, que sofre uma heterociclicização intramolecular para o heterocíclico (21). Então, a desidratação e aromatização de 21 leva a formação do fenilnaftoxazol (22). Em uma segunda rota, o aminoálcool (19) reage com a amônia proveniente do acetato de amônio para fornecer (23), este tautomeriza formando a benzamida (24). O grupo amino de 24 é um bom nucleófilo que ataca a carbonila, levando a heterociclicização intramolecular (25), seguida por desidratação para fornecer o fenilnaftimidazol (26), (Figura 6) (DIAS *et al.*, 2021).

A obtenção do núcleo oxazol é menos explorada que a do imidazol, tanto que reação de Debus-Radziszewski é vista como uma das metodologias mais simples para sintetizar derivados imidazólicos (MUNÕZ; JONES JUNIOR; SILVA, 2014; SAXER *et al.*, 2018).

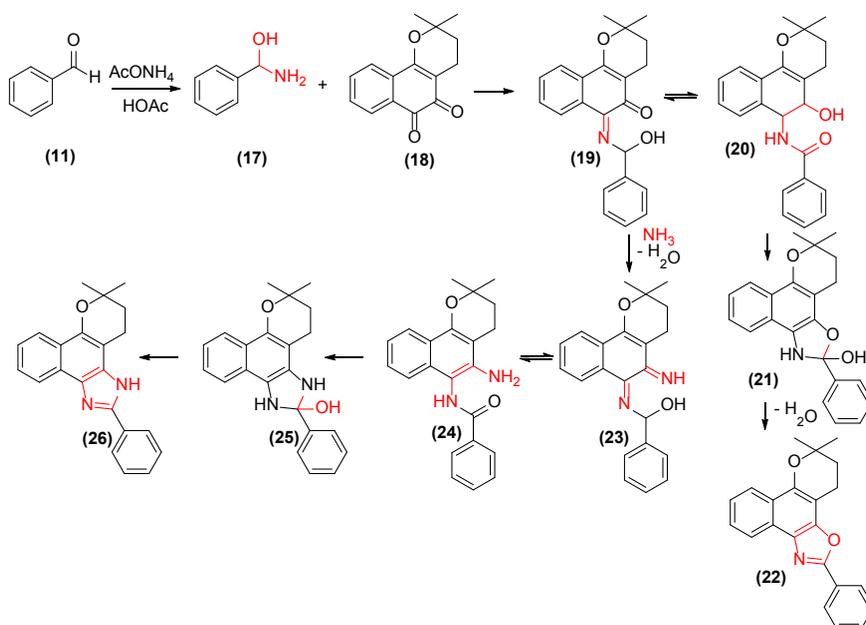


Figura 6 - Mecanismo proposto por Dias e colaboradores (2021) para a formação dos naftoazóis derivados da β -lapachona (18).

Fonte: Adaptado de DIAS *et al.*, (2021).

4 | ADAPTAÇÕES REACIONAIS PARA A REAÇÃO DE DEBUS-RADZISZEWSKI

A reação de Debus-Radziszewski vem sendo adaptada ao longo dos anos com o intuito de obter heterociclos com diferentes substituintes que possam ter diversas aplicações. Além disso, tais adaptações almejam melhores rendimentos reacionais e seletividade, redução dos tempos reacionais e uso de temperaturas mais brandas. Dentre as possíveis

adaptações, serão apresentadas nessa seção a alteração dos reagentes (*α*-dicarbonílicos, aldeídos e aminas), da fonte de nitrogênio e a variação de fontes de energia, emprego de solventes e catalisadores.

4.1 Modificação nos compostos *α*-dicarbonílicos, aldeídos e aminas

O sucesso na obtenção da glioxalina (**9**) e lofina (**12**) usando o benzil (**7**) e o glioxal (**10**), possibilitou que outros compostos *α*-dicarbonílicos fossem empregados à reação de Debus-Radziszewski para a preparação de heterociclos imidazólicos e oxazólicos substituídos. Durante a revisão, observou-se o emprego de uma variedade de compostos *α*-dicarbonílicos na reação de Debus-Radziszewski, tais como: *β*-lapachona (**18**), nor-*β*-lapachona (MOURA *et al.* 2012), fenantroquinona (**13**) (SINGH *et al.*, 2019), *α*-dicetonas com cadeias graxas (BOUCHAKOUR; DAAOU; DUGUET, 2021) e fenantrolina-5,6-diona (ESEOLA *et al.*, 2011).

Além dos compostos *α*-dicarbonílicos, diferentes aldeídos também foram empregados com o intuito de obter imidazóis e oxazóis substituídos em C2. Aldeídos aromáticos como o cinamaldeído (SRAVANI *et al.*, 2019), o benzaldeído, o 4-nitrobenzaldeído e o 2-nitrobenzaldeído (SANTOS *et al.*, 2021) foram aplicados em um número expressivo de trabalhos, com rendimentos satisfatórios.

Em 2017, Evjen e Fiksdahl sintetizaram uma variedade de derivados imidazólicos, empregando a reação de Debus-Radziszewski. Entre os produtos almejados, estava imidazóis di e trissubstituídos, sendo empregados quatro aldeídos alifáticos: o formaldeído, o acetaldeído, o propanal e o butanal; e quatro diferentes compostos *α*-dicarbonílicos: o diacetil, a pentan-2,3-diona, a hexan-2,3-diona e a hexan-3,4-diona. Neste estudo, os heterociclos di e trissubstituídos derivados de aldeídos alifáticos foram obtidos com rendimentos entre 18% e 69%. Com esses dados, os autores observaram uma tendência de diminuição dos rendimentos à medida que as cadeias alquilas foram aumentadas, tanto dos aldeídos empregados quanto dos compostos *α*-dicarbonílicos (EVJEN; FIKSDAHL, 2017).

Já com relação a modificação nas aminas para obtenção dos derivados imidazólicos *N*-substituídos, as referências encontradas apontam que podem ser empregadas tanto aminas alifáticas (MARZOUK *et al.*, 2017; EVJEN; FIKSDAHL, 2017) quanto aromáticas (ZIARANI *et al.*, 2018; HOSSEINI; KIASAT; FARHADI, 2019; VAID *et al.*, 2019).

4.2 Modificação da fonte de amônia

Uma das principais adaptações da reação de Debus-Radziszewski é a alteração da fonte de amônia, com o intuito de obter melhores rendimentos e condições reacionais mais eficientes. Em um estudo realizado em 2012 por Azizi, Dado e Amiri, foi avaliado o emprego de amônia e cinco diferentes sais de amônio para obtenção da lofina (**12**) via reação de Debus-Radziszewski. Dentre os sais de amônio empregados pelos autores, o acetato de

amônio foi o sal que promoveu o maior rendimento, 97%, sendo superior a própria amônia, conforme apresentado na Tabela 1 (AZIZI; DADO; AMIRI, 2012).

c1ccccc1C(=O)C(=O)c2ccccc2 (10) + c1ccccc1C=O (11) $\xrightarrow[\text{X = F; Cl; NO}_3; \text{SO}_4; \text{OAc}]{\text{NH}_3 / \text{NH}_4\text{X}}$ c1ccccc1C2=CN(C=C2)c3ccccc3 (12)

Amina/sais de amônio	Rendimento (%)
NH ₃	20
NH ₄ F	40
NH ₄ Cl	0
NH ₄ NO ₃	0
(NH ₄) ₂ SO ₄	15
NH ₄ OAc	97

Tabela 1 - Rendimentos obtidos por Azizi, Dado e Amiri (2012) empregando diferentes fontes de amônia na reação de Debus-Radziszewski para síntese da lofina.

Fonte: Adaptado de por Azizi, Dado e Amiri (2012).

Em 2019, Rossi e colaboradores analisaram a utilização do acetato de amônio em reações de ciclocondensação para obtenção de imidazóis tetrassubstituídos. (ROSSI *et al.*, 2019).

4.3 Variação de fonte de energia, solvente, e uso de catalisador

Os primeiros relatos do emprego da reação de Debus-Radziszewski mostravam a reação acontecendo sob aquecimento convencional e longos tempos reacionais. Visando promover melhores rendimentos em tempos reacionais mais curtos, novas abordagens têm surgido, como: utilização de catalisadores, síntese assistida por micro-ondas ou síntese promovida por ultrassom.

Alguns catalisadores já foram testados e lograram sucesso na reação de Debus-Radziszewski, tais como: iodo (KIDWAI *et al.*, 2007), cobre (KADU *et al.*, 2021), ácido láctico (SRAVANI *et al.*, 2018; SONAR *et al.*, 2019), ácido bórico (ZANG *et al.*, 2016) e ácido acético (SINGH *et al.*, 2019).

Em 2015, Ziarani e colaboradores obtiveram derivados imidazólicos tetrassubstituídos utilizando duas aminas aromáticas: a anilina e a benzilamina, sob a catálise heterogênea utilizando sílica funcionalizada com ácido sulfônico (SiO₂-Pr-SO₃H), em condições *solvent free* a 140 °C, com tempo reacional entre 10 min a 2,5 h e rendimentos entre 92-98%.

Em seu trabalho, Higuera, Peña-Solórzano e Ochoa-Puentes (2019) demonstraram que uma mistura eutética de cloreto de zinco - ureia é capaz de catalisar a síntese de

2,4,5-triaril-1*H*-imidazóis a partir de diferentes aldeídos aromáticos e acetato de amônio. Neste estudo, também foi realizada a síntese de 2-aril-1*H*-fenantro[9,10-*d*]imidazóis a partir da fenantrenoquinona (**13**) com diferentes aldeídos aromáticos e acetato de amônio. As reações aconteceram em 30 minutos, e temperatura de 110°C, os nove derivados 2-aril-1*H*-fenantro[9,10-*d*]imidazóis e os dezesseis derivados 2,4,5-triaril-1*H*-imidazóis foram obtidos com rendimentos entre 75 e 100%.

Khosropour (2008) buscando desenvolver a síntese de imidazóis 2,4,5-trissubstituídos, propôs um procedimento simples, eficiente e verde. No trabalho, foram sintetizados vários imidazóis através de uma reação catalisada por acetilacetato de zircônio (IV) (Zr(acac)₄), sob irradiação ultrassônica à temperatura ambiente e tempo reacional entre 20 e 85 min. Ainda, buscando avaliar qual a influência da irradiação do ultrassom nos rendimentos dos produtos, as reações foram realizadas seguindo dois protocolos: o primeiro sob irradiação de ultrassom à temperatura ambiente (método A) e o segundo sob condições de refluxo (método B). Comparando os dois métodos, concluíram que os rendimentos são melhorados quando se utiliza o protocolo do método A, em que a fonte de energia convencional é substituída pela irradiação de ultrassom (Figura 7).

A irradiação ultrassônica também foi empregada por Arafa (2018). O pesquisador propôs a síntese de imidazóis trissubstituídos utilizando diversos aldeídos (aromáticos e alifáticos) via reação de Debus-Radziszewski, utilizando um líquido iônico como catalizador, o [DABCO-DOL][OAc]. A metodologia foi utilizada com sucesso tanto para aldeídos aromáticos quanto alifáticos com rendimentos ótimos (95-99%) e tempos expressivamente baixos, variando entre 4-8 minutos. Ainda, observou-se que o catalisador poderia ser usado até sete vezes sem perda significativa de atividade.

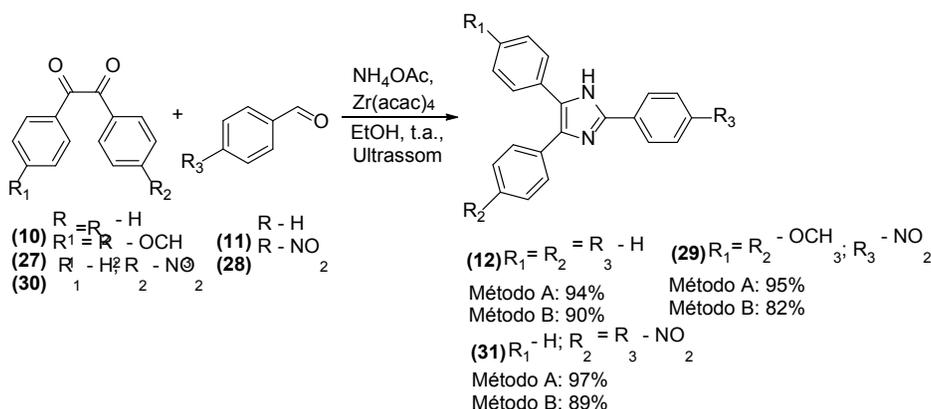


Figura 7 – Esquema da reação de obtenção de imidazóis 2,4,5-trissubstituídos.

Fonte: adaptado de Khosropour (2008).

Khan e Siddiqui (2015) utilizaram irradiação de micro-ondas e quitosana ácida

funcionalizada (quitosana-SO₃H) como catalisador na síntese de derivados imidazólicos trissubstituídos. Por meio desse protocolo foram obtidos imidazóis com tempos reacionais curtos (5 -15 min) e bons rendimentos (89 - 96%).

Visando tornar a reação de Debus-Radziszewski uma metodologia ambientalmente amigável, pesquisadores têm se dedicado a substituir os solventes orgânicos por água (NIKOOFFAR *et al.*, 2015; BANSAL; SONI; HALVE, 2018), ou realizar a reação *solvent free* (KONG *et al.*, 2010; PRADHAN *et al.*, 2016).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reação de Debus-Radziszewski é uma RMC que tem como produtos os heterociclos imidazol e oxazol. Esses heterociclos têm importância para a Química Medicinal e no desenvolvimento de compostos fluorescentes, o que desperta o interesse da comunidade científica por esses heterociclos. Assim, a reação de Debus-Radziszewski sofreu diversas adaptações ao longo dos anos, entre essas, se destaca a modificação do composto α -dicarbonílico e do aldeído, a utilização de diferentes sais para a geração de amônia, a fonte de energia, catalisadores e vários solventes.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, R. *et al.* **A novel series of N-acyl substituted indole-linked benzimidazoles and naphthoimidazoles as potential anti-inflammatory, anti-biofilm and anti-microbial agents.** *Microbial pathogenesis*, v. 114, p. 409-413, 2018.

ACKE, D. R. J; ORRU, R. V. A; STEVENS, C. V. **Continuous synthesis of tri-and tetrasubstituted imidazoles via a multicomponent reaction under microreactor conditions.** *QSAR & Combinatorial Science*, v. 25, n. 5-6, p. 474-483, 2006.

AGGARWAL, N. *et al.* **Biologically active Benzoxazole:** A comprehensive review. *International Journal of Pharmaceutical Science and Research*, v. 2, n. 2, p. 1-15, 2017.

ALEGRE-REQUENA, J. V.; MARQUÉS-LÓPEZ, E.; HERRERA, R. P. Introduction: **Multicomponent Strategies.** *Multicomponent Reactions: Concepts and Applications for Design and Synthesis*, p. 1-15, 2015.

ARAFA, W. A. A. **An eco-compatible pathway to the synthesis of mono and bis-multisubstituted imidazoles over novel reusable ionic liquids: an efficient and green sonochemical process.** *RSC advances*, v. 8, n. 29, p. 16392-16399, 2018.

AZIZI, N.; DADO, N.; AMIRI, A. K. **Highly efficient one-pot synthesis of trisubstituted imidazoles under catalyst-free conditions.** *Canadian Journal of Chemistry*, v. 90, n. 2, p. 195-198, 2012.

BANSAL, R.; SONI, P. K.; HALVE, A. K. **Green Synthesis of 1, 2, 4, 5-Tetrasubstituted and 2, 4, 5-Trisubstituted Imidazole Derivatives Involving One-pot Multicomponent Reaction.** *Journal of Heterocyclic Chemistry*, v. 55, n. 6, p. 1308-1312, 2018.

BELTRAN-HORTELANO, I. *et al.* **The role of imidazole and benzimidazole heterocycles in Chagas disease: A review.** *European Journal of Medicinal Chemistry*, p. 112692, 2020.

BOUCHAKOUR, M.; DAAOU, M.; DUGUET, N. **Synthesis of imidazoles from fatty 1, 2-diketones.** *European Journal of Organic Chemistry*, v. 2021, n. 11, p. 1647-1652, 2021.

CORREIA, C. R. D.; COSTA, P. R. R.; FERREIRA, V. F. **“Vinte e cinco anos de reações, estratégias e metodologias em química orgânica.”** *Química nova* 25 (2002): 74-81.

CORREIA, C. R. D.; OLIVEIRA, C. C. **“A evolução da química orgânica sintética: Quo vadis?.”** *Ciência e Cultura*, 63, 1 (2011): 33-36.

DIAS, G. G. *et al.* **Selective endocytic trafficking in live cells with fluorescent naphthoxazoles and their boron complexes.** *Chemical Communications*, v. 51, n. 44, p. 9141-9144, 2015.

DIAS, G. G. *et al.* **Fluorescent oxazoles from quinones for bioimaging applications.** *RSC advances*, v. 6, n. 79, p. 76056-76063, 2016.

DIAS, G. G. *et al.* **Imidazoles and Oxazoles from Lapachones and Phenanthrene-9, 10-dione: A Journey through their Synthesis, Biological Studies, and Optical Applications.** *The Chemical Record*, 2021.

ESEOLA, A. O. *et al.* **Luminescent properties of some imidazole and oxazole based heterocycles: Synthesis, structure and substituent effects.** *Dyes and Pigments*, v. 88, n. 3, p. 262-273, 2011.

EVJEN, S.; FIKSDAHL, A. **Syntheses of polyalkylated imidazoles.** *Synthetic Communications*, v. 47, n. 15, p. 1392-1399, 2017.

GÂZ, A. Ş.; BODA, F. A.; POP, R. R. **Imidazole Derivatives and their Antibacterial Activity- a Mini-Review.** *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 2020.

GRIMMETT, M. R. Product class 4: **benzimidazoles.** *Science of synthesis*, v. 12, p. 325-528, 2002.

HIGUERA, N. L.; PEÑA-SOLÓRZANO, D.; OCHOA-PUENTES, C. **Urea–zinc chloride eutectic mixture-mediated one-pot synthesis of imidazoles: efficient and ecofriendly access to trifenagrel.** *Synlett*, v. 30, n. 02, p. 225-229, 2019.

HOSSEINI, S.; KIASAT, A. R.; FARHADI, A. **Fe₃O₄@SiO₂/Bipyridinium Nanocomposite as a Magnetic and Recyclable Heterogeneous Catalyst for the Synthesis of Highly Substituted Imidazoles Via Multi-Component Condensation Strategy.** *Polycyclic Aromatic Compounds*, v. 41, n. 4, p. 761-771, 2021.

JAPP, F. R. **On Condensations of Compounds which contain the Dycarbonyl-group with Aldehydes and Ammonia.** *Journal of Chemistry Society, Transactions*. [s.l.], v. 43, p. 197-200. 1883.

JAPP, F. R.; WILCOCK, E. **On the Action of Benzaldehyde on Phenanthraquinone, both alone and in presence of Ammonia.** *Journal of Chemistry Society, Transactions*. [s.l.], v. 37, p. 661-672. 1880.

JAPP, F. R.; WILCOCK, E. **On the Action of Aldehydes on Phenanthraquinone in presence of Ammonia (Second Notice)**. Journal of Chemistry Society, Transactions. [s.l.], v. 39, p. 225-228, 1881.

JOSHI, S.; BISHT, A. S.; JUYAL, D. **Systematic scientific study of 1, 3-oxazole derivatives as a useful lead for pharmaceuticals: A review**. The Pharma Innovation, v. 6, n. 1, Part B, p. 109, 2017.

KADU, V. D. *et al.* **Simple practical method for synthesis of trisubstituted imidazoles: an efficient copper catalyzed multicomponent reaction**. RSC Advances, v. 11, n. 36, p. 21955-21963, 2021.

KERI, R. S. *et al.* **Comprehensive review in current developments of benzimidazole-based medicinal chemistry**. Chemical biology & drug design, v. 86, n. 1, p. 19-65, 2015.

KERRU, N. *et al.* **Recent advances in heterogeneous catalysts for the synthesis of imidazole derivatives**. Synthetic Communications, v. 49, n. 19, p. 2437-2459, 2019.

KHAN, K.; SIDDIQUI, Z. N. **An efficient synthesis of tri-and tetrasubstituted imidazoles from benzils using functionalized chitosan as biodegradable solid acid catalyst**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 54, n. 26, p. 6611-6618, 2015.

KHOSROPOUR, A. R. **Ultrasound-promoted greener synthesis of 2, 4, 5-trisubstituted imidazoles catalyzed by Zr(acac)₄ under ambient conditions**. Ultrasonics Sonochemistry, v. 15, n. 5, p. 659-664, 2008.

KIDWAI, M. *et al.* **One-pot synthesis of highly substituted imidazoles using molecular iodine: A versatile catalyst**. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, v. 265, n. 1-2, p. 177-182, 2007.

KONG, L. *et al.* **Efficient synthesis of imidazoles from aldehydes and 1, 2-diketones under superheating conditions by using a continuous flow microreactor system under pressure**. Organic Process Research & Development, v. 14, n. 4, p. 902-904, 2010.

LU, X. *et al.* **Synthesis and evaluation of anti-tubercular and antibacterial activities of new 4-(2, 6-dichlorobenzyloxy) phenyl thiazole, oxazole and imidazole derivatives. Part 2**. European journal of medicinal chemistry, v. 49, p. 164-171, 2012.

MARZOUK, A. A.; ABU-DIEF, A. M.; ABDELHAMID, A. A. **Hydrothermal preparation and characterization of ZnFe₂O₄ magnetic nanoparticles as an efficient heterogeneous catalyst for the synthesis of multi-substituted imidazoles and study of their anti-inflammatory activity**. Applied Organometallic Chemistry, v. 32, n. 1, p. e3794, 2018.

MOURA, K. C. G. *et al.* **1,3-Azoles from ortho-naphthoquinones: synthesis of aryl substituted imidazoles and oxazoles and their potent activity against Mycobacterium tuberculosis**. Bioorganic & medicinal chemistry, v. 20, n. 21, p. 6482-6488, 2012.

MUNÓZ, J. A. H.; JONES JUNIOR, J.; SILVA, F. M. **Radziszewski reaction: an elegant, easy, simple and efficient method to synthesise imidazoles**. Current Organic Synthesis, v. 11, n. 6, p. 824-834, 2014.

NIKOOFAR, K. *et al.* ZnO nanorods: **Efficient and reusable catalysts for the synthesis of substituted imidazoles in water**. Journal of Taibah University for Science, v. 9, n. 4, p. 570-578, 2015.

NOGUEIRA, L. J.; MONTANARI, C. A.; DONNICI, C. L. **Histórico da evolução da química medicinal e a importância da lipofilia:** de Hipócrates e Galeno a Paracelsus e as contribuições de Overton e de Hansch. *Revista virtual de Química*, v. 1, n. 3, p. 227-240, 2009.

NÜCHTER, M. *et al.* **Organic processes initiated by non-classical energy sources.** *Journal of Physical Organic Chemistry*, v. 13, n. 10, p. 579-586, 2000.

PRADHAN, K. *et al.* **A mechanistic study of carbonyl activation under solvent-free conditions:** evidence drawn from the synthesis of imidazoles. *RSC advances*, v. 6, n. 13, p. 10743-10749, 2016.

ROMERO, D. H. *et al.* **Synthesis of imidazole derivatives and their biological activities.** *J Chem Biochem*, v. 2, n. 2, p. 45-83, 2014.

ROSSI, R. *et al.* **Catalytic Synthesis of 1, 2, 4, 5-Tetrasubstituted 1H-Imidazole Derivatives:** State of the Art. *Advanced Synthesis & Catalysis*, v. 361, n. 12, p. 2737-2803, 2019.

SANGI, D. P. **Estratégias de síntese na descoberta de fármacos:** o emprego da síntese orientada pela diversidade estrutural. *Química nova*, v. 39, p. 995-1006, 2016.

SANTOS, V. L. A. *et al.* **Naftoimidazóis como potenciais componentes teranósticos fluorescentes:** síntese e avaliação. In: Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Org.). *Trabalhos nas áreas de fronteira da química*. Ponta Grossa-PR: Atena, 2021.

SANTOS, V. L. A.; GONSALVES, A. A.; ARAÚJO, C. R. M. **Resgate da reação de debus-radziszewski: ensino prático de reações multicomponentes na síntese da lofina.** *Química Nova*, v. 43, p. 1344-1349, 2020.

SATTAR, R. *et al.* **Synthetic transformations and biological screening of benzoxazole derivatives:** A review. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, v. 57, n. 5, p. 2079-2107, 2020.

SAXER, S. *et al.* **The multicomponent Debus–Radziszewski reaction in macromolecular chemistry.** *Polymer Chemistry*, v. 9, n. 15, p. 1927-1933, 2018.

SINGH, I. *et al.* **Synthesis of 5-(4-(1H-phenanthro [9, 10-d] imidazol-2-yl) benzylidene) thiazolidine-2, 4-dione as promising DNA and serum albumin-binding agents and evaluation of antitumor activity.** *European journal of medicinal chemistry*, v. 166, p. 267-280, 2019.

SONAR, J. *et al.* **An efficient method for the synthesis of 2, 4, 5-trisubstituted imidazoles using lactic acid as promoter.** *SN Applied Sciences*, v. 1, n. 9, p. 1-7, 2019.

SRAVANI, C. *et al.* **Synthesis and photophysical studies on 2-styrylphenanthro[9, 10-d]oxazole derivatives.** *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 210, p. 171-180, 2019.

STECK, E. A.; DAY, A. R. **Reactions of Phenanthraquinone and Retenequinone with Aldehydes and Ammonium Acetate in Acetic Acid Solution.** *Journal of the American Chemical Society*, v. 65, 3, p. 452-456, 1943.

STRECKER, A. **Ueber die künstliche Bildung der Milchsäure und einen neuen, dem Glycocoll homologen Körper.** *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, v. 75, n. 1, p. 27-45, 1850.

TEIMOURI, A. E; CHERMAHINI, A. N. **An efficient and one-pot synthesis of 2,4,5-trisubstituted and 1,2,4,5 tetrasubstituted imidazoles catalyzed via solid acid nano-catalyst.** Journal of Molecular Catalysis, v. 346, n. 1-2, p. 39-45, 2011.

VAID, R. *et al.* **Sulfoacetate modified silica supported indium (III) triflate [SiSAIn(OTf)₃]: a novel solid acid nano-catalyst and investigation of its catalytic potential for one-pot synthesis of 1, 2, 4, 5-tetrasubstituted imidazole derivatives.** Chem Sel, v. 4, p. 9179-9184, 2019.

ZHANG, F. *et al.* **A practical and green approach towards synthesis of multisubstituted imidazoles using boric acid as efficient catalyst.** Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements, v. 191, n. 5, p. 786-789, 2016.

ZHANG, Hui-Zhen; ZHAO, Zhi-Long; ZHOU, Cheng-He. **Recent advance in oxazole-based medicinal chemistry.** European journal of medicinal chemistry, v. 144, p. 444-492, 2018.

ZIARANI, G. M. *et al.* **One-pot synthesis of 1, 2, 4, 5-tetra substituted imidazoles using sulfonic acid functionalized silica (SiO₂-Pr-SO₃H).** Arabian Journal of Chemistry, v. 8, n. 5, p. 692-697, 2015.

ATUAÇÃO DOS NEUROTRANSMISSORES NO COMBATE À ANSIEDADE NO CENÁRIO DA PANDEMIA

Data de aceite: 01/02/2022

Data de Submissão: 08/11/2021

Wallyson Oliveira de Sousa

Faculdade de Química (FAQUÍ), Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-Pará.

<http://lattes.cnpq.br/9059663157289798>

Danilo Batista da Silva Lopes

Faculdade de Química (FAQUÍ), Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-Pará.

<http://lattes.cnpq.br/4337052211886637>

Alexsandro Sozar Martins

Secretaria de Estado de Educação (SEDUC). Belém-Pará.

<http://lattes.cnpq.br/2507769399752656>

Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte

Faculdade de Química (FAQUÍ), Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-Pará.

<http://lattes.cnpq.br/6575305310211391>

Kelly das Graças Fernandes Dantas

Faculdade de Química (FAQUÍ), Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-Pará.

<http://lattes.cnpq.br/7227777727553334>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo constatar a relevância tanto de se trabalhar o tema “ansiedade” sob o viés da química, quanto fazer uso das metodologias ativas de ensino-aprendizagem para tornar a aprendizagem mais significativa no contexto das aulas remotas durante a pandemia. Sendo assim, uma atividade sobre “As emoções sob uma perspectiva química” foi realizada de forma remota com alunos da E. E. F. M Prof. Manoel Leite Carneiro através do PIBID/UFPA. Os resultados mostraram uma contribuição para o ensino-aprendizagem e acrescentou significativamente na vida dos alunos. A análise da ansiedade e uso das metodologias ativas de ensino-aprendizagem constituíram abordagens imprescindíveis nas escolas, principalmente no cenário desafiador provocado pela COVID-19 e das aulas remotas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino-aprendizagem; Neurotransmissores; Ansiedade.

ACTING OF NEURO TRANSMITTERS IN COMBATING ANXIETY IN THE PANDEMIC SCENARIO

ABSTRACT: The objective of this work was to verify a bit of working the theme “anxiety” under the chemistry bias, and making use of active teaching-learning methodologies to make learning more meaningful in the context of remote classes during the pandemic. Thus, an activity on “Emotions under a chemical perspective” was carried out remotely with students from E. E. F. M Prof. Manoel Leite Carneiro through PIBID/UFPA. The results showed a contribution to teaching-learning and significantly added to the lives of students. The analysis of anxiety and

the use of active teaching-learning methodologies were essential approaches in schools, especially in the challenging scenario caused by COVID-19 and remote classes.

KEYWORDS: Teaching-learning; Neurotransmitters; Anxiety.

1 | INTRODUÇÃO

A saúde mental se relaciona diretamente com uma boa qualidade de vida, promovendo sentimentos como felicidade, disposição, bom humor, satisfação e autoconfiança para lidar com as adversidades (KIELING *et al.*, 2011). Dessa forma, é de muita importância compreender e reconhecer como os adolescentes, indivíduos que estão entre os doze e dezoito anos de idade, são afetados pelo isolamento social obrigatório, uma vez que eles experimentam maiores sentimentos de solidão, aflição, confusão e incompreensão das próprias emoções e sentimentos, de modo a acarretar efeitos negativos na saúde mental através de sintomas de ansiedade, depressão, distúrbios no sono e no apetite (BRASIL *et al.*, 2014; YOSHIKAWA *et al.*, 2020). Alguns dos principais fatores que causam o estresse estão relacionados à duração da quarentena, a necessidade do distanciamento social, a frustração, o tédio, o aumento e acúmulo de tarefas, incluindo a realização de atividades normalmente feitas fora de casa, receio da falta de suprimentos, busca por informações confiáveis, ausência de interação familiar, dificuldades econômicas e o uso intenso e inadequado das tecnologias de comunicação e informação (SILVA *et al.*, 2020), somado a este fator o uso intenso e inadequado da internet por si só já é um fator que tem preocupado a sociedade pelos efeitos negativos que traz para a vida cotidiana, sua vida *off-line*, como por exemplo, nas relações familiares (AYALA *et al.*, 2015). Diante do contexto pandêmico é essencial que haja iniciativas principalmente partindo dos profissionais envolvidos na área da educação que busquem ajudar os adolescentes a compreenderem de uma forma mais significativa e saudável como suas emoções, sentimentos, interações e consequências, advindas deste contexto, realmente funcionam e são estimuladas (DELLA *et al.*, 2016). Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo demonstrar a importância do estudo da ansiedade na escola de ensino médio fazendo uso das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. Foram abordados fatores centrais relacionados às nossas emoções e sentimentos do ponto de vista bioquímico, desenvolvendo conceitos como matéria, moléculas, átomos, reações e equações químicas, psicoativos, hormônios e neurotransmissores, assim como foram expostos de forma lúdica e interativa por meio de simulações virtuais em três dimensões (3D), a geometria molecular dos principais neurotransmissores envolvidos no processo de ansiedade como dopamina, serotonina, melatonina, Ácido gama-aminobutírico (GABA) e noradrenalina. Este trabalho tem o propósito de propor uma melhor qualidade de vida para os educandos, de forma que possam tanto entender de forma mais significativa conceitos altamente relevantes dentro do estudo de química quanto compreender melhor suas emoções e sentimentos e

dessa forma se fundamentar no estudo do tema para elaborar hábitos que possam ser mais saudáveis e venham a minimizar e evitar potencialmente o desenvolvimento da ansiedade e depressão.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A atividade sobre “As emoções sob uma perspectiva química” foi efetuada de forma remota com duas turmas, denominadas Turma A e Turma B, do ensino médio da E.E.E.F.M Prof. Manoel Leite Carneiro, localizada no município de Belém-Pará. Os métodos aplicados na Turma A tiveram a ausência da implementação das metodologias ativas de ensino-aprendizagem, sendo em sua maioria uma aula de caráter expositivo. Os métodos utilizados na Turma B contaram com a implementação das metodologias ativas de ensino-aprendizagem, assim como melhorias pautadas na análise de dados obtidos da aplicação do tema com a turma A, sendo em sua maioria uma aula com um caráter dialógico, lúdico e interativo. A execução desta atividade se deu por meio do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência - PIBID/UFPa. Os recursos utilizados em ambas as turmas foram a plataforma *Google Meet*, vídeos lúdicos do *Youtube*, o *software Avogadro*, *slides* e formulários do *Google Forms*, os quais foram produzidos pelos bolsistas as simulações no aplicativo *Avogadro*, os *slides* e os formulários. A primeira execução da atividade ocorreu nos dias 15 e 29 de abril de 2021 com a Turma A e contou com a presença de um supervisor, dois bolsistas e nove alunos. Na primeira parte da aula, no dia 15, a atividade iniciou com um diálogo entre alunos e professores, onde pontos importantes como o atual cenário pandêmico, dificuldades em compreender emoções, e em especial a ansiedade foram levantados. Na sequência, os discentes resolveram um formulário diagnóstico acerca do tema ministrado, sendo seguido do “momento química”, que foi um momento no qual se fez uso de recursos audiovisuais, *slides* e vídeos para desenvolver algumas definições importantes como moléculas, neurotransmissores e psicoativos. Na segunda parte da aula, no dia 29, a seguinte sequência foi realizada: apresentação dos principais neurotransmissores envolvidos nas emoções do cotidiano e no processo da ansiedade, sendo seguido pela exibição das suas funções no cérebro, assim como, as formas que estão relacionadas com a sua produção pelo corpo naturalmente, através da inclusão de hábitos saudáveis. Em seguida, houve um momento para retirar as dúvidas dos alunos, que foi sucedido pela finalização da atividade proposta, onde um formulário de caráter mais avaliativo foi fornecido e resolvido pelos alunos. A segunda execução do projeto, Turma B, também foi realizada em duas partes, nos dias 13 e 20 de maio de 2021. Na Turma B, a atividade contou com um supervisor, dois bolsistas e treze alunos. Foram feitas modificações na metodologia aplicada à Turma A, visando aumentar a participação dos discentes. Algumas das modificações foram a adição de dois mapas mentais durante o momento química, um mapa mental relacionado aos neurotransmissores e uma dinâmica

com os alunos, onde eles teriam que indicar se o neurotransmissor apontado se classificava como excitatório ou inibitório, e se o excesso do mesmo colabora para o aumento da ansiedade ou redução. Em outras palavras, as principais modificações na metodologia aplicada promoveram o aumento significativo na interação professor-aluno durante toda atividade, a dedicação de mais tempo para trabalhar as definições mais essenciais e complexas do tema e o uso de mecanismos para reforço dos conteúdos desenvolvidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na Turma A foram referentes a análise de dados do formulário diagnóstico de nove alunos, enquanto apenas seis responderam o formulário final e que foi consequência de uma atividade em sua maioria desprovida das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. Por outro lado, os resultados obtidos na Turma B foram referentes a análise de dados do formulário diagnóstico e final de treze alunos e foi fruto de uma atividade que em sua maioria teve como uma das preocupações a aplicação das teorias ativas de ensino-aprendizagem. Os principais dados coletados pelo formulário diagnóstico com a Turma A podem ser observados de forma clara e concisa na Figura 1 (parte A), enquanto outros serão apresentados apenas no texto. Observando a Figura 1 (parte A) pode ser verificado que 66,67% da turma se considera ansiosa, 44,43% não possuem conhecimento dos fatores que causam ansiedade e 77,78% não conhece a relação da química com seus sentimentos e emoções.

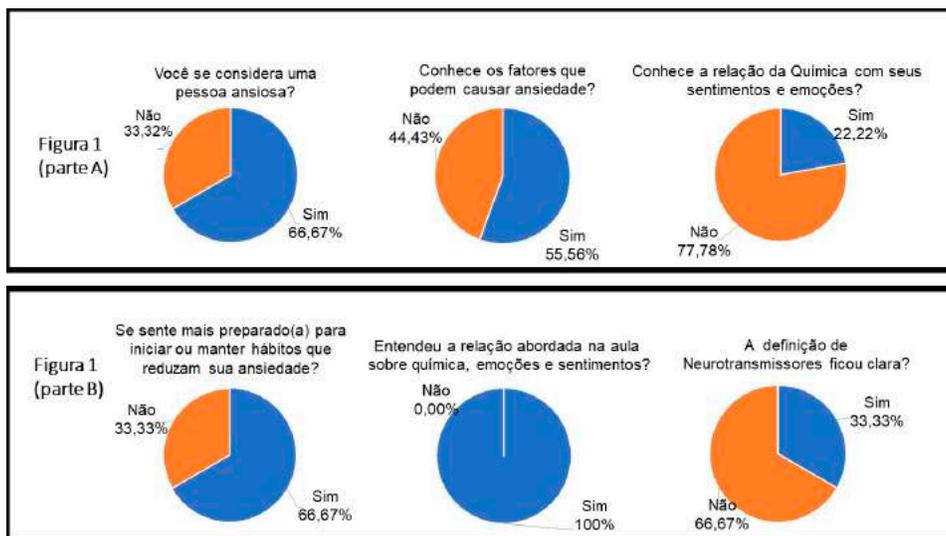


Figura 1. Dados coletados com o formulário diagnóstico (parte A) e final da Turma A (parte B).

Outros dados que não se encontram nos gráficos, mas que ainda são referentes ao

formulário diagnóstico são que 100% dos alunos se interessam pelo tema ansiedade, 100% não conhece a definição de neurotransmissores e 55,56% não possui uma boa relação com a química. Além disso, no questionamento “O que vem a sua mente quando pensa em química?” A resposta “Experimentos” se destacou marcando presença em 44,43% das respostas, onde as demais foram distintas entre si. Os dados mais relevantes coletados pelo formulário final com a “Turma A” podem ser observados na Figura 1 (parte B), onde pode ser visualizado que 66,67% dos educandos declararam maior preparo para manter ou iniciar hábitos que reduzam a ansiedade e 100% apontaram ter entendido a relação da química com suas emoções e sentimento. Por fim, por mais que os dados apontem uma certa satisfação da parte dos alunos com relação a aula, o formulário revelou que o conceito central da aula, neurotransmissores, não ficou claro para uma grande maioria da turma, totalizando uma porcentagem de 66,67%, também podendo ser visto na Figura 1 (parte B). Uma vez mostrado os resultados da Turma A, desprovida de metodologias ativas de ensino-aprendizagem, os resultados obtidos na Turma B, que teve como uma das preocupações a implementação das metodologias ativas de ensino-aprendizagem serão apresentados. Os principais dados obtidos pelo formulário diagnóstico com a Turma B podem ser verificados de forma simples na Figura 2 (parte A), enquanto outros serão apresentados apenas no texto. Verificando a Figura 2 (parte A) pode ser visto que 76,67% dos discentes se consideram ansiosos, 15,38% não possuem conhecimento dos fatores que causam ansiedade e 30,77% não conhecem a relação da química com seus sentimentos e emoções.

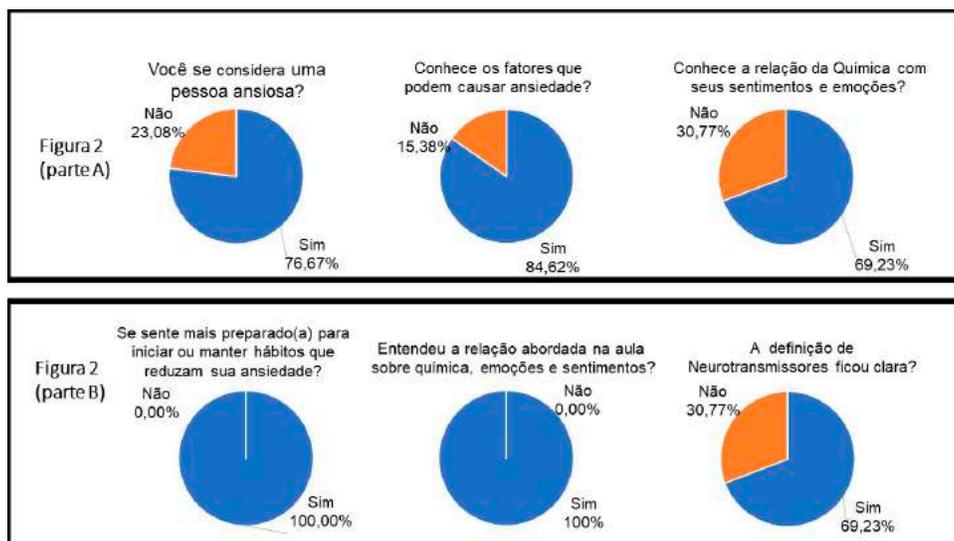


Figura 2. Dados coletados com o formulário diagnóstico (parte A) e final da Turma B (parte B).

Os demais dados que são relevantes e não se encontram nos gráficos mostram que 92,31% se interessam pelo tema ansiedade, 61,54% não conhecem a definição de neurotransmissores e 53,85% não possuem uma boa relação com a química. Ademais, no questionamento “O que vem a sua mente quando pensa em química?”, os feedbacks indicaram que “Experimentos”, “Tabela Periódica” e “elementos químicos” se destacaram estando presente em cerca de 23,08% das respostas. Os dados mais relevantes coletados pelo formulário final com a Turma B podem ser observados na Figura 2 (parte B), onde pode ser visualizado que 100% dos alunos declararam maior preparo para manter ou iniciar hábitos que reduzam a ansiedade e 100% apontaram ter entendido a relação da química com suas emoções e sentimento. Enfim, o formulário indicou que a definição de neurotransmissores, conceito este central na aula, não ficou claro para apenas 30,77% da turma, informações essas que também podem ser acompanhadas na Figura 2 (parte B). Por meio da análise das respostas fornecidas pela turma A e B no questionamento “O que vem a sua mente quando pensa em química?” é possível perceber que a química ainda é fortemente relacionada à experimentos e, em grande maioria, com assuntos muito fechados e técnicos. Dessa forma, é importante que durante o ensino de química, os professores estejam atentos para que mostrem a real abrangência e interdisciplinaridade da química, uma vez que a mesma pode abordar áreas muito distintas, relevantes na atualidade e interessantes. Por exemplo, por meio da atividade “As emoções sob uma perspectiva química” foi possível verificar tanto que a atividade foi eficaz na tarefa de mudar de forma significativa a ideia mais tradicional relacionada a química, quanto contribuir na relação dos alunos com a química uma, vez que 50% dos alunos da turma A e 38,46% da Turma B declararam que a ideia geral de química tinha sido modificada após o estudo e 83,34% da Turma A e 92,31% da Turma B indicaram uma melhora razoável nas suas relações com a química. De modo geral, realizando uma comparação entre os resultados obtidos na turma A e B, pode ser observado que a implementação das metodologias ativas de ensino-aprendizagem na Turma B resultaram em respostas muito positivas em todos os requisitos avaliados, estando de acordo com o relatado na literatura.

4 | CONCLUSÕES

O tema “ansiedade” abordado neste estudo, principalmente, sob uma perspectiva química foi considerado muito importante, interessante e essencial pelos alunos, sendo ele muito bem recebido pelos mesmos. Foi possível verificar que, uma vez desenvolvido com a utilização de metodologias ativas de ensino-aprendizagem, os resultados obtidos apresentaram uma qualidade superior e mais significativa quando comparados às metodologias mais tradicionais de ensino, contribuindo com a formação de alunos mais preparados para viver em sociedade, possibilitando formar cidadãos mais críticos, reflexivos e autônomos. Além disso, a utilização da metodologia aplicada ao tema demonstrou ser

eficiente no processo de contribuir na relação dos alunos com a química e de realizar mudanças no paradigma que os alunos possuem sobre a química.

REFERÊNCIAS

AYALA-LÓPES, M. C. L. DE, GUTIERREZ, J. C., & GARCIA-JIMÉNEZ, A. (2015). **Problematic internet use among spanish adolescents: the predictive role of internet preference and family relationships**. *European journal of communication*, 30(4), 470-485. DOI:10.1177/0267323115586725

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. (2014). **Estatuto da criança e do adolescente**. Brasília: edições câmara. Recuperado em 02 de março, 2014, de bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/.../estatuto_crianca_11ed.PDF?...21

DELLA MÉA, CRISTINA PILLA; BIFFE, ELIANE MARIA; FERREIRA, VINÍCIUS RENATO THOMÉ. **Padrão de uso de internet por adolescentes e sua relação com sintomas depressivos e de ansiedade**. *Psicologia revista*, v. 25, n. 2, p. 243-264, 2016.

KIELING, C.; HENNINGHAM, H.B.; BELFER, M.; CONTI, G.; ERTEM, I.; OMIGBODUN, O.; ET AL. **Child and adolescent mental health worldwide: evidence for action**. *Lancet.*, v. 378, n 9801. P. 1515-1525, 2011.

SILVA, H. G. N.; SANTOS, L. E. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; **Efeitos da pandemia no novo coronavírus na saúde mental de indivíduos e coletividades**. *J. Nurs. Health*. 2020;10(n.esp.):e20104007

YOSHIKAWA, H.; WUERMLI, A.J.; BRITTO, P.R.; DREYER, BREYER, B.; LECKMAN, J.F.; LYE, S.J.; ET AL. **Effects of the global coronavirus disease-2019 pandemic on early childhood development: short- and long-term risks and mitigating program and policy actions**. *J pediatr.*, v, 233, p. 188-193, 2020.

ANÁLISE DE FATORES QUE MELHORAM O ÍNDICE DE FLUIDEZ EM POLIPROPILENO

Data de aceite: 01/02/2022

Juliano Antonio Frizzo

<http://lattes.cnpq.br/4549373226837296>

Andrei Goldbach

<http://lattes.cnpq.br/8779820566177751>

RESUMO: Este artigo aborda os fatores que melhoram o índice de fluidez em polipropileno para fabricação de caixas plásticas por injeção em molde com gavetas em uma empresa do meio oeste catarinense. Foi realizada análise do índice de fluidez com a utilização de um plastômero. Com o índice cru, foi realizado testes com diferentes temperaturas e aditivos para ver se há melhoria no índice de fluidez e na injeção do polipropileno. Com base nos resultados, foi possível comprovar que o aumento da temperatura juntamente com o uso de talco como aditivo, colabora para aumentar o índice de fluidez fazendo com que o material seja mais bem distribuído pelo molde, resultando em uma melhoria na injeção, e ocorrendo menos falhas nas peças injetadas.

É necessário realizar um acompanhamento constante para garantir que a qualidade da injeção permaneça e desta forma evite a perda de produção devido a peças incompletas

PALAVRAS-CHAVE: Polipropileno. Injeção. Índice de Fluidez.

ABSTRACT: This article discusses the factors that improve the melt flow rate in polypropylene for the manufacture of plastic boxes by injection

molding with drawers in a company in the Midwest of Santa Catarina. Flow index analysis was performed using a plastomer. With the raw index, tests were carried out with different temperatures and additives to see if there is an improvement in the melt index and in the polypropylene injection. Based on the results, it was possible to prove that the increase in temperature together with the use of talc as an additive, helps to increase the melt flow rate, making the material better distributed throughout the mold, resulting in an improvement in injection, and less occurrence flaws in the injected parts.

KEYWORDS: Polypropylene. Injection. Fluidity Index.

1 | INTRODUÇÃO

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidades de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidades de repetição. Dependendo do tipo de monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras. (CANEVAROLO JR, 2006).

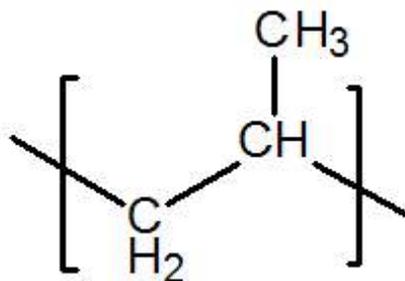


Figura 1 – Estrutura Molecular do PP.

Fonte: FERMINO, 2011.

Materiais poliméricos são materiais utilizados desde os tempos antigos, quando materiais naturais eram usados como matéria-prima para a fabricação de objetos (como borracha). Os polímeros são amplamente utilizados nos mais diversos campos industriais e estão ganhando cada vez mais participação de mercado devido às suas novas aplicações para substituir materiais cerâmicos e metálicos. (FERMINO, 2011).

A resposta de um polímero a forças mecânicas em temperaturas elevadas está relacionada à sua estrutura molecular dominante. De fato, um esquema de classificação para esses materiais é feito de acordo com seu comportamento frente a uma elevação na temperatura. Os *termoplásticos* (ou polímeros termoplásticos) e os *termofixos* (ou polímeros termofixos) são duas subdivisões. Os termoplásticos amolecem (e eventualmente se liquefazem) quando são aquecidos, e endurecem quando são resfriados – processos que são totalmente reversíveis e que podem ser repetidos. Em uma escala molecular, conforme a temperatura é elevada, as forças de ligação secundárias diminuem (pelo maior movimento das moléculas), tal que o movimento relativo de cadeias adjacentes é facilitado quando uma tensão é aplicada. Uma degradação irreversível ocorre quando a temperatura de um polímero termoplástico fundido for aumentada excessivamente. Além disso, os termoplásticos são relativamente macios. A maioria dos polímeros lineares e aqueles que têm algumas estruturas ramificadas com cadeias flexíveis são termoplásticos. Esses materiais são fabricados normalmente com aplicação simultânea de calor e pressão. (CALLISTER, 2012).

Entre os polímeros, podemos nos concentrar no polipropileno (PP), que pode ser usado em novas aplicações devido ao aumento da capacidade de produção e redução de custos. (NASCIMENTO, TIMÓTEO e RABELLO, 2013).

O polipropileno (PP) é um dos polímeros termoplásticos mais utilizados pela indústria, com uma diversidade de aplicações que incluem embalagens rígidas e flexíveis, descartáveis, tubos e produtos injetados para os mais variados usos. A indústria petroquímica disponibiliza vários tipos de polipropilenos, tais como: PP homopolímero, PP copolímero

heterofásico e PP copolímero randômico. O PP homopolímero contém apenas o monômero propeno em sua cadeia molecular e, sendo predominantemente de configuração isostática, pode atingir um grau de cristalinidade de até 70%. (NASCIMENTO, TIMÓTEO e RABELLO, 2013).

O polipropileno possui características que o tornam adequado para processos de moldagem por injeção, extrusão, termoformagem, moldagem rotacional e moldagem por sopro, mas enfatiza a importância da moldagem por injeção para os mais diversos tipos e formas de peças. (MANRICH, 2013).

A medida do índice de fluidez (IF) de resinas poliméricas é muito utilizada pela indústria para indicar o comportamento de fluxo dos polímeros, pois, a técnica de medida é simples, rápida e de baixo custo. Esta facilidade tornou esta técnica popular e, pelo fato dos polímeros terem sua capacidade de processamento classificada de acordo com este índice. Algumas propriedades, tais como extrusabilidade e resistência de filmes ao rasgamento, etc; também são dependentes do índice de fluidez. (BRETAS, 2005).

O processo de injeção mesmo sendo amplamente utilizado, fica suscetível a falhas quando o Índice de Fluidez do material não é atingido ao nível solicitado para elaboração de tal peça, sendo assim um dos principais fatores a ser analisado quanto a origem da matéria prima. Portanto no processamento de polímeros pode ser necessário o acréscimo de aditivos para a melhoria da fluidez, bem como a análise do seu índice de fluidez de fábrica. (ABIPLAST)

Finalmente, para processar materiais simples de polímeros (como polipropileno) para obter produtos de maior qualidade, é necessário entender o índice de fluidez inicial através do plastômetro e adicionar aditivos para melhorar sua injeção.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os materiais utilizados são o PP reciclado fornecido pela Oeste Plásticos Injetados na forma de pellets, e de acordo com o fornecedor é um polipropileno com IF indicado para o processo de injeção (média de 9g/10min). Possui excelente balanço de propriedades de rigidez/impacto, apresenta excelente acabamento superficial e boa processabilidade. As suas principais aplicações são em caixas plásticas, baldes e tubetes.

Outro material utilizado é o talco, um mineral flossilicato, com composição química $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, aqui usado como um aditivo para aumentar a fluidez do polipropileno.

2.2 Métodos

Na primeira parte do estudo, foi analisado o IF com base na ASTM (Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer) D 1238 – 04, uma

diretriz internacional que dá as normas para as construções e validações de plastômeros. Com base nisso analisou-se o IF da amostra encontrada na empresa com o uso de um plastomero.

Tendo em vista esta grande abrangência e versatilidade do PP, neste trabalho, foi analisado a variação do índice de fluidez do polipropileno em função de uma variação da temperatura de processamento de 230°C até 280°C e também da adição de talco a 0,5%, 1% e 2%.

O processamento inicial do polipropileno foi realizado no plastômero, sem utilização de aditivos, utilizando temperatura de 230°C, faixa oficial de trabalho utilizada para o polipropileno, buscando aproximar-se ao máximo de um processo de análise oficial. Foram utilizados cerca de 600g como material inicial de polipropileno para serem processados no plastômero. O procedimento para a determinação do Índice de Fluidez Medio é descrito pela norma ASTM D1238. Diz respeito à medida da taxa de fluxo de um polímero através de um orifício de dimensões especificadas, sob condições pré-estipuladas de carga, temperatura e posição de um pistão no plastômero. O peso do polímero extrudado em dez minutos de experimento é o índice de fluidez do polímero, sendo sua unidade g/10min. (CANEVAROLO JR, 2006). Exemplo: Fluidez 12 consiste em 12g/10min.

A norma ASTM D1238 para o caso do PP, normaliza a temperatura de 230°C e carga de 2,16Kg e tempo de 1 minuto para retirada de amostra. A identificação do tempo para retirada de amostra foi realizada da seguinte maneira, ajustou-se a temperatura para o polímero estudado, 230°C para o PP, carregou-se o cilindro com a quantidade pré-determinada de material, compactou-se o material para a retirada de ar e em seguida foi colocada o peso sobre o pistão, de 2,16Kg para o PP, e iniciou-se a coleta do extrudado.

Retirou-se 3 amostras do extrudado que foram pesadas e assim calculados seu índice de fluidez em g/10min. Através de uma regra de três simples obtivemos o valor do índice de fluidez para o PP puro, que possui a unidade de g/10 minutos.

$$\begin{array}{r} 0,9768g \quad 60s \\ \times \quad 600s \\ \hline = 9,768g/10min \end{array}$$

Posteriormente após a obtenção do IF do polipropileno cru, foi aumentado a temperatura do plastomero, simulando o aumento da temperatura das resistências da injetora, para verificar se o IF aumentava.

Tambem foi feito uso de talco em diferentes concentrações como aditivo para aumentar o IF.

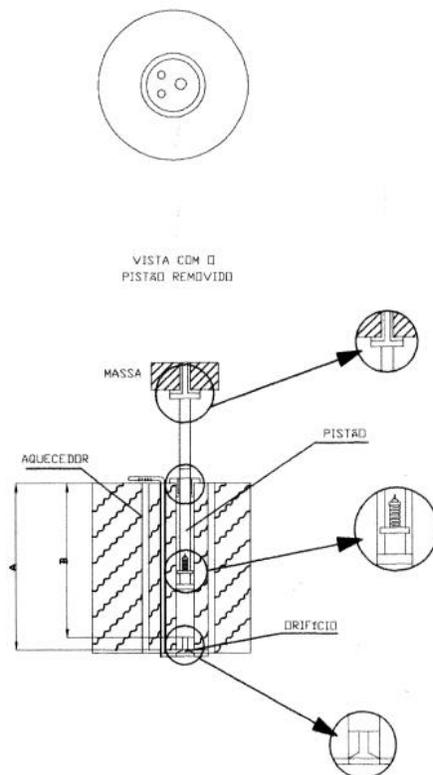


Figura 2 – Vista Lateral de um plastomero.

Fonte: ASTM D 1238.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram feitas triplicatas de cada amostragem para a determinação do índice de fluidez, e de cada triplicata da amostragem foram determinadas suas médias obtendo assim os valores de índice de fluidez do PP após múltiplos processamentos.

Na segunda etapa do estudo, o polipropileno (PP) foi processado com o acréscimo do aditivo (talco), 0,5, 1 e 2% após cada processamento, e utilizou-se a mesma metodologia da primeira etapa do estudo.

Na terceira etapa, foi modificada a temperatura, sendo aumentada, fugindo da norma ASTM D1238 propositalmente, para analisar se o índice de fluidez era alterado.

Com a aplicação das três etapas foi construída a seguinte tabela:

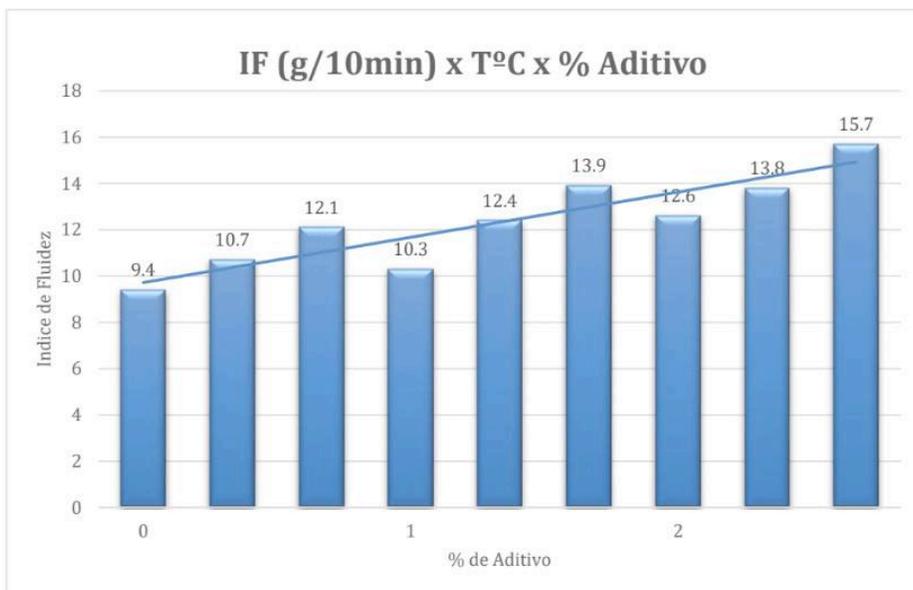
Nº amostra	Talco (%)	Temperatura (°C)	IF (g/10min)
1	0	230	9,4
2		250	10,7
3		280	12,1
4	1	230	10,3
5		250	12,4
6		280	13,9
7	2	230	12,6
8		250	13,8
9		280	15,7

Tabela 1: Parâmetros usados na análise de IF.

Para cada condição de temperatura e aditivos foram obtidas cinco amostras (cortes) as quais foram pesadas (para cálculo do IF). Após, foi tirada média em cada ponto proporcionando assim a avaliação dos resultados.

Primeiramente são observados os dados relativos ao padrão ASTM D-1238, ou seja, verificar a acuracidade do equipamento. Em uma temperatura de 230°C e sem uso de aditivos o IF medido foi de 9,4g/10min, mostrando que o PP usado no experimento trata-se de uma matéria prima de boa fluidez, confirmado o laudo que a empresa disponibilizou.

Analisando o gráfico, agora com diferentes temperaturas e aditivos, nota-se um significativo aumento do IF conforme a temperatura vai sendo aumentada, igualmente com as diferentes concentração de aditivo adicionadas.



Esse aumento do IF do fundido pode ser explicado pela teoria do volume livre, onde quanto maior a temperatura, maior é o volume livre entre as moléculas e menor será sua viscosidade, ou seja, mais fácil será seu escoamento.

Porém deve-se atentar que o excesso de fluidez pode prejudicar o processo de injeção, pois ao tornar o PP muito fluido, também perde-se capacidade de injeção.

4 | CONCLUSÃO

Através dos resultados deste estudo comprovou-se a influência dos parâmetros avaliados (temperatura e aditivos) no comportamento do PP. Conclui-se que existe uma relação direta do acréscimo do IF do fundido com o aumento da temperatura e aditivação de talco em até 2%.

Este resultado mostra-se satisfatório para o uso empresarial, visto que o fornecimento de PP sofre muitas alterações de IF, até mesmo dentro do mesmo lote, visto que o material é reciclado e não virgem, portanto depende muito de que material inicial ele foi reciclado.

Assim, pode-se aumentar o IF e tornar o PP injetável mesmo que ele não esteja inicialmente adequado para injeção, evitando perdas e a procura por outros fornecedores.

O plastomero mostrou-se estar calibrado ao seguir as normas ASTM D-1238 quando comparado ao laudo mostrado pela empresa que o disponibilizou, mostrando-se assim totalmente capaz de ser usado para testes reais em empresas e universidades.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>>. Acesso em: 1 Novembro de 2021.

BRETAS, R. E. S.; D'AVILA, M. A. - **Reologia de Polímeros Fundidos**, EdUFSCAR, São Carlos, 2000 pp.71-109.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 8ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

D-1238, A. **Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer**. American Society for Testing and Materials. New York, p. 13. 2004.

FERMINO, D. M. **Estudo das propriedades mecânicas, reológicas e térmicas de nancómpósitos de HMSPP (polipropileno com alta resistência do fundido) com uma betonita brasileira**. Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares - IPEN. São Paulo, p. 119. 2011.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 2ª. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

NASCIMENTO, U. A.; TIMÓTEO, G. A.; RABELLO, M. S. Efeito de plastificante à base de Poliisobutenos nas propriedades físicas e mecânicas do Polipropileno. **Polímeros**, São Carlos, v. 23, p. 257 - 261, Abril 2013.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE POLIANILINA PARA USO EM TINTAS DE IMPRESSÃO

Data de aceite: 01/02/2022

Cristiane Krause Santin

Escola Politécnica-Universidade do Vale do Rio dos Sinos– UNISINOS, São Leopoldo– RS
<http://lattes.cnpq.br/8668574495269159>

Manuela Arend Prediger

Escola Politécnica-Universidade do Vale do Rio dos Sinos– UNISINOS, São Leopoldo– RS
<http://lattes.cnpq.br/4413456261535665>

Tatiana Louise Avila de Campos Rocha

Escola Politécnica-Universidade do Vale do Rio dos Sinos– UNISINOS, São Leopoldo– RS
<http://lattes.cnpq.br/9378565098589680>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo a síntese química de nano partículas de Polianilina (PAni) visando sua aplicação na área eletrônica. Na síntese utilizou-se a anilina, a qual foi dopada com ácido dodecil benzeno sulfônico (DBSA) sob a ação de uma agente oxidante e agitação constante. Posteriormente à realização da síntese, centrifugou-se e dialisou-se o material contra uma solução de dodecil sulfato de sódio (SDS). A caracterização foi feita utilizando-se a técnica de quatro pontas para obtenção dos valores de condutividade elétrica. Além disso, a formação do polímero condutor foi também avaliada através de Espectroscopia de UV-Vis e Infravermelho. Com base nos resultados obtidos, foi possível confirmar a obtenção de um polímero com características semicondutoras tanto por meio da visualização de bandas nos Espectros UV-Vis e Infravermelho bem como pelos valores

de condutividade elétrica, que ficaram na faixa de 10^{-3} S/cm.

PALAVRAS-CHAVE: *Polianilina; Nanopartículas; Polímeros Semicondutores.*

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLYANILINE NANOPARTICLES FOR USE IN PRINTING INK

ABSTRACT: This work aims the chemical synthesis of polyaniline nanoparticles (PAni) development to electronic applications. The aniline was doped with dodecyl benzene sulfonic acid (DBSA) using an oxidizing agent under constant stirring. After the synthesis, the material was centrifuged and dialyzed against a SDS solution. In order to obtain the values of electrical conductivity, the technique of four points was used. In addition, the obtaining of the polymer was characterized by UV-Vis and Infrared Spectroscopy. Considering these results, it was possible to confirm that the synthesized polyaniline showed a semiconductor characteristic. Additionally, it was possible to obtain electrical conductivity in the range of 10^{-3} S/cm.

KEYWORDS: *Polyaniline; Nanoparticles; Semiconductor Polymers.*

INTRODUÇÃO

Entre os polímeros condutores, seleciona-se a Polianilina como um dos polímeros mais vantajosos, uma vez que, além do baixo custo, fácil polimerização e boa estabilidade ambiental, possui propriedades condutoras que

são controláveis a partir de sua síntese (PALANIAPPAN et al. 2008; MATTOSO,1996). Essas propriedades intrínsecas provêm da alternância de ligações simples e duplas ao longo da cadeia, característica fundamental para a realização do processo de dopagem, no qual ocorre a transformação das propriedades isolantes para condutoras do material (XIA et al, 2010). As propriedades diferenciadas da Polianilina fazem com que esta seja aplicada especialmente na área eletrônica, como, por exemplo, em transistores, interruptores, atuadores eletroquímicos, proteção contra raios, células solares, placas de circuito, descarga eletrostática (ESD) e blindagem de interferência eletromagnética (EMI) (XIA et al, 2010; CROWLEY,2012).

Na dopagem da Polianilina não ocorre mudança no número de elétrons (oxidação/redução), uma vez que o processo de dopagem ocorre por protonação durante a síntese química. A anilina reage em meio ácido sob a ação de agente oxidante. O ácido, normalmente, é um ácido protônico funcionalizado que tem a forma $H^+(M-R)$. O íon H^+ é responsável por dopar o polímero, enquanto o $(M-R)$ é denominado contra-íon, cuja função é neutralizar a cadeia da PANi para que não haja variação na quantidade de elétrons (MATTOSO, 1996).

Quanto a sua estrutura química, a polianilina apresenta o grupamento $-NH$ ligado ao grupo fenila, cujo átomo de nitrogênio é o responsável por intermediar o processo de oxidação e redução e, assim, formam-se os diferentes estados de oxidação da polianilina (PALANIAPPAN et al., 2008) denominados de Leucoesmeraldina (totalmente reduzida), Base Esmeraldina (parcialmente oxidada), Pernigranilina (totalmente oxidada) e o Sal de Esmeraldina (parcialmente oxidada) (PALANIAPPAN et al., 2008; MATTOSO, 1996).

Infere-se que a forma sal de esmeraldina apresenta-se como sendo o estado de oxidação no qual a polianilina consegue atingir os maiores valores de condutividade elétrica, assim os nitrogênios presentes promovem a formação do grupo imina (os quais possuem ligação π) completamente ou parcialmente protonados gerando um polímero condutor (MATTOSO 1996). Quando ocorre a oxidação, o elétron é removido da cadeia, formando, assim, um polaron (cátion radical). Além disso, pode ocorrer a remoção subsequente de mais um elétron presente na cadeia gerando um novo polaron ou então, um bipolaron (FAEZ et al., 2000). Esses polarons e bipolarons vão se espalhando pela cadeia do polímero e situam-se entre as bandas de valência e bandas de condução, o que permite a passagem dos elétrons de uma banda para outra com mais facilidade (MEDEIROS et al., 2012).

Uma subclasse no mundo dos polímeros condutores vem inovando as aplicações desses materiais: as nanopartículas de polímeros condutores. Além de manterem as propriedades elétricas, possuem características de nanomateriais, como o tamanho e grande área superficial, ampliando, assim, o interesse e o desenvolvimento de diferentes polímeros condutores com aplicação na área de nanotecnologia (XIA et al., 2010).

Atualmente nanopartículas poliméricas condutoras estão sendo aplicadas na área de biossensores devido à praticidade de sua dispersão em meio aquoso e sobre a superfície do eletrodo durante o processo. Além disso, considera-se importante uma alta relação entre

a superfície e o volume garantindo uma área ativa maior e, ainda, favorecendo a adsorção de biomoléculas (XIA et al., 2010). Nanopartículas de Polianilina vem sendo estudadas e, entre suas aplicações destaca-se seu uso em tintas para aplicação em impressoras piezoelétricas. É possível obter imagens com alta qualidade e boa velocidade de impressão, revelando o forte potencial que os polímeros condutores possuem na área de impressão eletrônica (NGMNA et al., 2007, GOMES et al., 2012; MORRIN et al.; 2008).

A partir do exposto acima este trabalho de pesquisa visa obter nanopartículas da polianilina condutora a partir da síntese química com foco em aplicações na área eletrônica.

EXPERIMENTAL

Para sintetizar quimicamente a polianilina, adicionou-se o ácido dodecil benzeno sulfônico (DBSA) ao monômero anilina sob temperatura de 5 a 10°C. Paralelamente, dissolveu-se o agente oxidante (persulfato de amônio) em DBSA e gotejou-se esta solução no meio reacional. A concentração e proporção dos reagentes utilizados neste estudo estão demonstradas na Tabela 1. A solução foi mantida sob agitação constante com agitador magnético por, aproximadamente, 2,5 h. Ao término da reação, adicionou-se 10mL de SDS 0,05M. Posteriormente, retiraram-se duas alíquotas submetendo-as ao processo de centrifugação por um período de 20 e 40 min. Após a centrifugação, cada amostra foi deixada em diálise contra uma solução de 0,05M de SDS por 42h, sendo que a solução de SDS foi trocada duas vezes. Para finalizar, as amostras foram novamente centrifugadas por 20 e 40min. O material obtido foi caracterizado pela técnica de quatro pontas (modelo Pro 4-4400 Signatone) para obtenção da condutividade elétrica e por espectroscopia de Infravermelho (Cary 630 Agilent) para avaliação dos grupos funcionais e modificações realizadas a partir das condições reacionais usadas. Nas análises no UV-Visível (UV-Vis Cary 60) utilizou-se água como solvente. As espessuras das amostras na forma de filme foram medidas utilizando-se o perfilômetro D-100 Stylus KLA Tencor.

Amostras	Proporção	Anilina (M)	Persulfato de Amônio (M)	DBSA (M)
PAni 1	3: 1: 2,7	0,16	0,053	0,144
PAni 2	5: 2,5: 6	0,16	0,08	0,19
PAni 3	3: 2: 4,5	0,16	0,107	0,24

Tabela 1. Concentração e proporção dos reagentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

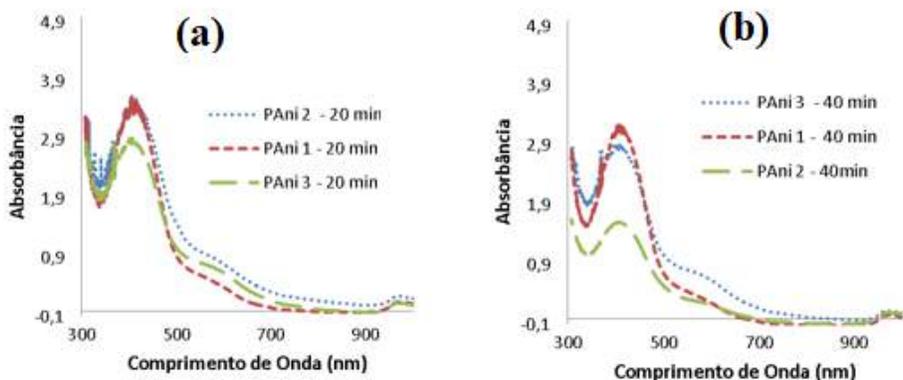
Os valores de condutividade elétrica medidos estão demonstrados na Tabela 2. A maior faixa de condutividade elétrica obtida ficou em, aproximadamente, 10^{-3} S/cm (faixa de semicondutor), valor este semelhante ao encontrado por Ngmna et al (2007). Observa-se

que as amostras PAni 3 (20 e 40min) com proporção molar Anilina/Persulfato de Amônio/DBSA: 5:2,5:6 revelaram uma condutividade menor em relação às outras ($\sim 10^{-5}$ S/cm). Este valor é muito baixo para aplicações na área de condutores.

Amostras	Condutividade Elétrica (S/cm)
PAni 1 - 40min	$1,55e^{-3}$
PAni 1 - 20min	$2,49e^{-3}$
PAni 2 - 40min	$3,22e^{-3}$
PAni 2 - 20min	$3,00e^{-3}$
PAni 3 - 40min	$2,60e^{-5}$
PAni 3 - 20min	$7,65e^{-5}$

Tabela 2. Valores de condutividade elétrica.

Na análise de espectroscopia de UV-Vis monitorou-se as absorções a aproximadamente 328 nm, as quais se referem à presença de transições π - π e a 640 nm, relacionadas à presença de transições n - π (anéis quinoides). A presença destas bandas indica a formação da base esmeraldina, estado de oxidação em que a polianilina é isolante. As absorções na região a 420 e 800 nm indicam a formação do sal de esmeraldina, mostrando que a dopagem foi eficiente com a formação de polarons, (MARTINS, 2008; RODRIGUES, 2004, HAN et al., 2002). Na Figura 1(a) e (b), observam-se as bandas de absorção das amostras de polianilina, que ficaram em torno de 320 e 420 nm. Isso revela que houve a formação parcial de polarons, uma vez que a banda a 800 nm não foi evidenciada. A presença da banda a 800 nm está diretamente relacionada a formação de amostras totalmente condutoras. Estas observações corroboram com os resultados obtidos nas análises de condutividade elétrica, a partir das quais valores entre 10^{-3} S/cm foram evidenciados.



Figuras 1 (a) e (b). Espectroscopia UV-Vis das amostras: PANi 1 (proporção 3: 1: 2,7), PANi 2 (proporção 5: 2,5: 6) e PANi 3 (proporção 5: 2,5: 6).

As bandas dos espectros de Infravermelho confirmam a obtenção de um polímero dopado com DBSA, a partir do qual foi possível verificar a presença de bandas em regiões do espectro nas quais as moléculas de PANI-DBSA transmitem energia. Essas regiões englobam os comprimentos de onda a 1460 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} , referentes ao estiramento C=C nos anéis benzenóides e quinóides. A 1033 cm^{-1} e 1004 cm^{-1} relacionadas ao estiramento S=O do agente dopante e em 1120 cm^{-1} associada à deformação angular da estrutura, que ocorre durante a protonação ($\text{N}=\text{Q}=\text{N}$ e $\text{B}-\text{N}^+\text{H}-\text{B}$). Atribui-se a banda em 1297 cm^{-1} ao estiramento da ligação C-N da amina secundária e a banda em 1242 cm^{-1} com a formação da PANi esmeraldina bem como com a vibração C-N. Ainda, as bandas a 2800 cm^{-1} e 3000 cm^{-1} representam o estiramento de C-H alifático, relacionado ao DBSA (HAN et al., 2002; GALIANI et al., 2007). Nas Figuras 2 e 3 estão representados os espectros de infravermelho obtidos para as amostras de Polianilina (PANi 1, 2 e 3_20 e 40 minutos de centrifugação).

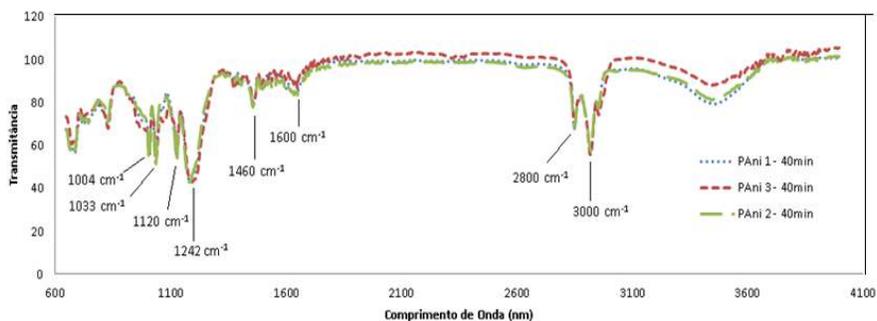


Figura 2. Espectroscopia de Infravermelho das amostras: PANi 1 (proporção 3: 1: 2,7), PANi 2 (proporção 5: 2,5: 6) e PANi 3 (proporção 5: 2,5: 6).

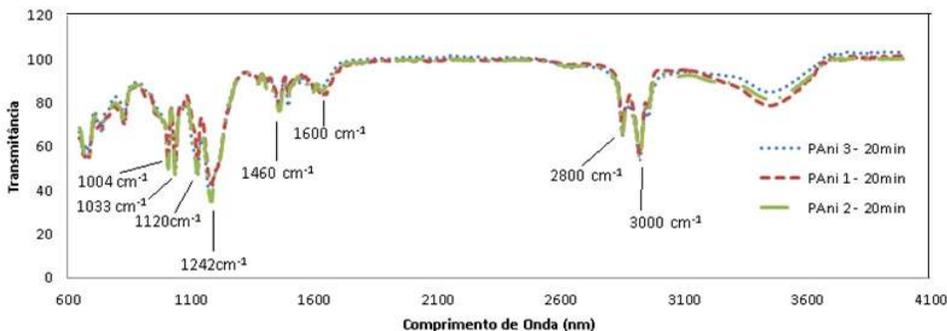


Figura 3. Espectroscopia de Infravermelho das amostras: PANi 1 (proporção 3: 1: 2,7), PANi 2 (proporção 5: 2,5: 6) e PANi 3 (proporção 5: 2,5: 6).

CONCLUSÕES

Com base na pesquisa realizada, concluiu-se que o polímero semiconductor foi obtido com êxito, uma vez que os valores de condutividade elétrica ficaram na faixa de, aproximadamente, 10^{-3} S/cm. Além disso, através dos espectros de UV-Vis, visualizou-se a banda a 420 nm que indica a formação de polarons ao longo da cadeia da Polianilina. Entretanto, a banda de 800 nm não pôde ser visualizada, sugerindo a dopagem parcial da mesma. Ainda, através das análises realizadas pela espectroscopia de Infravermelho, constatou-se a presença de moléculas que provam a dopagem do polímero Polianilina utilizando o DBSA.

Ressalta-se que um dos problemas relacionados ao uso da Polianilina individualmente ou associada a outros substratos refere-se a sua baixa solubilidade a solventes. Porém, a partir do estudo realizado promovendo a dopagem desta com o DBSA, a partir da qual modificou-se sua estrutura química e conseqüentemente suas características, o produto obtido tornou-se miscível em solvente aquoso, facilitando sua análise em diferentes aspectos e, conseqüentemente, possibilitando seu uso com outros substratos e em setores pouco explorados.

A partir dos resultados conclui-se que o processo de dopagem da polianilina além de promover um melhor monitoramento quanto a condutividade elétrica, permite modificar a estrutura química do polímero base, induzindo a uma melhor solubilidade do material final obtido, possibilitando sua aplicação em diferentes áreas de interesse.

Ainda, o desenvolvimento de materiais que agreguem propriedades diferenciadas, como, por exemplo, potencial condutor, associado a características morfológicas e dimensionais dos substratos, ampliam a aplicabilidade dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundepe (Fundação para o Desenvolvimento do Ensino, Pesquisa e Extensão) e aos institutos tecnológicos ittChip e ao ittFuse, que estão situados na Unisinos.

REFERÊNCIAS

K. Crowley, K.; Smyth, M.R.; Killard, A.J.; Morrin, A. **Printing polyaniline for sensor applications**, *Chem. Pap.*, vol. 67, no. 8, pp. 771–780, Dec. 2012

E. S. MARTINS. **Síntese e Caracterização de blendas de polianilina com altex de borracha natural**. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 66f. 2008.

Faez, R.; Reis, C.; Freitas, P. S.; Kosima, O.; Ruggeri, G.; De Paoli, M.A.. **Polímeros Condutores**. *Química Nova na Escola*, n11, p.1-6, Maio, 2000

Galiani, P. D.; Malmonge, J. A.; Santos, D. P.; Malmonge, L. F. **Compósitos de Borracha Natural com Polianilina**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 17, n. 2 p. 93-97, 2007.

Gomes, T.C.; Constantino, C.J.L.; Lopes, E.M.; Job, A.E.; Alves, N. **Thermal inkjet printing of polyaniline on paper**. *Thin Solid Films*, v. 520, n. 24, p. 7200–7204, Oct. 2012.

Han, M.G.; Cho, S.K.; Oh, S.G.; Im, S.S.. **Preparation and characterization of polyaniline nanoparticles synthesized from DBSA micellar solution**. *Synth. Met.*, v126, p. 53–60, Jan, 2002.

Mattoso, L.H. C. **Polianilina: Síntese, Estrutura e Propriedades**. *Química Nova*, 19(4), p. 388-399, 1996.

Medeiros, E.S.; Oliveira, J. E.; Consolin-Filho, N.; Paterno, L. G.; Mattoso, L.H.C. **Uso de Polímeros Condutores em Sensores. Parte 1: Introdução aos Polímeros Condutores**. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 7.2, p.62 – 77, Dez., 2012.

Morrin, A.; Ngamna, O.; O'Malley, E.; Kent, N.; Moulton, S.E.; Wallace, G.G.; Smyth, M.R.; Killard, A.J. **The fabrication and characterization of inkjet-printed polyaniline nanoparticle films**. *Electrochim. Acta*, vol. 53, no. 16, pp. 5092–5099, Jun., 2008

Ngamna, O.; Morrin, A.; Killard, A. J.; Moulton, S. E.; Smyth, M. R.; Wallace, G.G. **Inkjet printable polyaniline nanoformulations**. *Langmuir* v.23, p. 8569-8574, July, 2007.

Palaniappan, S.; John, A.. **Polyaniline materials by emulsion polymerization pathway**. *Progress in Polymer Science*, v.33, p. 732-758, July, 2008.

P. C. RODRIGUES. **Síntese, Caracterização e correlações estrutura/propriedades de redes mistas de Polianilina/Poliuretano com arquitetura molecular pré-desenhada**. Tese de Doutorado- Pós-graduação em Química, setor de ciências exatas- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 117f. 2004.

Xia, L.; Wei, Z.; Wan, M. **Conducting polymer nanostructures and their application in biosensors**. *Journal of Colloid and Interface Science*, v341, p. 1–11, 2010.

CAPÍTULO 21

AVALIAÇÃO DA ROTA DE SÍNTESE PARA OBTENÇÃO DE HIDROXIAPATITA NANOESTRUTURADA

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 12/01/2022

Thaíla Gomes Moreira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Engenharia Biomédica
Natal – RN
<http://lattes.cnpq.br/0968966207021956>

Kaline Melo de Souto Viana

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Escola de Ciências e Tecnologia
Natal – RN
<http://lattes.cnpq.br/3289446495842859>

Amanda Melissa DamiãoLeite

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Escola de Ciências e Tecnologia
Natal – RN
<http://lattes.cnpq.br/3077817092155432>

RESUMO: Biomateriais, aqueles que possuem compatibilidade com tecidos vivos sem que ocorram rejeições imunológicas, são altamente atrativos para aplicações biomédicas. Um integrante desse grupo de materiais é a hidroxiapatita (HAp), que possui excelente biocompatibilidade, alta osteoindução, estrutura e composição similares a fase mineral do osso humano – a apatita biológica. Este trabalho de pesquisa se propôs a obter HAp nanométrica, para que sua estrutura fosse o mais similar possível à biológica, através da síntese por reação de combustão, tendo como combustíveis glicina e ureia, posteriormente avaliando a

influência da escolha do combustível na estrutura da HAp obtida. Para tanto foram utilizados como métodos de caracterização as técnicas: DRX e MEV. Os resultados mostraram que utilizando os dois combustíveis foi possível obter a fase majoritária HAp, com grãos de tamanho micrométrico aglomerados heterogêneos de fácil desaglomeração, sendo a obtenção de HAp mais eficiente quando utilizada a glicina.

PALAVRAS CHAVE: Hidroxiapatita, reação de combustão, biomaterial

EVALUATION OF SYSNTESIS ROUTE FOR NANOESTRUCUTRED HYDROXYAPATITE OBTENTION

ABSTRACT: Biomaterials, those which have compatibility with living tissues, without immunological rejections, are highly attractive for biomedical applications. A member of this materials' group is hydroxyapatite(HAp), which has an excellent biocompatibility, high osteoinduction, structure and composition similar to the human bone's mineral phase, the biological apatite. This research work has the objective of obtaining nanometric HAp, so the structure was as similar as possible to the biological, through combustion reaction synthesis, using glycine and urea as fuel, after evaluating the influence of the fuel choice on the HAp structure obtained. For this purpose were used as characterization methods the techniques: XRD and SEM. The results showed that was possible to obtain the HAp as majority phase using both fuels, with micrometric heterogeneous particles agglomerates of easy deagglomeration, and that glycine was more efficient fuel to obtain HAp.

KEYWORDS: Hydroxyapatite, combustionreaction, biomaterial.

INTRODUÇÃO

Aproximadamente 70% do osso humano é composto por fosfatos de cálcio, consistindo esta parte inorgânica em uma fase amorfa e uma fase cristalina, formada pela apatita biológica [1]. Materiais cerâmicos a base desse fosfato vem atraindo cada vez mais atenção na área médico-odontológica devido a sua similaridade com o material biológico, e os principais exemplos disto são a hidroxiapatita (HAp) $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ e o β -fosfato tricálcio $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, devido a alta biocompatibilidade, excelente osteoindução, além de estrutura e composição muito próximas as do material biológico esquelético [2]. Sendo ainda a HAp muito utilizada em implantes odontológicos, cirurgias reconstrutoras e cirurgias ortopédicas, substituindo enxertos ósseos, como descrito na literatura médica.

São reportados, na literatura os usos dos mais diversos reagentes e métodos para sintetizar a HAp em laboratório, como exemplos deste ultimo temos: gravitacional [3], hidrotermal [4], micro-ondas [5], precipitação [6], reação de combustão [7] e sol-gel [8]. A escolha do método de síntese utilizado é feita levando-se em consideração o tamanho de partículas que se pode obter, sendo esta uma característica extremamente importante no que diz respeito a sua aplicação.

A caracterização dos pós obtidos pode ser realizada através da técnica de difração de raios-X (DRX), quanto a sua estrutura, microscopia eletrônica de varredura (MEV), quanto a sua morfologia e para análise química pode ser empregada à técnica de espectroscopia por energia dispersiva (EDS), entre outras.

Este trabalho se propôs a obter hidroxiapatita, de grãos nanoestruturados, através do método de síntese por reação de combustão, utilizando dois combustíveis: a glicina $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2]$ e a ureia $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, a fim de analisar a influência do tipo de combustível na estrutura e morfologia do biomaterial obtido. Tendo o método de síntese por reação de combustão sido escolhido devido a sua fácil execução e baixo custo, podendo ser utilizado para a produção de pós de HAp em larga escala.

A síntese por reação de combustão é ainda descrita por ALVES, BERGMANN e BERUTTI (2013) [9] como:

um método baseado no princípio de que uma vez iniciada uma reação sob calor, uma reação exotérmica ocorre e passa a se auto-sustentar durante certo intervalo de tempo, resultando em um pó como produto final. A reação exotérmica começa na temperatura de ignição e gera certa quantidade de calor que é chamada temperatura máxima ou temperatura de combustão. Solução por síntese de combustão tem a vantagem de produzir rapidamente pós-finos e homogêneos. Por ser um processo exotérmico e auto-sustentado, e com uma alta taxa de liberação de calor, pode ser explosiva e deve ser realizada com cuidado redobrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimento experimental

A figura 1 ilustra o procedimento de obtenção da hap.

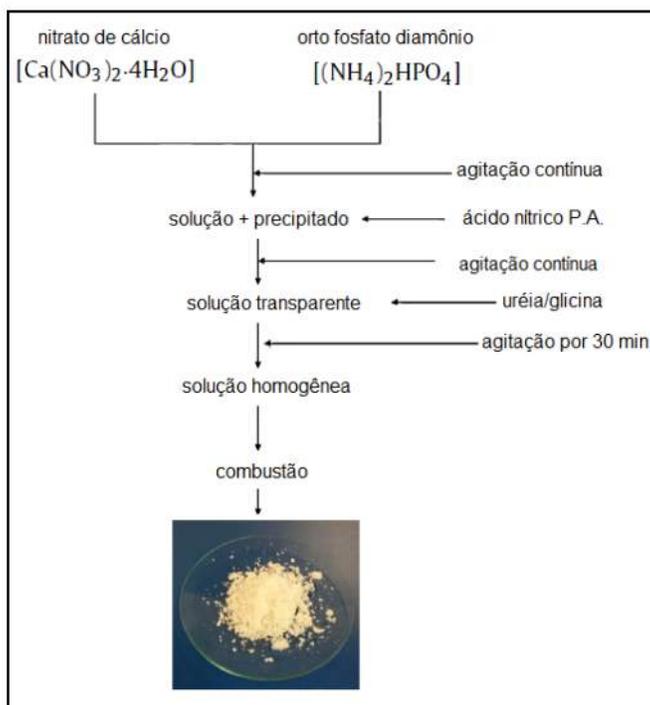


Figura 1 – Representação esquemática do processo de combustão de solução para síntese de HAP [10].

Para a realização das sínteses neste trabalho, foram seguidas a metodologia e proporções de reagentes propostas por Ghosh et al (2010) [7]. Como precursores de cálcio e fósforo utilizou-se nitrato de cálcio tetrahidratado (Vetec – Química Fina, Brasil) e fosfato de amônio di-básico (Vetec – Química Fina, Brasil). A mistura foi então colocada sob agitação magnética, e adicionada de ácido nítrico (Vetec – Química Fina, Brasil, 69%), em pequenas quantidades até a completa diluição do precipitado.

Posteriormente, a solução resultante, foi retirada do agitador e acrescida do combustível, sendo colocada sob agitação novamente. A solução foi então transferida para um cadinho e colocada em uma resistência elétrica para que houvesse a combustão.

O produto obtido foi deixado esfriando até atingir a temperatura ambiente, sendo macerado, pesado e dividido em quatro amostras de pesos semelhantes posteriormente. Três das amostras foram colocadas para calcinar em forno de mufla, com temperatura

inicial de 25°C até atingirem 600°C, 900°C e 1200°C, respectivamente, a uma taxa de 10°C/min e permanecendo nestas temperaturas durante 12 horas.

As etapas de obtenção dos pós de HAp por reação de combustão estão ilustradas nas Figuras 2 e 3, para os combustíveis glicina e ureia respectivamente.



Figura 2 – Etapas de obtenção de HAp por reação de combustão, utilizando glicina como combustível. (a) Aquecimento da mistura dos reagentes na resistência, (b) liberação dos gases provenientes da combustão e (c) pós da HAp obtido após a combustão completa.



Figura 3 – Etapas de obtenção de HAp por reação de combustão, utilizando ureia como combustível. (a) Aquecimento da mistura dos reagentes na resistência, (b) liberação dos gases provenientes da combustão e (c) pós da HAp obtido após a combustão completa.

CARACTERIZAÇÕES

A caracterização estrutural dos pós de HAp obtidos foi realizada pela técnica de Difração de Raios-X (DRX). Um difratômetro BRUKER de modelo D2 PHASER foi utilizado para registrar os dados em 2θ no intervalo de 3° a 70°. Os dados obtidos foram analisados utilizando o *software* Origin 9.4 e os picos classificados de acordo com a carta da JCPDS para HAp. E a caracterização morfológica foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizando microscópio eletrônico de mesa Hitachi de modelo TM-3000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Difração de raios-x (drx)

A partir da análise dos picos cristalográficos presentes nos difratogramas e sua comparação com a ficha padrão de HAp da JCPDS e resultados existentes na literatura, foi possível comprovar a formação da HAp como fase principal para os dois combustíveis

utilizados. No entanto, ocorreu também a formação de outras duas fases a β -fosfato tricálcio (β -TCP) que ocorre entre 20 e 30°, sendo esta fase similar a de HAp nas amostras de uréia, e a α -fosfato tricálcio (α -TCP) que ocorre entre 40-50°. Nas amostras de glicina, a fase predominante foi a HAp, que ocorre nos intervalos entre 10 e 20° e entre 30 e 40°, como ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Desse modo, é possível verificar, através dos difratogramas que o material obtido na síntese por reação de combustão não foi a fase hidroxiapatita pura como era desejada, mas sim uma mistura de três fases de fosfato de cálcio.

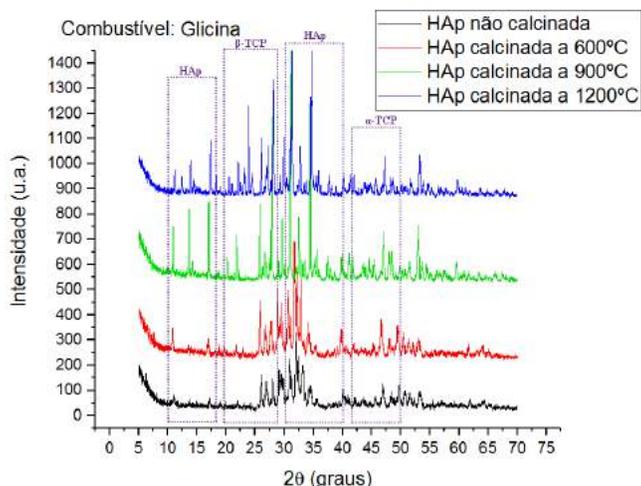


Figura 2 – HAp sintetizada utilizando glicina como combustível.

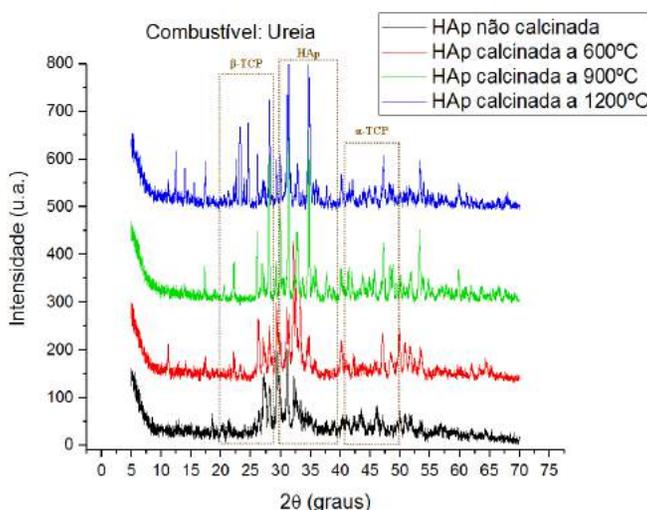


Figura 3 – HAp sintetizada utilizando ureia como combustível.

Microscopia eletrônica de varredura (mev)

Os resultados da análise morfológica demonstraram que o aumento na temperatura de calcinação e o tipo de combustível utilizados tiveram influência direta no que diz respeito a morfologia dos grãos, sendo os grãos da HAp sintetizada utilizando glicina como combustível menores, de formato mais irregular e seus aglomerados mais porosos, como mostrado nas Figuras 4 e 5.

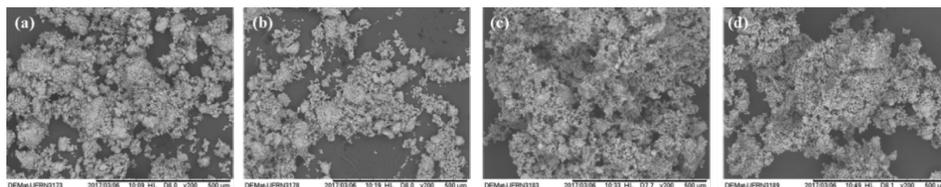


Figura 4 - Micrografias das amostras de HAp sintetizadas com o combustível glicina, com aumento de 200X. (a) Não calcinada, (b) Calcinada a 600°C, (c) Calcinada a 900°C, (d) Calcinada 1200°C.

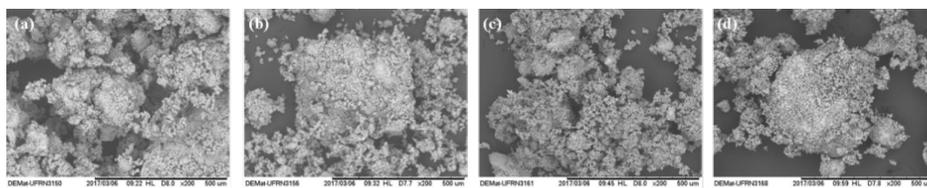


Figura 5 - Micrografias das amostras de HAp sintetizadas com o combustível ureia, com aumento de 200X. (a) Não calcinada, (b) Calcinada a 600°C, (c) Calcinada a 900°C, (d) Calcinada 1200°C.

CONCLUSÕES

Diferentemente do interesse inicial, as amostras sintetizadas neste trabalho não foram compostas apenas pela fase hidroxiapatita (HAp) e sim uma mistura de três fases de fosfatos de cálcio (HAp + β -TCP + α -TCP). Através da caracterização morfológica foi possível classificar os pós das amostras como aglomerados porosos, tendo as amostras de ureia tamanhos entre 2 e 10 μ m e as amostras de glicina entre 2,5 e 12 μ m. Através da análise dos resultados das caracterizações, concluiu-se que o combustível mais propício para a síntese de hidroxiapatita foi a glicina, uma vez que a fase predominante obtida foi a de HAp. No entanto, verifica-se a necessidade de melhoramento das condições de síntese para obter-se a HAp 100% pura.

REFERÊNCIAS

[1] P. Torkittikul, A. Chaipanich, *Optimization of calcium chloride content on bioactivity and mechanical properties of White Portland cement. Materials Science & Engineering C*, 32 (2), p.282-289, 2012.

- [2] M. Epple, D. Tadic, *Mechanically stable implants of synthetic bone mineral by cold isostatic pressing*. **Biomaterials**, 24, p.4565–4571, 2003.
- [3] A. J. Nathanael, S. I. Hong, D. Mangalaraj, P. C. Chen, “Large scale synthesis of hydroxyapatite nanospheres by high gravity method”. **Chemical Engineering Journal**, v. 173, p. 846– 854, 2011.
- [4] Elton Simomukay, **Síntese e Caracterização de Ortofosfatos de Cálcio dopados com Nióbio (V) por meio da Rota Hidrotérmica e Avaliação de Citocompatibilidade**. 2013. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Aplicada, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013. Cap. 3, p. 63, 68-70.
- [5] S. J. Kalita, S. Verma, “Nanocrystalline hydroxyapatite bioceramic using microwave radiation: Synthesis and characterization”. **Materials Science and Engineering C**, v. 30, p. 295–303, 2010.
- [6] M. S. O. Araújo, M. V. L. Fook, G. T. F. S. Furtafo, M. F. A. Silva, O. B. Melo, Síntese E Caracterização De Hidroxiapatita Carbonatada Obtida Pelo Método De Precipitação. In: Congresso Latino-Americano De Órgãos Artificiais E Biomateriais, 7., 2012, Natal.
- [7] S. K. Ghosh, S. K. Roy, B. Kundu, S. Datta, D. Basu, “Synthesis of nanosized hydroxyapatite powders through solution combustion route under diferente reaction conditions”. **Materials Science and Engineering B**, v. 176, p. 14–21, 2009.
- [8] L. R. Rodrigues, **Síntese e caracterização de hidroxiapatita e titânia nanoestruturadas para a fabricação de compósitos**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Cap. 3, p. 28-30.
- [9] Annelise Alves, Carlos P. Bergmann, Felipe Amorim Berutti, Combustion Synthesis. In: Alves, Annelise Alves, Carlos P. Bergmann, Felipe Amorim Berutti, **Novel Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials**. [s. L.]: Springer Science & Business Media, 2013. Cap. 2. p. 12-13.
- [10] T. L. Santos, A. M. D. Leite, K. M. S. Viana, ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMBUSTÍVEL NA OBTENÇÃO DE HAP VIA REAÇÃO DE COMBUSTÃO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais / CBECiMat**. Natal: [s.n.], 2016. p. 92 - 99.
- [11] R. G. Carrodeguas, S. De Aza, *α-Tricalcium phosphate: Synthesis, properties and biomedical applications*. **Acta Biomaterialia**, [s.l.], v. 7, n. 10, p.3536-3546, out. 2011.
- [12] S. Sasikumar, R. Vijayaraghavan, *Synthesis and Characterization of Bioceramic Calcium Phosphates by Rapid Combustion Synthesis*. **Journal Of Materials Science & Technology**, [s.l.], v. 26, n. 12, p.1114-1118, dez. 2010.
- [13] D. F. Williams, *On the mechanisms of biocompatibility*. **Biomaterials**, Vol.29, No.20, (April 2008), pp. 2941-2953, ISSN 0142-9612.

MONITORAMENTO DE RESÍDUOS DE ANTIBIÓTICOS EM LEITE PRODUZIDOS EM SERGIPE E COMERCIALIZADO NA CIDADE DE ARACAJU

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 10/11/2021

Gislaine Santos Santana Leal

Instituto Federal de Sergipe
Aracaju – Sergipe
Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/7780036323897148>

Adalberto Menezes Filho

Instituto Federal de Sergipe
Aracaju – Sergipe
Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3905834700921818>

Antônio Sérgio Oliveira dos Santos

Instituto Federal de Sergipe
Aracaju – Sergipe
Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/9044537612196090>

RESUMO: O leite é um alimento de alto valor nutricional e altamente suscetível à contaminação por resíduos de antimicrobianos usados no tratamento de doenças no gado leiteiro. O objetivo desta pesquisa foi determinar e monitorar resíduos dos antibióticos sulfamerazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina no leite produzido em Sergipe e comercializado em Aracaju, comparando com o limite máximo de resíduos (LMRs) estabelecido pela resolução do MERCOSUL GMC n. 54/2000, adotado pelo Brasil estabelecendo o LMR de $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ no leite para os compostos descritos. A validação do método teve uma boa faixa linear entre 100 e $1000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ com r^2 maior que 0,99

e recuperações entre $81,2 \pm 4,9\%$, $86,3 \pm 2,5\%$ e $104,5 \pm 0,3\%$ no nível de fortificação de $250 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para sulfadimetoxina, sulfamerazina e sulfametoxazol, respectivamente, e limites de detecção e quantificação entre 50,0 a $80,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e 100 a $250 \mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivamente. O método validado foi aplicado na análise de 16 amostras de leite tipo C. Em todas as amostras de leite analisadas o antibiótico sulfametoxazol foi detectado na faixa de concentração de 489,4 a $842,56 \mu\text{g.kg}^{-1}$ mostrando que estava acima do limite permitido pelo Ministério da Agricultura.

PALAVRAS-CHAVE: Leite, antibiótico, SPE, CLAE-DAD.

MONITORING OF ANTIBIOTIC RESIDUES IN MILK PRODUCED IN SERGIPE AND MARKETED IN THE CITY OF ARACAJU

ABSTRACT: Milk is a food of high nutritional value and highly susceptible to contamination by antimicrobial residues used in the treatment of diseases in dairy cattle. The objective of this research was to determine and monitor residues of the sulfamazine, sulfamethoxazole and sulfadimetoxin antibiotics in milk produced in Sergipe and marketed in Aracaju, compared with the maximum residues limit (MRLs) established by MERCOSUR resolution GMC n. 54/2000, adopted by Brazil establishing the MRL of $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ in milk for the compounds described. The validation of the method had a good linear range between 100 and $1000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ with r^2 higher than 0.99 and recoveries between $81.2 \pm 4.9\%$, $86.3 \pm 2.5\%$ and $104.5 \pm 0.3\%$ at the fortification level of $250 \mu\text{g.kg}^{-1}$ for sulfadimetoxin, sulfamazine and sulfamethoxazole, respectively, and limits of

detection and quantification between 50.0 to 80.0 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 100 to 250 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The validated method was applied in the analysis of 16 samples of milk type C. In all samples of milk analyzed the antibiotic sulfamethoxazole was detected in the concentration range of 489.4 to 842.56 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ showing that it was above the limit permitted by the Ministry of Agriculture.

KEYWORDS: Milk, antibiotic, SPE, HPLC-DAD.

1 | INTRODUÇÃO

O leite é considerado um alimento de alto valor nutricional por ser fonte de carboidratos, vitaminas, minerais e proteínas, essenciais na alimentação humana. Embora o consumo nacional seja considerado baixo, cerca de 174 litros por habitante por ano (CONAB, 2016), o Brasil ocupa o quarto lugar no ranking mundial de produção de leite (EMBRAPA, 2008). Em Sergipe a atividade leiteira concentra-se principalmente no alto sertão. Segundo a agência de notícias Sergipe (2015), no ano passado foram processados em média 640 mil litros de leite por dia na região, o que a destaca como o principal pólo produtor de leite do estado. Portanto, esta atividade confere sustentabilidade tanto no campo produtivo quanto no campo social, contribuindo para garantir a criação de inúmeros empregos e geração de renda capaz de minimizar o fluxo migratório no sentido rural / urbano.

Do ponto de vista da saúde pública, o leite ocupa um lugar de destaque na alimentação humana, pois constitui um alimento essencial para todas as idades, principalmente os recém-nascidos, e o mesmo se aplica a todos os derivados lácticos (OLIVEIRA, *et al*, 1999). No entanto, uma série de fatores, como raça, idade e alimentação animal, estágio de lactação, variações climáticas ou infecções do úbere da vaca (CAMARGO, *et al*, 1984 in [6] PELCZAR, *et al*, 1996), podem alterar sua composição química.

As infecções do úbere, mesmo que subclínicas têm grande influência na composição do leite. O principal efeito é a redução da concentração de gordura, lactose e caseína e o aumento do teor de proteínas e cloretos do soro. Estados mais avançados de infecção resultam em leite com uma composição química diferente do normal. A mastite bovina é uma doença multifatorial de etiologia complexa e variada e está disseminada em todas as regiões produtoras de leite. A maioria das infecções é de origem bacteriana, predominando *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus agalactiae* (PELCZAR, *et al*, 1996).

Por causa dessas infecções, os antibióticos têm sido amplamente utilizados em fazendas e mesmo em muitos casos, indiscriminadamente, para fins terapêuticos, principalmente para a cura de mamíferos, ou incorporados à ração animal como suplemento dietético. Tais procedimentos levam à presença de resíduos de antibióticos, representando um risco para o consumidor e, portanto, um grave problema na área econômica e de saúde pública. O abuso de medicamentos veterinários, especialmente em países onde seu emprego não é monitorado de perto, poderia ser corrigido por meio de informações

suficientes e precisas aos usuários, atendidos por cooperativas e centros de apoio técnico do governo. A divulgação de boas práticas veterinárias e agrícolas levaria a uma redução dos níveis dessas substâncias e deixaria de ser do interesse público. No Brasil, não existe uma política de longo prazo de organização e manutenção de estrutura adequada para o controle do uso de medicamentos veterinários (MINIUSSI, 1992 *apud* NASCIMENTO, *et al*, 2001). A real efetividade desses programas depende não somente da gestão, mas do papel fundamental dos produtores e os funcionários que atuam na área.

Por esse motivo, existe a preocupação em produzir alimentos isentos de contaminantes, sendo imprescindível garantir uma produção de alimentos que não ofereçam riscos à saúde dos consumidores. O respeito às recomendações da legislação brasileira deve ocorrer em toda a cadeia produtiva. Dessa maneira, deve haver rígido controle de qualidade do produto que pode apresentar resíduos desses antimicrobianos, causando danos à saúde do produtor, da indústria e do consumidor.

O Plano Nacional de Controle de Resíduos Biológicos em Produtos de Origem Animal (NPCBR), Instrução Normativa / MAA nº 42 de 20 de dezembro de 1999, instituído pelo Ministério da Agricultura com o objetivo de sistematizar os meios de controle da contaminação desses produtos por resíduos de compostos usados na agricultura, adota a Resolução GMC nº 54/2000 do MERCOSUL, que estabelece como limite máximo de resíduos (LMR) para sulfamazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina o valor de 100 $\mu\text{g kg}^{-1}$ no leite para cada tetraciclina (BRASIL, 1998). É crescente a preocupação com a presença de antibióticos no leite e os possíveis riscos à saúde, sendo necessário controlar e monitorar os níveis residuais desses compostos para cumprir a legislação em vigor no país para prevenir e proteger o consumidor.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo determinar e monitorar resíduos dos antibióticos sulfamazina, sulfametoxazol e sulfadimetoxina em amostras de leite produzidas em Sergipe e comercializadas na cidade de Aracaju, comparando os valores determinados com o limite máximo de resíduos (LMR) estabelecido por a legislação adotada pelo Brasil. No desenvolvimento das análises, foram aplicadas as técnicas de extração em fase sólida (SPE) para o isolamento e extração dos resíduos de antibióticos no leite e análises por cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por arranjo de diodo (HPLC-DAD).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes e preparo das soluções

Foi usado metanol de grau de HPLC (J. T Baker) na preparação de soluções de estoque e de trabalho a partir de padrões de antibióticos de pureza média de 75%. A partir das soluções estoque, foi preparada uma mistura de antibióticos denominada mix, na concentração de 10 mg.L^{-1} , para fortificação das amostras de leite e posteriores testes de

extração. Foram utilizados ácido clorídrico 2,0 mol L⁻¹, metanol grau HPLC (J. T Baker) e água ultrapura para otimizar as condições de extração.

2.2 Condições cromatográficas

As análises foram realizadas usando cromatografia líquida de alto desempenho (CLAE) Shimadzu (Kyoto, Japão) LC-20A consistindo em degaseificador DGU-20A3, bomba LC-20AD, controlador de sistema CBM-20A, forno de coluna SIL-20AC self-CTO-20AC com coluna NST C18 (150mm x 4,6mm x 5µm) a 35°C e detector UV-VIS com arranjos de fotodiodo SPD-M20A, ajustado para 265nm. O conjunto ácido oxálico 0,01 M: Acetonitrila: Metanol (72: 20: 8) e Trietilamina 0,1% foi usado como fase A e metanol como fase B. A eluição foi empregada no modo gradiente, mantendo o fluxo constante de 1 ml .min⁻¹.

2.3 Preparação e fortificação das amostras

A extração dos antibióticos para o leite foi possível a partir de um volume de 5 mL de leite e fortificação com 100 µL da mistura de antibióticos 10 mg.L⁻¹, seguida de centrifugação por 5 min a 3500 RPM, adição de 5 mL de ácido clorídrico 2 mol L⁻¹, agitando na mesa agitadora por 10 min a 180 RPM e centrifugação por 20 min a 3500 RPM. O sobrenadante foi coletado e filtrado em membrana de náilon (0,20 µm) para o cartucho SPE previamente condicionado com 3 ml de metanol e 3 ml de água ultrapura (2 vezes em sucessão). Os analitos foram eluídos com 3 ml de metanol e recolhidos em frascos de destilação para posterior rotavaporação e análise por HPLC-DAD.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desenvolvimento das condições cromatográficas por HPLC-DAD

As condições de análise por cromatografia líquida utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) modelo Shimadzu (Kyoto, Japão) modelo LC-20A e coluna C18 NST (150 mm x 4,6 mm x 5µm) foram obtidas pelo estudo das variáveis de análise. Das fases móveis testadas, o conjunto 0,01M: Acetonitrila: Metanol (72: 20: 8) e 0,1% Trietilamina como Fase A e Metanol como Fase B apresentou a melhor separação dos analitos e possibilitou uma boa detecção e quantificação dos compostos. Foi empregada a eluição em modo gradiente, mantendo o fluxo constante de 1 mL . min⁻¹ com detecção em 265nm. O volume de injeção foi de 10 µl e eluição com a coluna mantida a uma temperatura de 35 ° C. Posteriormente foi elaborada uma curva analítica para verificar o limite / faixa de detecção dos analitos nessas condições (Tabela 1). A Figura 1 mostra o cromatograma dos antibióticos estudados com detecção em 265 nm.

Variáveis estudadas	Condições estabelecidas
Fase móvel	Fase A: 0.01 mol.L ⁻¹ Ácido oxálico: Acetonitrila: Metanol (72: 20: 8) e 0.1% Trietilamina Fase B: Metanol
Proporções de fase móvel	Gradiente: 0.01 min.: 5% B; 1min: 5% B; 10 min.: 15% B; 15 min.: 5% B; 18 min.: 5%B.
Fluxo de fase móvel	1 ml.min ⁻¹
Tempo de análise	18 minutos
Volume de injeção	10 µL
Temperatura do forno	35°C
Detecção	265nm

Tabela 1: Condições de análise cromatográfica.

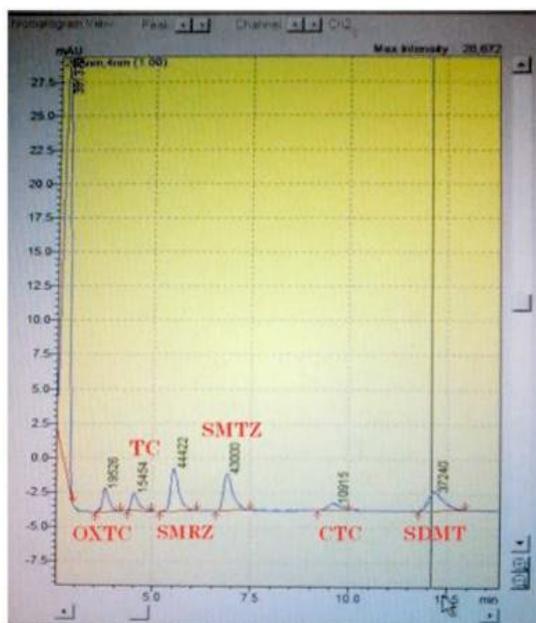


Fig. 1 Cromatograma obtido na injeção de solução padrão de 10 µL (1,0 mg.L⁻¹) nas condições de análises estabelecidas. Identificação de picos: OXTC: oxitetraciclina; TC: tetraciclina; SMRZ: sulfamerazina; SMTZ: sulfametoxazol; CTC: clortetraciclina; SDMT: sulfadimetoxina.

3.2 Desenvolvimento das condições de extração por SPE

Para o desenvolvimento das análises foi utilizada a técnica de extração em fase sólida (SPE) para isolar e extrair os resíduos dos antibióticos presentes no leite e análises por cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por arranjo de diodos (CLAE-DAD). Para isso, foi necessária a utilização de uma amostra de leite no desenvolvimento do método. A estratégia metodológica consistiu na centrifugação por 5 min (3500 rpm) de

uma amostra de 5,0 mL de leite fortificado com 100,0 μL de uma mistura de antibióticos com posterior adição de 5,0 mL de ácido clorídrico 2,0 mol.L⁻¹ e agitação na mesa agitadora por 10 min (180 RPM). O sobrenadante foi filtrado através de um filtro de náilon de 0,20 μm , coletado diretamente em cartucho SPE C18 previamente condicionado com água ultrapura e metanol (grau HPLC) e eluído com 3,0 mL de metanol. O eluato foi concentrado por rotavaporação e analisado por HPLC-DAD.

3.3 Avaliação das taxas de recuperação das amostras

Com todos os parâmetros de análise otimizados, o método foi validado de forma a garantir a confiabilidade dos resultados metodológicos. A técnica empregada permitiu valores de recuperação dentro dos limites permitidos na Literatura (70-120%) demonstrando sua eficiência no processo de extração (Tabela 2).

Antibióticos	Recuperação (%)		
	100 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$	250 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$	1000 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$
Sulfamerazina	84.2 \pm 5.3	86.3 \pm 9.3	74.4 \pm 3.4
Sulfametoxazol	94.7 \pm 8.6	104.5 \pm 3.8	78.4 \pm 6.5
Sulfadimetoxina	68.9 \pm 6.4	81.2 \pm 5.7	80.1 \pm 9.5

Tabela 2: Taxas de recuperação obtidas na técnica de extração por SPE.

No nível inferior de fortificação (100 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$) os limites de quantificação foram obtidos, as recuperações variaram de 68,9% a 94,7% com um desvio padrão relativo variando de 5,3% a 8,6%. No nível intermediário (250 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$) as recuperações variaram de 81,2% a 104,5% com um desvio padrão relativo variando de 3,8% a 9,3%. No nível mais alto (1000 $\mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$) as recuperações variaram de 74,4% a 80,1% com desvio padrão relativo variando de 3,4% a 9,5%. As recuperações obtidas encontram-se dentro da faixa adequada (70 a 120%) conforme estabelecido pela ANVISA (2016), com boa precisão entre as medidas (abaixo de 15,0%) (TOALDO, 2011) [9-12].

3.4 Validação do método

A validação do método avaliou os parâmetros da faixa linear de trabalho, limite de detecção e limite de quantificação. Estão descritos os valores obtidos na Tabela 3.

O método validado foi aplicado na análise de 16 amostras de 4 diferentes marcas de leite tipo C produzidas em Sergipe e comercializadas na cidade de Aracaju.

ANTIBIÓTICOS	Faixa de trabalho ($\mu\text{g. kg}^{-1}$)	Limite de detecção ($\mu\text{g. kg}^{-1}$)	Limite de quantificação ($\mu\text{g. kg}^{-1}$)
Sulfamerazina	100 - 1000	80	250
Sulfametoxazol	100 - 1000	50	100
Sulfadimetoxina	100 - 1000	80	250

Tabela 3: Parâmetros de validação do método.

As análises foram realizadas ao longo de quatro semanas consecutivas com amostras de leite tipo C produzidas em diferentes regiões do estado. Cada amostra foi analisada em triplicata e antes da análise foi realizado um branco no sistema cromatográfico, a fim de evitar o efeito de memória e aumentar a precisão e exatidão das análises. A área considerada para o cálculo da concentração foi a média aritmética das áreas obtidas em cada análise. Em todas as amostras de leite analisadas o antibiótico sulfametoxazol foi detectado na faixa de concentração de 489,4 a 842,56 $\mu\text{g. kg}^{-1}$, mostrando que está acima do limite permitido pelo Ministério da Agricultura (100 $\mu\text{g. kg}^{-1}$) (Tabela 4).

AMOSTRAS	SMTZ Concentração ($\mu\text{g. kg}^{-1}$)	Abaixo do LMR	Acima do LMR
Marca 1	842.56	-	✓
Marca 2	714.12	-	✓
Marca 3	489.43	-	✓
Marca 4	580.88	-	✓

Tabel 4: Valor médio dos resultados obtidos pela análise de amostras de leite produzidas em Sergipe e comercializadas na cidade de Aracaju.

Os cromatogramas obtidos nas análises de amostra são mostrados nas Figuras 2 e 3.

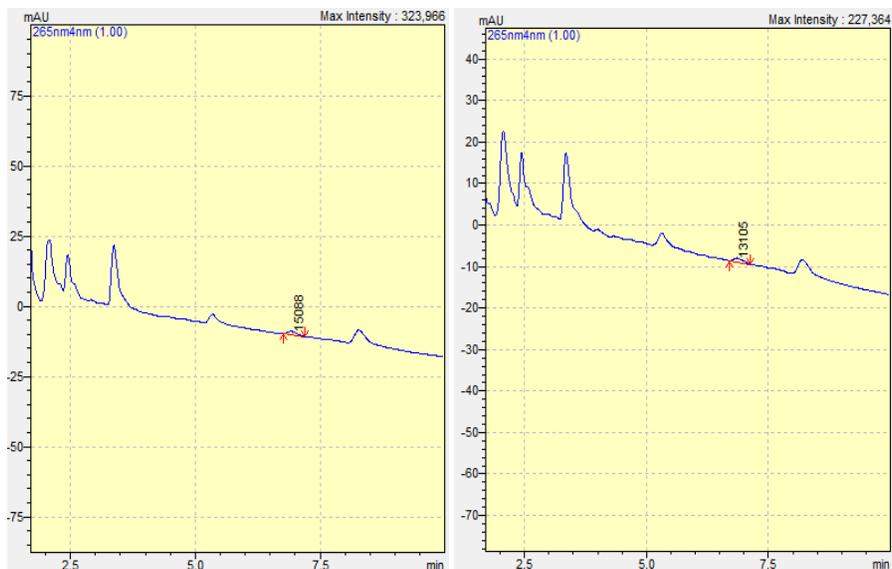


Figura 2: Cromatogramas obtidos na análise das amostras de leite da Marca 01 (a) e da Marca 02 (b).

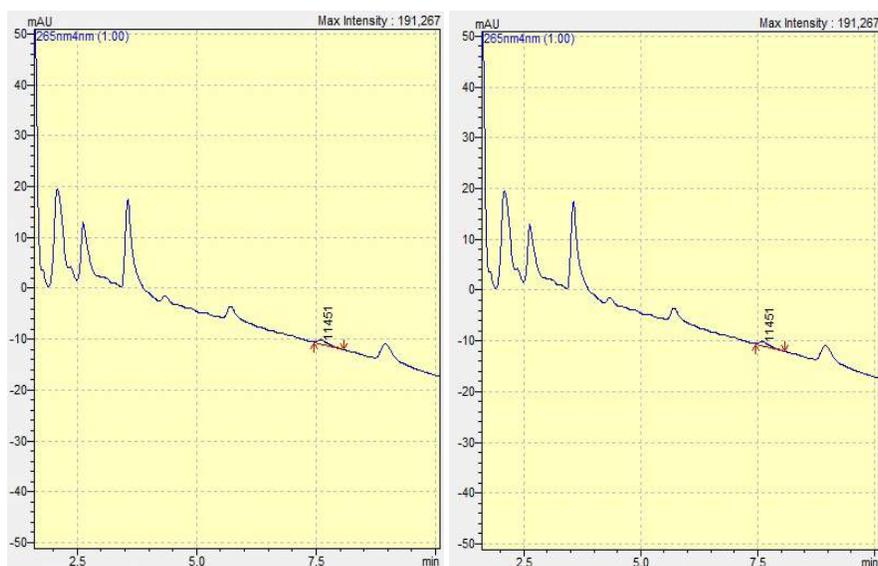


Figura 3: Cromatogramas obtidos na análise das amostras de leite da Marca 03 (c) e da Marca 04 (d).

4 | CONCLUSÃO

Foi aplicado um método rápido, simples, direto e de baixo custo, baseado em cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa, para a determinação de resíduos de antibióticos em amostras de leite produzidas no Estado de Sergipe. Os resultados deste estudo permitiram o monitoramento de resíduos do antibiótico Sulfametoxazol em todas as

amostras analisadas na faixa de concentração de 489,4 a 842,56 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, mostrando que está acima do limite permitido pelo Ministério da Agricultura (100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir para o desenvolvimento de programas de monitoramento de resíduos de antibióticos no leite e assim possibilitar para o fortalecimento do agronegócio e da agricultura familiar em nosso estado, bem como para garantir a qualidade dos produtos produzidos e comercializados em nossa região.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

REFERÊNCIAS

Agência de Notícias de Sergipe. **Sergipe vai produzir 184 milhões de litros de leite em 2015**. Disponível em: <<http://www.agencia.se.gov.br/noticias/agricultura/sergipe-deve-produzir-184-milhoes-de-litros-de-leite-em-2015>>. Acessado em 23 de março de 2016.

BRASIL. Portaria n.72, de 03 junho de 1998. **“Ministério da Agricultura, Abastecimento e Reforma Agrária institui Programa de Controle e Resíduos Biológicos do Leite - PCRBL”**. Diário oficial da união, Brasília, n.107, p.131. 08 jun. 1998. Seção 1.

DENOBILE, D. ; NASCIMENTO, E. de S. **“Validação de um método para a determinação de resíduos de antibióticos oxitetraciclina, tetraciclina, clortetraciclina e doxiciclina em leite por cromatografia líquida de alta eficiência.”** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v.40, n. 2, pág. 209-218, 2004.

FRAZIER, W.C., WESTHOFF, D.C. **Microbiology of foods**. Zaragoza: Acribia, 1978. p.274-300

FURLONG, J. (Ed.). **Doenças de bovinos adultos**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1992. p.169-174.

MINIUSSI, J.T. **Resíduos de medicamentos veterinários nos alimentos de origem animal**. Em: CHARLES, T.P., FURLONG, J. **Doenças dos bovinos de leite adultos**. 1º. Edição. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, v.1, n. 2, pág. 169-174, 1992.

OLIVEIRA, A.J., CARUSO, J.G.B. **Leite: características, composição química, propriedades, obtenção higiênica, conservação e tratamento**. Em: CAMARGO, R. et al. (Ed.). Tecnologia Agrícola. São Paulo: NOBEL, 1984. p.191-203.

OLIVEIRA, C. A. F. , FONSECA, I. F. L. ; GERMANO, P. M. L. **“Aspectos relacionados à produção, que influenciam a qualidade do leite.”** Higiene Alimentar, v. 13, n. 62, pág. 16/10/1999.

PELCZAR, M.J., CHAN, E.C.S., KRIEG, N.R. **Microbiologia**. São Paulo: Makron Books, 1996. v.2, p.22-40. Em: NASCIMENTO, Gislene G. F. do, MAESTRO, V., CAMPOS M. S. P. de. **“Ocorrência de resíduos de antibióticos no leite comercializado em Piracicaba, Sp.”** Rev. Nutr. vol.14 no.2 Campinas mai / ago.

SOUZA, A. F. L. M. F. G. C. R. “**Conab - Empresa Nacional de Abastecimento: leite e produtos lácteos.**” 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/olacms/uploads/arquivos/16_05_04_17_33_34_leite_abril_2016.pdf>. Acessado em 23 de setembro de 2016.

TOALDO, I. M. “**Desenvolvimento e validação de um método multirresíduos para a determinação de resíduos antimicrobianos no leite por HPLCFL / DAD e HPLC-MS / MS.**” 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ZOCCAL, R. “**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**” Brasília: EMBRAPA, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/consumo/consumo.php>>. Acesso em 24 de julho de 2015.

REMOÇÃO DE METAL PESADO POR BIOMASSA OBTIDA A PARTIR DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 10/11/2021

Helder Lopes Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE
Cascavel-PR
<http://lattes.cnpq.br/9132859136455960>

Isamara Godoi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE
Cascavel-PR
<http://lattes.cnpq.br/7233150021012256>

Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE
Cascavel-PR
<https://orcid.org/0000-0001-7179-4336>

Débora Danielle Virginio Silva

Universidade de São Paulo – USP
Araraquara-SP
<http://lattes.cnpq.br/6518881525553587>

Maria das Graças Almeida Felipe

Universidade de São Paulo – USP
Lorena-SP
<http://lattes.cnpq.br/3986461691816820>

Luciane Sene

Universidade Estadual do Oeste do Paraná –
UNIOESTE
Cascavel-PR
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8649-7323>

RESUMO: A lignina contida no licor negro gerado durante a deslignificação alcalina da celulose para produção de bioetanol foi precipitada com H_2SO_4 e avaliada como biossorvente de íons $Pb(II)$ em solução aquosa. O planejamento experimental e a metodologia de superfície de resposta foram realizados com o objetivo de reduzir o número de experimentos e obter as melhores condições para o procedimento de biossorção. Três fatores em três níveis foram estudados: pH inicial (3; 4 e 5), massa biossorvente (50; 100 e 150 mg) e concentração inicial de $Pb(II)$ (40; 60 e 80 $mg L^{-1}$). Os resultados indicaram que quanto maior a concentração do metal, menor a quantidade necessária de biossorvente na remoção do $Pb(II)$. A quantidade de $Pb(II)$ adsorvida pela lignina foi de 60,4 $mg g^{-1}$ e correspondeu à remoção de 75,5%.

PALAVRAS-CHAVE: licor negro, desenho experimental, lignina, adsorção de $Pb(II)$, bagaço de cana-de-açúcar

REMOVAL OF HEAVY METAL BY BIOMASS FROM BIOETHANOL PRODUCTION PROCESS

ABSTRACT: Lignin contained in the black liquor generated during alkaline delignification of cellulose for bioethanol production was precipitated with H_2SO_4 and evaluated as biosorbent of $Pb(II)$ ions in aqueous solution. Experimental design (DOE) and response surface methodology (RSM) were carried out in order to reduce the number of experiments and achieve the best conditions for biosorption procedure. Three factors at three levels were studied: initial pH (3; 4 and 5), biosorbent mass (50; 100 and

150 mg), and initial Pb(II) concentration (40; 60 and 80 mg L⁻¹). The results indicated that the higher the metal concentration, the lower was the required amount of biosorbent in Pb(II) removal. Pb(II) amount adsorbed by lignin was 60.4 mg g⁻¹ and corresponded to removal 75.5%.

KEYWORDS: black liquor, experimental design, lignin, Pb(II) adsorption, sugarcane bagasse

1 | INTRODUCTION

Most of heavy metals present in aquatic environments cause severe damage to human and aquatic life and can bioaccumulate in these organisms (Wang et al., 2015). They are considered not biodegradable and must be removed from polluted water streams in order to meet increasingly stringent environmental quality standards (Vasconcelos et al., 2009).

Lead is one of the most widespread toxic heavy metal contaminants in the environment and its contamination in drinking water is a major source of concern due to its detrimental effect on human health. It can also cause a range of negative effects, from behavioural problems and learning disabilities to death (Yadav et al., 2014). Such effects are mainly associated to their bioaccumulation in bones (half-time over 20 years) and enzymes inhibition, which results in a probable carcinogenic agent (Morosanu et al., 2017). The highest amount of pollution with Pb(II) comes from textile dyeing, ceramic and glass industries, as well as electroplating, metallurgy, petroleum refining, plastic and battery manufacture and mining operations (Farooq et al., 2010). Thus, it is extremely important to reduce Pb(II) concentration in industrial effluents before their discharge into the environment.

Several processes of heavy metals elimination, mainly lead, are used: precipitation, electro-precipitation, electro-coagulation, cementing and separation by membrane, solvent extraction and exchange of ions on resins (Naima et al., 2013). Since the conventional methods for heavy metals removal are either too expensive or create large amounts of toxic sludge, attention has been paid to biosorption, technology that use microorganisms (Golab et al., 1991) or cheap, abundant, organic waste for sequestering pollutants from contaminated environments (Sadeek et al., 2015). Recent studies showed that common agricultural waste products or natural polymers could be used as potential biosorbents to remove heavy metals from wastewater (Sadeek et al., 2015).

The use of lignocellulosic biomass is an interesting and innovative adsorption process. This fact happens due its major constituents, which offer a large variety and abundance of functional groups that can act out as active sites on the biomaterial surface (Morosanu et al., 2017).

Lignin is one of the world's most abundant natural polymeric material, just like cellulose and chitin. It is a polymer of aromatic subunits usually derived from phenylalanine, such as coniferyl alcohol and other monolignols. It serves as a matrix around polysaccharide components of some plant cell walls, providing additional rigidity and compressive strength

as well rendering the walls hydrophobic and water impermeable (Whetten and Sederoff, 1995).

Lignin-related studies have revealed that it is a promising material to be used as an adsorbent, consequently it can remove heavy metal ions from wastewater (Yao et al., 2014). Several processes including ion exchange, surface adsorption, and complexation have been suggested by several researchers to explain the mechanisms of metal adsorption by lignin. However, detailed studies on understanding the exact mechanism of adsorption are yet to be reported (Ahmed and Ahmaruzzaman, 2016). Chemical modification of lignin, including crosslinking and functionalization, has been necessary to improve its adsorptive properties (Yao et al., 2014; Yan and Li, 2016). However, most of the existing studies have utilized lignin directly as an adsorbent material (Yao et al., 2014).

Currently, lignin is mainly obtained as a by-product of the papermaking industry and often directly burned as a fuel for energy generation (Barana et al., 2016). Large amounts of lignin are expected to be produced in future biorefineries as a by-product of biofuel production, which is stimulating new emerging applications, mainly as sustainable alternatives to non-renewable products such as polyurethanes, thermoplastic polymers, epoxy and phenolic resins as well as corrosion inhibitors (Brosse et al., 2011).

Along the last few years, experimental design (DOE) and response surface methodology (RSM) have been employed to optimize heavy-metals biosorption. The factorial experimental design involves using independent variables such as pH, initial metal concentration and biosorbent dosage and varying them from one experiment to the next, while response surface methodology involves a collection of mathematical and statistical techniques useful for analysing the effects of several independent variables on the response (Martin-Lara et al., 2011). Therefore, besides this methodology demands a reduced number of experimental trials to evaluate multiple parameters and their interactions, it plays a key-role in the process design and optimization, as well as the improvement of existing design (Tabaraki et al., 2014).

Thus, the use of lignin recovered from delignification step of biomass during bioethanol production process as biosorbent for heavy metals may represent an important contribution to the industrial implementation of bioethanol, mainly regarding lignin valorisation, as well as to minimize residues and environmental impacts of these chemical bio-industries. Although lignin extracted from black liquor of paper and pulp-manufacturing industry has been investigated for heavy metals sequestration in aqueous solutions, there are no reports in the literature, until this date, on the characterization and use of bioethanol-derived-lignin for this purpose. Therefore, the present research aimed at investigating lignin resulting from alkaline delignification of sugarcane bagasse during ethanol production as biosorbent of Pb(II) ions in aqueous solutions. Experimental design and RSM were used to study the effect of pH, initial Pb(II) concentration and lignin mass on biosorption. The kinetic parameters were also evaluated using the biosorption measurements. FTIR analysis was

conducted to identify the functional group involved in the biosorption process.

2 | MATERIAL AND METHODS

Preparation of Biosorbent

The lignin used as adsorbent came from a study on bioethanol production of sugarcane bagasse. Firstly, the bagasse was submitted to acid hydrolysis treatment, using 1% H_2SO_4 (w/v), solid-liquid ratio of 1:10, at 121°C for 20 minutes. After separation of hemicellulosic hydrolysate by filtration using filter paper, the solid mass (cellulignin) was delignified using 1.5% (w/v) NaOH, 1:20 solid-liquid ratio, at 100°C for an hour. The obtained black liquor was separated from the solid mass (cellulose residue) by filtration using filter paper.

For the recovery of lignin from black liquor, different acids such as acetic, chloridric and sulfuric and pH values were tested, and the best result was obtained with H_2SO_4 at pH 2. After acidification, lignin was separated by centrifugation in 50 mL tubes for 15 minutes at 2050 x *g* and the supernatant was discarded. The precipitated lignin was resuspended in distilled water, centrifuged again, and process was repeated for three times. The resulting lignin was oven dried at 60°C for 6 hours.

Preparation of Pb(II) Solution

A stock solution of Pb(II) (1.0 g L^{-1}) was prepared by dilution of Titrisol (Merck) flasks with distilled water. The stock solution was further diluted to obtain the desired initial concentrations (40-80 mg L^{-1}). NaOH and HCl solutions of 0.1 mol L^{-1} were used to adjust initial pH to the required value of each test solution before mixing the biosorbent. All chemical reagents were of analytical grade.

Batch Biosorption Experiments of Pb(II)

For biosorption experiments under batch operation, 125-mL Erlenmeyer flasks containing 50 mL of aqueous solution with biosorbent quantity and Pb(II) concentration ranging from 50 to 150 mg and from 40 to 80 mg L^{-1} , respectively, were used. The initial pH varied from 3 to 5 and was adjusted with NaOH and HCl solutions, both of them at 0.1 mol L^{-1} . The experiments were carried out in a shaker incubator at 25 °C and constant stirring at 200 rpm for a pre-determined time interval. The pH was not controlled during the experiments. All tests were prepared in triplicate to check reproducibility of the results and the average values were reported.

The experiments were carried out by suspended determined amount of biosorbent in Pb(II) solutions. The suspension was taken, filtered using filter membrane (0.45 mm) and analyses of residual Pb(II) concentrations were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS), using Shimadzu AA-6300 equipment. The amount of adsorbed Pb(II)

ions at equilibrium per unit mass of adsorbent (q_e) was calculated based on the difference between the initial and equilibrium concentrations of this metal in the aqueous solution volume.

Experimental Design and Optimization

A three-factor (X_1 , X_2 , and X_3) and a three-level (-1, 0, and +1) experimental design (DOE) were used in this trial in order to achieve maximum information about Pb(II) biosorption process by lignin. The studied factors (independent variables) were initial pH (X_1), biosorbent mass (X_2 , g), and initial Pb(II) concentration (X_3 , mg L⁻¹) to evaluate lead biosorption response (mg g⁻¹). Each variable was coded at one of three levels, -1, 0, and +1. The minimum and maximum levels (Table 1) given to each factor were chosen based on preliminary experiments. Each experiment was carried out in triplicate and the average values were taken as the response (Y).

Independent variable	Factor	Coded levels		
		-1	0	+1
Initial pH	X_1	3	4	5
Biosorbent mass, M (mg)	X_2	50	100	150
Initial Pb(II) concentration, C_i (mg L ⁻¹)	X_3	40	60	80

Table 1. Coded and uncoded levels of the independent variables.

Experimental data were fitted to the first-order polynomial model and regression coefficients were obtained. The main effects and variables interactions, their respective coefficients for the mathematical model as well as the analysis of variance (ANOVA) were calculated to determine the model validity. Variable effects were described by the difference among the average response at the upper level and the average response at the lowest one. The optimal values concerning the selected variables were analysed by RSM. The adjustment quality of polynomial equation was evaluated by determining R² coefficient. The significances of all terms in the polynomial equation were analysed statistically by computing F-value at 0.05 probability (p).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Biosorption Studies of Pb(II)

Table 2 shows the real and coded (in parentheses) values of the independent variables and the adsorbed amounts of Pb(II) by lignin achieved in each trial.

The results showed a variation in adsorption values that can be explained as a function of adsorptive capacity of the used biomass (chemical structure, functional groups)

and the availability of active sites, since contact time and temperature, which can also influence the results, were the same for all trials.

Trials*	Initial pH	M (mg)	C_i (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹) [§]
1	3 (-1)	50 (-1)	40 (-1)	19.4 ± 1.2
2	5 (+1)	50 (-1)	40 (-1)	25.8 ± 2.0
3	3 (-1)	150 (+1)	40 (-1)	8.3 ± 1.6
4	5 (+1)	150 (+1)	40 (-1)	8.4 ± 2.1
5	3 (-1)	50 (-1)	80 (+1)	25.1 ± 1.8
6	5 (+1)	50 (-1)	80 (+1)	41.8 ± 1.1
7	3 (-1)	150 (+1)	80 (+1)	14.9 ± 1.0
8	5 (+1)	150 (+1)	80 (+1)	20.2 ± 1.7
9	4 (0)	100 (0)	60 (0)	21.6 ± 0.2
10	4 (0)	100 (0)	60 (0)	22.5 ± 1.0
11	4 (0)	100 (0)	60 (0)	23.3 ± 0.6

Table 2. Experimental design used in this study with results for lead uptake by lignin.

* The number of each trial does not mean the order it was carried out.

§ Results are average of triplicate analysis for Pb biosorption ± standard deviation.

It was observed that overall average for Pb(II) biosorption by lignin was 21.0 mg g⁻¹. The lowest obtained value corresponded to trial 3, whose value was 8.4 mg g⁻¹. Trial 6 presented the highest value (41.8 mg g⁻¹), indicating that the best adsorption condition for Pb(II) ion occurred at higher value of initial pH and metal concentration with a lower amount of biomass. For Martín-Lara et al. (2011), the lowest dosages of biosorbent are ideal for lead ions biosorption.

Guo et al. (2008), investigated the heavy metal adsorption of ions Pb(II), Cu (II), Cd (II), Zn (II) and Ni (II) on lignin isolated from black liquor from the paper industry. These authors observed better affinity for Pb(II), with an initial adsorption rate (v_0) and amount of metal adsorbed on lignin (q_e) of 162 mg (g min)⁻¹ and 63 mg g⁻¹, respectively. Moreover, the adsorption mechanism involved two main types of acid sites attributed to carboxylic- and phenolic-type surface groups, the latter with higher affinity for metal ions than carboxylic sites.

In order to increase the adsorption capability to heavy metals by lignin, Ge et al. (2016), prepared a new type of lignin microspheres (LMS) from a lignin obtained from a pulp mill. LMS showed high adsorption capacity to Pb(II) of 33.9 mg g⁻¹. However, this value was lower than the maximum q_e obtained in this work (41.8 mg g⁻¹), showing the importance of a DOE planning in order to determine the best Pb(II) adsorption conditions by lignin and better exploit the potential of this biosorbent.

A green porous lignin-based sphere (PLS) manufactured by a feasible gelation-

solidification method from lignosulfonate cross-linked with sodium alginate and epichlorohydrin showed an excellent adsorption efficiency ($95.6 \pm 3.5\%$) for lead ions at an initial concentration of 25.0 mg L^{-1} , that suggested the possibility of PLS to be applied for the continuous treatment of wastewater rich in heavy metals at the industry (Li et al., 2015).

Schafhauser et al. (2015), reported the use of a modified lignin from the corn residue as a lead ion biosorbent, whose removal capacity was 98.87% of an initial solution containing 10 mg L^{-1} . According to Zakzeski et al. (2010), lignin structure is highly functional and contains alcohol, aldehyde, ether or acid substituents groups. These monomeric compounds are susceptible to a wide range of transformations, mainly whether reductive in nature, forming simple hydrocarbons, or oxidative in nature, with an increase of aromatic compounds or specifically for the desired functionality.

The values obtained by the trials (9, 10 and 11) at the central points showed small variations, indicating a good reproducibility.

Pareto chart was drawn to analyse significant effects of independent variables and their interactions (Fig. 1a).

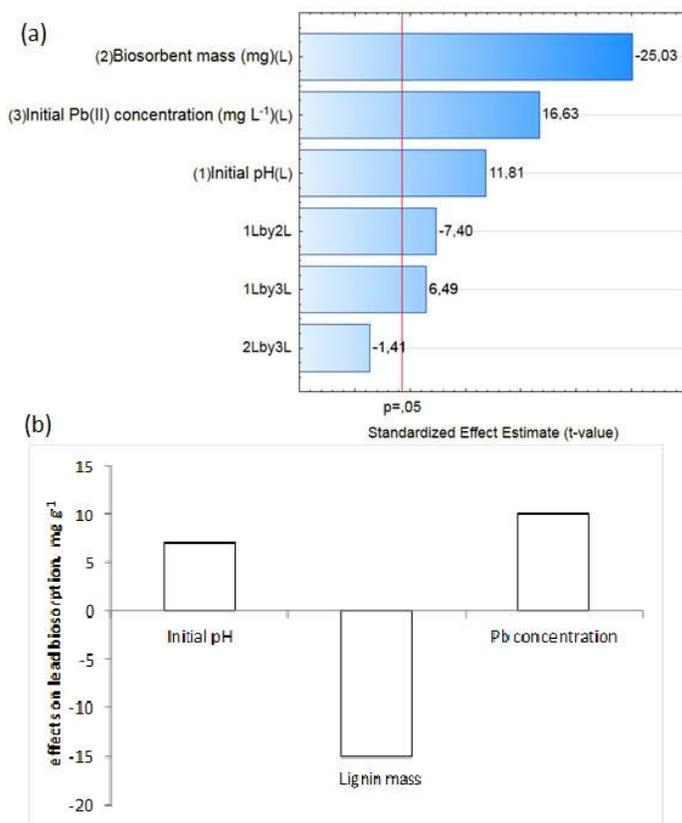


Figure 1. (a) Pareto chart of the standardized effects (t-value) for lead biosorption capacity (mg g^{-1}), $\alpha=0.05$ and (b) Linear effects (absolute values) of initial pH, lignin mass and lead concentration on biosorption capacity of lead ions.

When analysing the influence of each independent variable alone on Pb(II) ions adsorption, it was observed that the amount of adsorbent mass was statistically significant and showed a marked negative effect. That is, the larger the mass of adsorbent the lower the adsorption of this ion. The other two independent variables (initial pH and metal concentration) showed positive effects and were also statistically significant.

Thus, for the interaction between the variables, due to the simultaneous analysis of the effects of these interactions, the only positive and significant effect on Pb(II) ions adsorption was observed when the initial pH and metal concentration variables were combined, which means that the adsorption of this ion increased.

There was a negative and significant effect for the interaction between initial pH and adsorbent mass, which resulted in lower adsorption of Pb(II) ions. However, the effect of interaction between adsorbent mass and metal concentration did not show a significant answer.

Figure 1b shows the effects of initial pH, lignin mass and Pb(II) ions concentration on the ability of Pb(II) biosorption by lignin. It was observed a $7.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ increase in adsorption with an increase of initial pH from 3 to 5. This improvement in adsorption was possibly due to the reduction of H_3O^+ ions concentration and, consequently, there was less competition between protons and Pb(II) for lignin binding sites. The increase in lignin mass from 50 mg to 150 mg provided a reduction of $15.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ in the adsorbed amount of Pb(II). This can be explained by the fact that the decrease of lignin mass induces a greater competition of Pb(II) ions for active sites present in lignin superfine available for cation binding (Chen et al., 2011). The increase in Pb(II) concentration from $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ to $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ increased $10.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ in the adsorbed amount of Pb(II) by lignin. This can be explained by the greater availability of Pb(II) ions present in solution to bind the lignin active sites.

Experimental values were predicted with empirical equations adjusted by analysis of variance in order to carry out an integral study of the independent variables influence on Pb(II) adsorption. Thus, the equation obtained to predict the response variables $Y (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = 21.04 + 3.55X_1 - 7.53X_2 + 5.00X_3 - 2.23X_1X_2 + 1.95X_1X_3$ is presented as a function of coded terms of the independent variables, indicating the statistically significant values, at 95% confidence level. The empirical model to describe Pb(II) adsorption by lignin showed a value for determination coefficient (R^2) equal to 0.98, which is considered of high quality because it indicates that only 0.02% of the response variability could not be explained by the model, confirming the quality of the adjustment.

Thus, a plot of normality residues was generated to check efficiency of Pb(II) removal in order to analyze the residual values distribution, defined as the differences between predicted and observed (experimental) models. The correlation validity, found out by the statistical analysis, which points out linearity and absence of trend in the studied data, revealed a model that does not lack a significant adjustment.

The graph representation of the response surface, corresponding to the parameter lead biosorption, is shown in Figure 2.

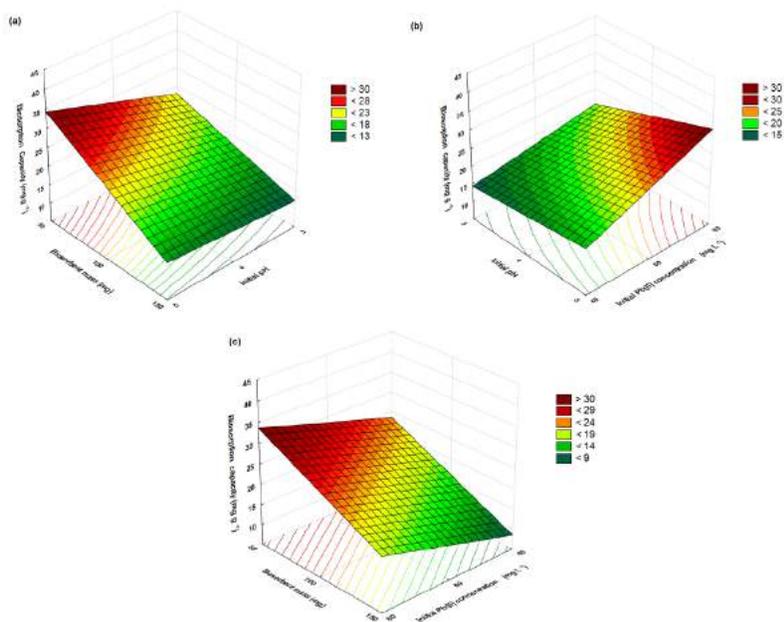


Figure 2. Response surface plots for the effect of **(a)** initial solution pH and lignin mass (mg); **(b)** initial solution pH and lead ion concentration (mg.L^{-1}) and **(c)** lead ion concentration (mg.L^{-1}) and lignin mass (mg) on the lead biosorption capacity (mg.g^{-1}).

It can be observed that the use of lower biosorbent mass (50 mg) with a higher initial pH (5) resulted in higher adsorption (Fig. 2a). The same results can be observed in Figures 2b and 2c, respectively, with a higher initial pH and a higher concentration of Pb(II) (80 mg L^{-1}) and with lower biosorbent mass (50 mg) and a higher concentration of Pb(II).

The solution pH is one of the most important parameters in heavy metals biosorption from aqueous solutions, since it can influence on the nature of biomass binding sites and metal solubility and affect the solution chemistry of the metals, the activity of the functional groups in biomass and competition of metallic ions (Salman et al., 2014).

Adsorption studies with lignin isolated from black liquor of the paper industry revealed that by increasing pH, sorption edges were reached for Pb(II). When pH was higher than 6, more than 85% of metal ions were adsorbed on surface efficiently from a starting solution of 41 mg L^{-1} . Precipitation may also have occurred at higher pH (Guo et al., 2008).

4 | CONCLUSIONS

This study has concluded that lignin obtained from alkaline delignification step of bioethanol production from sugarcane bagasse can be used as Pb(II) ions biosorbent. The experimental design and RSM were important tools for determining the best Pb(II) biosorption conditions in aqueous solutions, revealing more efficiency with higher metal amounts and smaller adsorbent quantities.

Considering that this is the first study on heavy metal adsorption by lignin recovered from the bioethanol production, further studies are suggested to verify the removal of other metals.

REFERENCES

- AHMED, M.J.K.; AHMARUZZAMAN, M. A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions. **Journal of Water Process Engineering**. 10:39-47, 2016.
- BARANA, D.; SALANTI, A.; ORLANDI, M.; ALI, D.S.; ZOIA, L. Biorefinery process for the simultaneous recovery of lignin, hemicelluloses, cellulose nanocrystals and silica from rice husk and *Arundo donax*. **Industrial Crops and Products**. 86:31-39, 2016.
- BROSSE, N.; MOHAMAD, M.N.; ABDUL RAHIM, A. Biomass to Bioethanol: Initiatives of the Future for Lignin. *ISRN Materials Science*, <http://dx.doi.org/10.5402/2011/461482>. 2011.
- CHEN, X.; CHEN, G.; CHEN, L.; CHEN, Y.; LEHMANN, J.; MCBRIDE, M.B.; HAY, A.G. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. **Bioresource Technology**. 102 (19):8877-8884, 2011.
- FAROOQ, U.; KOZINSKI, J.A.; KHAN, M.A.; ATHAR, M. Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. **Bioresource Technology**. 101(14):5043-5053, 2010.
- GE, Y.; QIN, L.; LI, Z. Lignin microspheres: An effective and recyclable natural polymer-based adsorbent for lead ion removal. **Materials & Design**. 95:141-147, 2016.
- GOLAB, Z.; ORLOWSKA, B.; SMITH, R.W. Biosorption of lead and uranium by *Streptomyces* sp. **Water, Air, & Soil Pollution**. 60(1-2):99-106, 1991.
- LI, Z.; GE, Y.; WAN, L. Fabrication of a green porous lignin-based sphere for the removal of lead ions from aqueous media. **Journal of Hazardous Materials**. 285:77-83, 2015.
- MARTÍN-LARA, M.A.; RODRÍGUEZ, I.L.; BLÁZQUEZ, G.; CALERO, M. Factorial experimental design for optimizing the removal conditions of lead ions from aqueous solutions by three wastes of the olive-oil production. **Desalination**. 278 (1-3):132-140, 2011.
- MOROSANU, I.; TEODOSIU, C.; PADURARU, C.; IBANESCU, D.; TOFAN, L. Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapeseed biomass. **New Biotechnology**. 39 A:110-124, 2017.

NAIMA, A.; MOHAMED, B.; HASSIBA, M.; ZAHRA, S. Adsorption of lead from aqueous solution onto untreated orange barks Chem. **Chemical Engineering Transactions**. 32:55-60, 2013. Doi:10.3303/CET1332010.

NGUYEN, T.A.H.; NGO, H.H.; GUO, W.S.; ZHANG, J.; LIANG, S.; YUE, Q.Y.; LI, Q.; NGUYEN, T.V. Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. **Bioresource Technology**. 148:574-585, 2013.

SADEEK, S.A.; NEGM, N.A.; HEFNI, H.H.H.; WAHAB, M.M.A. Metal adsorption by agricultural biosorbents: Adsorption isotherm, kinetic and biosorbents chemical structures. **International Journal of Biological Macromolecules**. 81:400-409, 2015.

SALMAN, H.A.; IBRAHIM, M.I.; TAREK, M.M.; ABBAS, H.S. Biosorption of heavy metals: A review. **Journal of Chemical Science and Technology**. 3(4):74-102, 2014.

SCHAFHAUSER, B.H.; GONÇALVES, T.R.; CONSOLIN, M.F.B.; ALMEIDA, V.C.; PINEDA, E.A.G.; CONSOLIN FILHO, N. Study of adsorption of lead II in lignin modified from corn waste. **Brazilian Journal of Food Research**. 6(1):16-25, 2015.

TABARAKI, R.; NATEGHI, A.; AHMADY-ASBCHIN, S. Biosorption of lead (II) ions on Sargassum ilicifolium: Application of response surface methodology. **International Biodeterioration & Biodegradation**. 93:145-152, 2014.

VASCONCELOS, H.L.; GUIBAL, E.; LAUS, R.; VITALI, L.; FÁVERE, V.T. Competitive adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on spray-dried chitosan loaded with Reactive Orange 16. **Materials Science and Engineering: C**. 29(2):613-618, 2009.

WANG, J.; CHEN, C. The current status of heavy metal pollution and treatment technology development in China. **Environmental Technology Reviews**. 4(1):39-53, 2015.

WHETTEN, R.; SEDEROFF, R. Lignin Biosynthesis. **The Plant Cell**. 7:1001-1013, 1995.

YADAV, S.K.; SINGH, D.K.; SINHA, S. Chemical carbonization of papaya seed originated charcoals for sorption of Pb(II) from aqueous solution. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 2(1):9-19, 2014.

YAO, Q.; XIE, J.; LIU, J.; KANG, H.; LIU, Y. Adsorption of lead ions using a modified lignin hydrogel. **Journal of Polymer Research**, <<https://doi.org/10.1007/s10965-014-0465-9>>, 2014.

ZAKZESKI, J.; BRUIJNINCX, P.C.A.; JONGERIU, A.L.; WECKHUYSEN, B.M. The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals. **Chemical Reviews**. 110(6):3552-3599, 2010.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE SÍLICA MESOPOROSA PARA REMOÇÃO DE Ba^{2+} DE MEIO AQUOSO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de Submissão: 03/11/2021

Daniel Walker Tondo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Medianeira-PR
<http://lattes.cnpq.br/7121442162301693>

Caroline Mayara Meurer Reolon

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Medianeira-PR
<http://lattes.cnpq.br/3904847843374312>

Renata Mello Giona

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Medianeira-PR
<http://lattes.cnpq.br/0374251191542394>

Alesandro Bail

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/1280246965220928>

RESUMO: Segundo a Organização Mundial da Saúde, a concentração máxima permitida de bário para água potável é de 0,7 mg.L⁻¹. Nanopartículas magnéticas são potenciais removedores do íon Ba^{2+} , em razão de sua alta capacidade de adsorção, fácil separação por magnetização e síntese de baixo custo. Neste trabalho, foram preparadas nanopartículas de sílica mesoporosa magnética ($Fe_3O_4@SiO_2$). O material foi caracterizado por espectroscopia de infravermelho (FTIR), isotermas de adsorção-desorção de nitrogênio, difratometria de raios

X (DRX), análise termogravimétrica (TGA) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). As nanopartículas de magnetita apresentaram forma esférica com um diâmetro médio de aproximadamente 7,5 nm e após o recobrimento com sílica, agregados nanoparticulados maiores foram observados, com tamanho médio de 13,8 nm, o que indica a formação da partícula *core/shell* (núcleo de magnetita recoberta com sílica). Foi avaliada a cinética de adsorção dos íons Ba^{2+} pelas nanopartículas produzidas, onde a concentração dos íons Ba^{2+} foi determinada por espectroscopia UV-Vis através da leitura do complexo formado entre o íon Ba^{2+} e o composto orgânico sulfonazo III. O modelo linearizado de pseudo-segunda ordem ajustou-se com eficácia à cinética de adsorção, apresentando um coeficiente de correlação $R^2 = 0,99937$.

Palavras-Chave: Contaminação. Materiais Magnéticos. Adsorção. Sílica. Bário.

ABSTRACT: According to the World Health Organization, the maximum limit of barium in drinking water is 0,7 mg.L⁻¹. Magnetic nanoparticles are potential candidates for removing Ba^{2+} ions due to their high adsorption capacity, easy separation for magnetic field and low cost synthesis. In this work, we have synthesized magnetic mesoporous silica nanoparticles ($Fe_3O_4@SiO_2$). The material was characterized by fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), X-Ray Diffraction (DRX), nitrogen adsorption-desorption isotherms analysis and transmission electron microscopy (TEM). The magnetite nanoparticles showed an average

diameter of 7,5 nm and after the magnetite's coated process with silica, bigger aggregates were formed with 13,8 nm of average diameter, indicating Core\Shell nanoparticles (a magnetite core covered with silica). To evaluate Ba²⁺ removal by the produced nanoparticles, kinetics of adsorption was performed and the barium concentration was then determined by UV-vis spectroscopy following the formation of the complex between the Ba²⁺ and sulfonazo III. The linearized model of pseudo-second order was used for kinetic adsorption and showed a correlation coefficient $R^2 = 0,99937$.

Keywords: Contamination. Magnetic Materials. Adsorption. Silica. Barium.

1 | INTRODUÇÃO

Os íons de metais contaminantes e poluentes estão cada vez mais presentes nas águas superficiais e subterrâneas, o que é causado tanto por atividades industriais (LIMA, *et al.* 2010) como por fontes geológicas (MANAHAN, 2013). Técnicas de tratamento para a remoção destes têm sido desenvolvidas, como o emprego de materiais adsorventes finamente particulados (GIONA E BAIL, 2015; WANG, *et al.* 2010). Materiais magnéticos particulados, que podem ser recobertos com adsorventes e separados do meio reacional pela aplicação de um campo magnético externo vêm sendo estudados (WANG, *et al.* 2010). Esses particulados magnéticos comumente exibem estrutura do tipo *core/shell* devido a existência de um núcleo magnético, geralmente constituído de magnetita (Fe₃O₄), um óxido de ferro ferrimagnético, e uma camada de recobrimento constituída de sílica mesoporosa, o que permite a adsorção de íons de acordo com o pH do meio (GIONA E BAIL, 2015; WANG, *et al.* 2010). A sílica mesoporosa possui propriedades texturais que podem ser controladas de acordo com o método de síntese, favorecendo o processo de adsorção de íons. Essa camada possui duas principais funções: proteger a oxidação dos íons Fe²⁺, evitando a transformação da magnetita em maghemita, e a formação de uma superfície mais adequada para o processo de adsorção e possíveis modificações (ZHAO, *et al.* 2008). O metal alcalino-terroso Bário é encontrado como contaminante em reservas de águas, em quantidades significativas (LIMA, *et al.* 2010), visto que, segundo a Organização Mundial da Saúde e segundo a Portaria N°2.914, do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido de bário aceito para uma água potável, é de 0,7 mg.L⁻¹ (BRASIL, 2011; WHO, 2011). Neste trabalho, avaliou-se a capacidade de nanopartículas magnéticas constituídas de magnetita recobertas com sílica mesoporosa, para remover o íon contaminante bário (Ba²⁺) da água.

2 | METODOLOGIA

Foram preparados 2 tipos de nanopartículas do tipo *core-shell*: óxido de ferro (Fe₃O₄) e óxido de ferro recoberto com sílica mesoporosa (Fe₃O₄@SiO₂), adequando-se aos métodos descritos na literatura (SHAO, *et al.* 2012; WANG, *et al.* 2010; YUAN, *et al.* 2010). O material foi caracterizado através de FTIR, RDX, TGA e TEM, além de análise de

isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio, e em seguida, utilizado na remoção do íon Ba^{2+} , o qual foi complexado com o composto orgânico sulfonazo III e quantificado por espectroscopia UV-Vis.

2.1 Síntese das partículas

2.1.1 Síntese das nanopartículas de Fe_3O_4

Em um balão de reação de três bocas, contendo 100 mL de solução aquosa de HCl 0,5 M inserido em banho de óleo a 60 °C, adicionou-se 6,48 g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sob fluxo contínuo de gás nitrogênio e agitação. Em outro balão de 250 mL contendo 25 mL de água ultrapura, adicionou-se 3,97 g de $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ e agitou-se até total dissolução. Em seguida, com o auxílio de uma seringa, adicionou-se a solução de $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ sobre a solução de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sobre fluxo contínuo de N_2 gasoso e agitação magnética. Adicionou-se então lentamente, 250 mL de solução de NaOH 1,5 M. Após 40 minutos. Precipitou-se o sólido preto e magnético formado com a ajuda de um magneto (imã) e lavou-se esse com água ultrapura até pH neutro. Após a lavagem, suspendeu-se o material em água ultrapura, sob atmosfera de nitrogênio e, por fim, determinou-se, gravimetricamente, a densidade média da suspensão.

2.1.2 Síntese das nanopartículas $Fe_3O_4@SiO_2$

Em um balão de reação de 3 bocas, contendo 400 mL de água ultrapura mantida sob fluxo contínuo de nitrogênio gasoso, adicionou-se 2,00 g de Fe_3O_4 na forma de suspensão aquosa. Em seguida, sob agitação magnética, adicionou-se, gota a gota, 40 mL de solução 1,0 M de silicato de sódio. O pH da solução foi ajustado lentamente para 6,0 com a adição de solução aquosa 2,0 M de HCl. Deixou-se sob agitação magnética, a temperatura de 80°C durante 3,0 h. Em seguida, lavou-se o sólido magnético formado por partículas de óxido de ferro recoberto com sílica, $Fe_3O_4@SiO_2$, com água ultrapura até pH neutro e secou-se em estufa à 70°C.

2.2 Caracterização das nanopartículas de Fe_3O_4 E $Fe_3O_4@SiO_2$

2.2.1 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de fourier (FTIR)

As análises foram realizadas em espectrofotômetro FTIR, da marca Perkin Elmer, modelo Frontier, realizando-se 32 varreduras, com resolução de 4 cm^{-1} , entre $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, empregando pastilhas de KBr tratadas e moídas, com uma pequena quantidade do sólido a ser analisado.

2.2.2 Isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio

As isotermas de adsorção-dessorção foram realizadas em um analisador automático de fisiossorção ASAP 2020 N, da Micromeritics, a 77 K. As análises de área superficial específica, diâmetro médio dos poros e volume dos poros foram determinados aplicando-se os métodos de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e Barret-Joiner-Halenda (BJH). As amostras foram previamente desgaseificadas a 100 °C, até a pressão atingir 10 µmHg e utilizou-se, aproximadamente 0,1 g das amostras para a obtenção dos dados de adsorção de nitrogênio.

2.2.3 Difração de raios-x

As medições foram realizadas no modo de reflexão, utilizando um difratômetro Shimadzu XRD-6000, operando a 30 kV e 40 mA (radiação Cu- K α λ = 0,155418 nm). Os dados foram coletados com um tempo de permanência de 2°/min. O tamanho médio dos cristalitos (D) foram calculados a partir da equação de Debye-Scherrer (Equação 1), onde D é o diâmetro médio dos cristalitos, K (= 90) é uma constante relacionada a forma do cristalito, λ é o comprimento de onda do feixe de raios X, β é a largura do pico de difração de maior intensidade (largura à meia altura, (FWHM) e θ é o ângulo de difração de Bragg do pico de maior intensidade (PANTA, 2013).

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (\text{Equação 1})$$

Para não haver superposição de gaussianas no difratograma, foi utilizada a seguinte correção, segundo a Equação 2 (PANTA, 2013):

$$\beta^2 = B^2 - b^2 \quad (\text{Equação 2})$$

onde B é a largura a meia altura (FWHM) para a amostra e b é a largura a meia altura (FWHM) para o padrão de silício (dado em radianos). Para todo o cálculo de β foi considerado o pico de difração do padrão de silício a 26,43° (2 θ) e FWHM de 0,0020856 rad. Os picos obtidos foram identificados por meio da base de dados JCPDS, ficha nº 19-0629 (PANTA, 2013; SANTOS, 1997).

2.2.4 Microscopia eletrônica de transmissão (MET)

As análises foram realizadas num microscópio JEOL-JEM 1200, operado a 100 kV. Prepararam-se as amostras por dispersão em etanol à temperatura ambiente, após, uma gota do sobrenadante da dispersão foi colocada sobre uma película de carbono suportada por uma grelha de cobre. Posteriormente ao preparo, as amostras foram observadas no MET para verificação da dispersão das partículas.

2.2.5 Análise termogravimétrica (TGA)

Realizou-se a termogravimetria num analisador térmico simultâneo, Perkin Elmer, modelo STA 6000, onde colocou-se 10 mg de amostra, em um cadinho de platina aberto e pré-aquecidos a 100° C, durante 5 minutos. Realizou-se as análises em atmosfera de N₂ (10 mL.min⁻¹) e taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹, na faixa de 100-650° C.

2.3 Análise do contaminante: determinação de íons bário (Ba²⁺)

A concentração de íons bário foi determinada pelo método de complexação com sulfonazo III (Figura 1), obtendo-se um complexo de cor roxa, o qual foi quantificado por espectroscopia UV-Vis (MANNA, *et al.* 1992). Para a curva de calibração, prepararam-se seis soluções de íons bário, nas seguintes concentrações: 5, 4, 3, 2, 1 e 0,5 mg.L⁻¹. Cada solução foi acidificada com solução de ácido nítrico 0,1 M padronizado, até pH 2,0. Em seguida, adicionou-se a cada diluição, 10 mL de solução de sulfonazo III 1,0x10⁻⁴ mol.L⁻¹ e mediu-se a absorbância da solução em 636 nm com uma cubeta de quartzo de caminho ótico de 1 cm. As medidas foram feitas em um espectrofotômetro UV/Vis da Perkin Elmer modelo lambda 45.

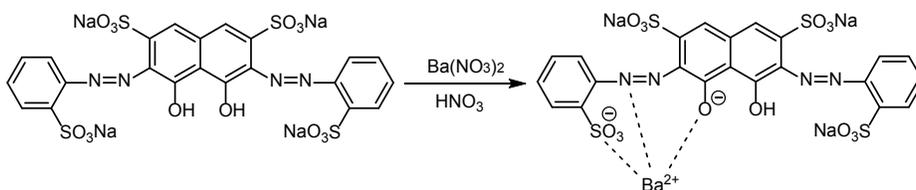


Figura 1 - Reação de complexação íons bário em meio ácido. (Almeida 2012) .

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos sólidos magnéticos adsorventes

3.1.1 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de fourier (FTIR)

Na Figura 2, observa-se nos espectros (a) e (b), bandas em 568 cm⁻¹ e 576 cm⁻¹ atribuídas às vibrações do óxido de ferro correspondendo à ligação Fe-O, confirmando a presença do óxido de ferro em ambos os sólidos (SILVA, 2015; PANTA, 2013; WANG, *et al.* 2010).

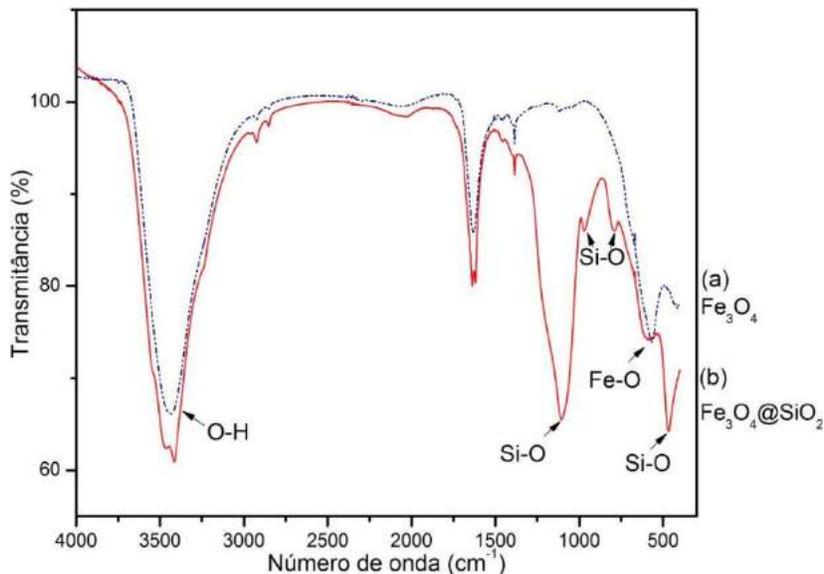


Figura 2 - Espectros FTIR dos sólidos (a) Fe_3O_4 e (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$, em pastilha de KBr.

As bandas de absorção em 1097, 966, 790 e 472 cm^{-1} , do espectro (b), correspondem respectivamente, as vibrações dos estiramentos e deformações dos grupos SiO_2 (SILVA, 2015; WANG, *et al.* 2010). Observa-se ausência dessas bandas no espectro (a), comprovando o revestimento da superfície do óxido de ferro, com a provável formação da casca de sílica “*shell*” ao redor da magnetita “*core*”. As bandas características de grupos hidroxilas são identificadas em 3434 cm^{-1} , devido ao método de co-precipitação ser realizado em meio aquoso, as superfícies do Fe_3O_4 e do $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ são revestidas de grupos hidroxilas (PANTA, 2013), que mesmo após secagem em estufa, permanecem na superfície.

3.1.2 Isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio

A partir da técnica de fisiossorção com nitrogênio foi possível obter as principais características texturais dos sólidos sintetizados (Figura 3). Como pode ser observado na Tabela 1, a área superficial dos sólidos aumentou de modo significativo após o processo de recobrimento com sílica mesoporosa. Esta camada de sílica mesoporosa (181 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$) contribui com a capacidade de adsorção do sólido. No mesmo sentido, o tamanho médio e o volume dos poros também aumentaram após o recobrimento com sílica mesoporosa.

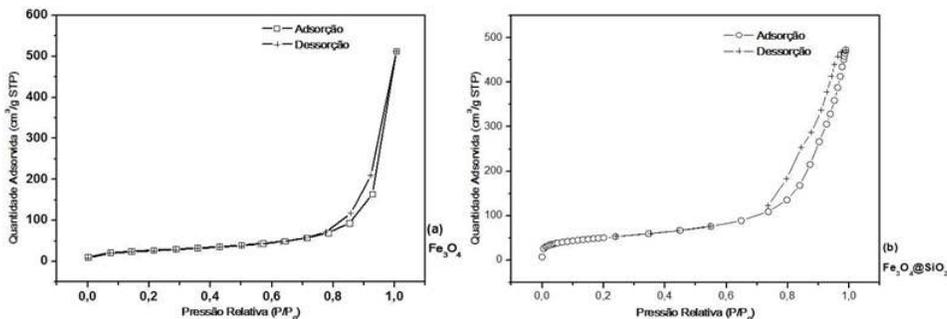


Figura 3 - Isothermas de adsorção-dessorção de N₂ dos sólidos (a) Fe₃O₄ e (b) Fe₃O₄@SiO₂.

Sólido	Área Superficial (m ² g ⁻¹) ^a	Tamanho médio dos poros (nm) ^b	Volume dos poros (cm ³ g ⁻¹) ^b
Fe ₃ O ₄	95	7,5	0,32
Fe ₃ O ₄ @SiO ₂	181	13,8	0,73

Tabela 1 - Análise textural dos sólidos sintetizados.

^a Determinado pela adsorção de N₂ utilizando o método de Brunauer-Emmett-Teller (BET).

^b Determinado pela dessorção de N₂ usando o método Barret-Joiner-Halenda (BJH).

As curvas de adsorção/dessorção de nitrogênio mostradas na Figura 3, estão de acordo com a literatura. A existência de mesoporos é suportada pela isoterma do tipo IV com histerese tipo H3 (SONG, *et al.*, 2009). A partir desses resultados é possível dizer que ocorre a formação de poros na forma de fendas (WANG, *et al.* 2012).

3.1.3 Difração de raios-X

Na difração de raios-X para os sólidos preparados, (Figura 4), atribuiu-se as seguintes reflexões conforme os planos cristalográficos ao sólido (a): (220), (311), (400), (422), (511) e (440), estando de acordo com as reflexões características da magnetita, segundo o padrão JCPDS, ficha n° 19-0629 (PANTA, 2013; SANTOS, 1997). Dessa forma, observa-se indicativo de uma estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC) do tipo espinélio, para a magnetita (a) (PANTA, 2013; WANG, *et al.* 2010). No sólido (b), observa-se o mesmo conjunto de picos indicados em (a), exceto por um suave deslocamento para maiores valores de 2θ, que pode ser atribuído à formação de uma pequena quantidade da fase maghemita na superfície da magnetita. Segundo Yamaura *et al.* (2004), é muito difícil identificar essas duas fases magnéticas do óxido de ferro por difração de raios X, devido à semelhança dos padrões de difração. Contudo, a camada de sílica mesoporosa não altera significativamente a organização cristalográfica da magnetita.

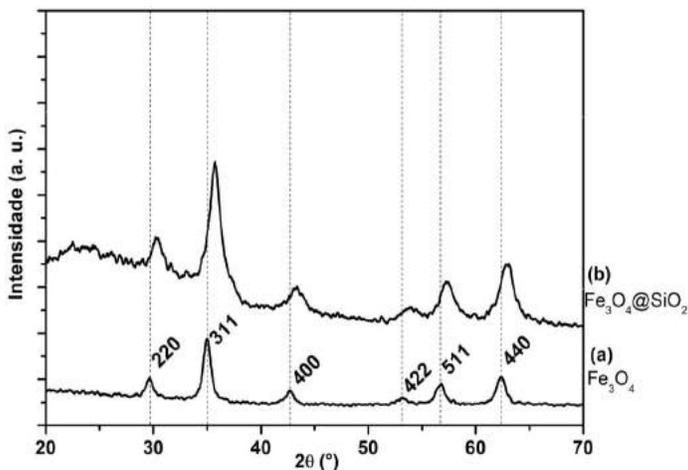


Figura 4 – Difratoograma de raios X, pelo método pó, dos sólidos (a) Fe_3O_4 e (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$.

3.1.4 Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)

Observa-se na Figura 5 (a), que as partículas de magnetita apresentam forma esférica com um diâmetro médio de aproximadamente 7,5 nm (Tabela 1). Na figura 5 (b), observa-se que, após o revestimento de sílica, as partículas formam um agregado de partículas grandes, ocorrendo o recobrimento dos núcleos de magnetita pela sílica, aumentando desta forma, o tamanho médio da partícula para 13,8 nm (Tabela 1), caracterizando-se assim a formação da partícula *core/shell* de núcleo de magnetita e com o recobrimento de sílica.

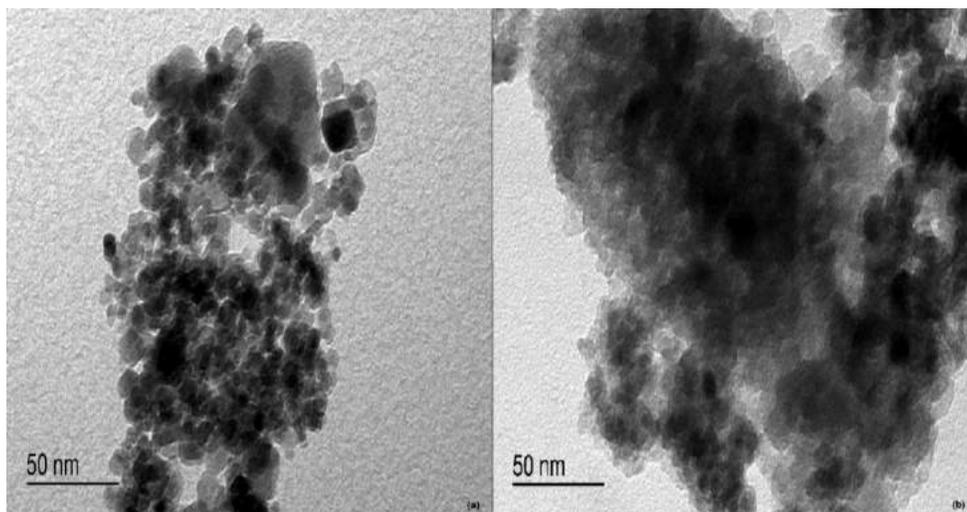


Figura 5 - Microscopia eletrônica de transmissão (MET) dos sólidos (a) Fe_3O_4 e (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$.

3.1.5 Análise Termogravimétrica (TGA)

A curva (a) na Figura 6, indica que a magnetita mostrou um perfil consistente, contendo pouca água adsorvida no sólido.

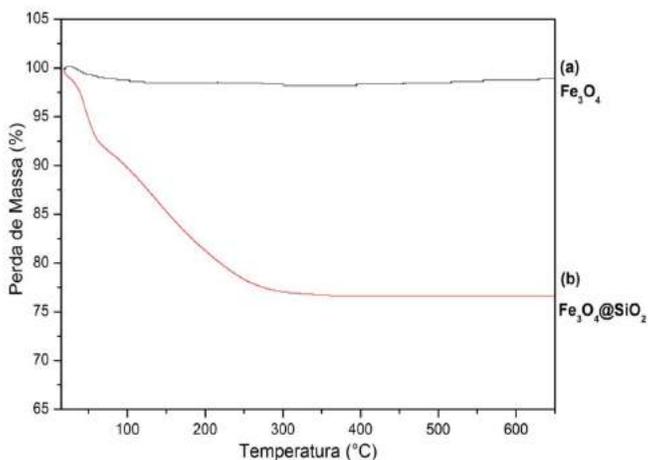


Figura 6 – Análise termogravimétrica dos sólidos (a) Fe₃O₄ e (b) Fe₃O₄@SiO₂.

Em relação ao sólido recoberto com sílica (b), observa-se que ocorreu uma perda de massa significativa, de aproximadamente 23%, em dois estágios, referente a dessorção de água a partir da superfície da sílica. A primeira perda de massa ocorre a temperatura ambiente até aproximadamente 100°C e refere-se a água que estava fracamente adsorvida na superfície da sílica. A segunda perda ocorre entre as temperaturas de 100 a 300°C e refere-se as moléculas de água adsorvidas na parte hidrofílica dos poros da sílica (WANG, *et al.* 2010).

3.2 Determinação da concentração do íon bário (Ba²⁺)

Para a quantificação de íons bário (Ba²⁺), obteve-se uma curva de calibração (Figura 7) em espectrofotômetro na região do UV-Vis, através da complexação dos íons Bário com sulfonazo III, em meio ácido. O ajuste linear apresentou um R²=0,998 e a equação usada na quantificação do analito foi Abs = 0,49+0,04.[Ba²⁺].

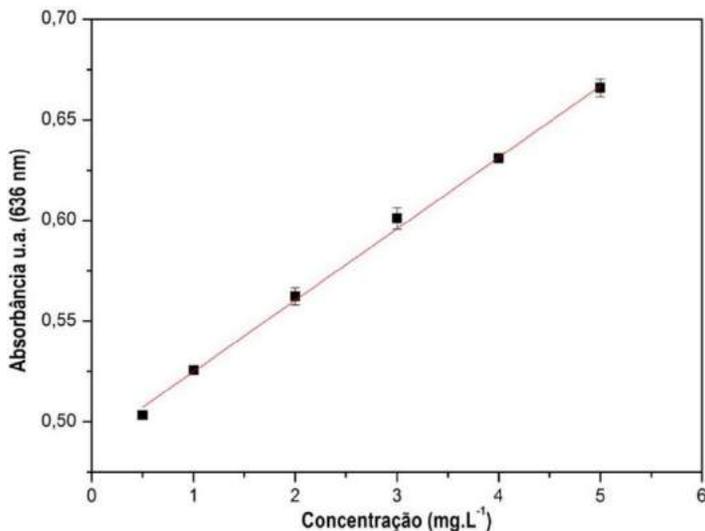


Figura 7 – Curva de calibração para o complexo bário (Ba²⁺) + sulfonazo III.

3.3 Modelagem cinética

A cinética de adsorção ajustou-se adequadamente ao modelo linearizado de pseudo-segunda ordem (figura 8). A equação de pseudo-segunda ordem, baseia-se na adsorção de equilíbrio (HO & McKAY, 1999, *citado por*, BERTOLINI, *et al.* 2011; VASQUES, 2008). A forma linearizada da equação pode ser representada pela Equação 3:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde K_2 é a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem (g.mg⁻¹.min⁻¹), Q_e e Q_t são as quantidades de adsorvato adsorvido (mg.g⁻¹) no equilíbrio e no tempo t (min), respectivamente e foram determinados por espectroscopia UV-Vis usando a curva de calibração da figura 7. A constante K_2 pode ser calculada a partir da inclinação da reta do gráfico t/Q_t versus t (BERTOLINI, *et al.* 2008; VASQUES, 2008).

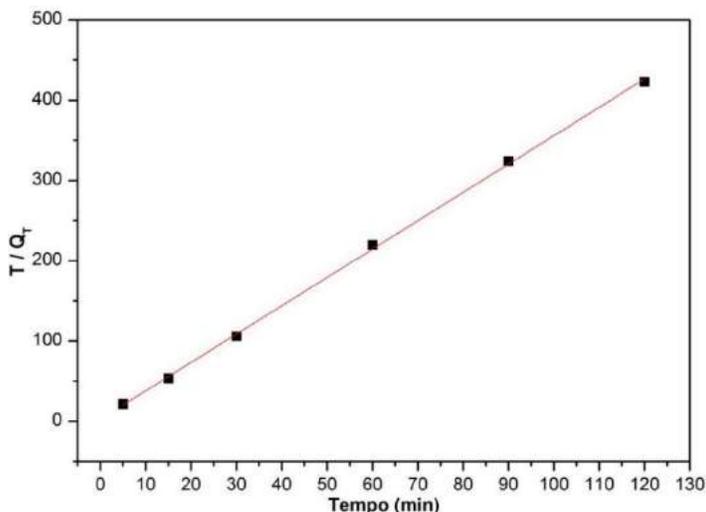


Figura 8 - Modelo linearizado de pseudo-segunda ordem para a adsorção de íons Ba²⁺

Concentração Ba ²⁺ (ppm)	Q _{exp} (a)	Pseudo-segunda ordem		
		K ₂ (b)	Q _e (c)	R ² (d)
5,0	0,28	4,72	0,28	0,999

Tabela 5 – Ajustes cinéticos de pseudo-segunda ordem.

O modelo de pseudo-segunda ordem representou adequadamente a cinética de adsorção, apresentando um coeficiente de correlação alto (Tabela 5). Os dados obtidos para o Q_e experimental, estão muito próximos aos dados obtidos do Q_e calculado (CRAESMEYER, 2013; IVASSECHEN, 2016). O fator limitante da da adsorção no modelo de pseudo-segunda ordem, tem relação com as ligações químicas que ocorrem entre o adsorvente e o adsorvato. Os sítios livres da sílica terão pares de elétrons livres e formarão uma ligação covalente coordenada com o bário em solução, assim, quando não houver mais sítios ativos, ocorrerá a limitação da cinética, com o equilíbrio do sistema (CRAESMEYER, 2013; HO E MCKAY, 1999; IVASSECHEN, 2016).

4 | CONCLUSÕES

Após a síntese da magnetita (Fe₃O₄) e seu recobrimento com sílica mesoporosa, houve um considerável aumento de sua área superficial, resultando num ótimo processo de adsorção dos íons bário. No estudo cinético, o modelo de pseudo-segunda ordem ajustou-se com eficácia ao processo de adsorção.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. S.; **Determinação espectrofotométrica indireta de sulfato em álcool etílico combustível empregando dibromosulfonazo III.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. (2012).
- BERTOLINI, T. C. R.; FUNGARO, D. A.; **Estudos de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção do corante cristal violeta sobre zeólitas de cinzas leve e pesada de carvão.** *3rd International Workshop Advances in Cleaner Production.* (2011)
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N° 2.914**, 12 de Dezembro de 2011, p. 27 D.
- CRAESMEYER, G. R.; **Tratamento de efluente contendo urânio com zeólita magnética.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP. (2013)
- GIONA, M. R.; BAIL, A.; **Utilização de nanopartículas magnéticas para remoção seletiva de poluentes contidos em águas superficiais e subterrâneas.** *Tecnologias Potenciais Para o Saneamento.* Vol. 1, 2ª ed., Cap. 6, p.179 – 222. (2015).
- HO. Y. S.; MCKAY, G.; **Pseudo-second order model for sorption processes.** *Process Biochemistry*, 34, p. 451-465. (1999).
- IVASSECHEN, J. R.; **Sílica mesoporosa como suporte sólido para o ancoramento da molécula 4-amino-3-hidrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole e aplicação na adsorção de Cu(II), Cd(II), Ni(II), Pb(II) e Co(II) em amostras aquosas.** Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP. (2016)
- LIMA, A. C. P.; DIAS, S. M. F.; ORRICO, S. R. M.; ARAÚJO, D. R. S. M.; **Avaliação das concentrações de Bário de Chumbo em águas do aquífero freático do entorno do centro industrial do Subaé – Feira de Santana – BA.** *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.* (2010).
- MANAHAN, S. E.; **Química Ambiental.** 9ª ed. Editora Bookman, 912 p., Porto Alegre. (2013).
- MANNA, F.; CHIMENTI, F.; BOLASCO, A.; FULVI, A.; **Study on selective quantitative determination of barium by sulphonazo III in complex matrices.** *Talanta*, Vol. 39, p. 875 – 878. (1992).
- PANTA, P. C.; **Obtenção de nanopartículas de óxido de ferro por coprecipitação, sua estabilização com surfactantes e caracterização quanto a morfologia, cristalinidade e comportamento magnético.** Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (2013).
- SANTOS, F. J.; **Partículas nanométricas de magnetita.** Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP. (1997).
- SHAO, M.; NING, F.; ZHAO, J.; WEI, M.; EVANS, D. G.; DUAN, X.; **Preparation of Fe₃O₄@SiO₂@Layered Double Hydroxide Core–Shell Microspheres for Magnetic Separation of Proteins.** *Journal of American Chemical Society.* Vol. 134(2), p. 1071– 1077. (2012)

SILVA, J. M.; **Síntese e caracterização de sílica mesoporosa e estudo de liberação controlada de emodina como substância bioativa.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. (2015).

SONG, C., DU, J., ZHAO, J., FENG, S., DU, G., ZHU, Z.; **Hierarchical porous core-shell carbon nanoparticles.** *Chemistry of Materials*, 21, p. 1524-1530. (2009).

VASQUES, A. R.; **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corante de efluentes têxteis em batelada e coluna de leito fixo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. (2008)

WANG, J.; ZHENG, S.; SHAO, YAMAURA Y.; LIU, J.; XU, Z.; ZHU, D. J.; **Amino-functionalized Fe₃O₄@SiO₂ core-shell magnetic nanomaterial as a novel adsorbent for aqueous heavy metals removal.** *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 349, P. 293-299. (2010).

WHO; **Guidelines for drinking-water quality.** *World Health Organization*. 4th ed. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. (2011).

YAMAURA, M.; CAMILO, R. L.; SAMPAIO, L. C.; MACEDO, M. A.; NAKAMURA, M.; TOMA, H. E.; **Preparation and characterization of (3-aminopropyl) triethoxysilane-coated magnetite nanoparticles.** *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 279, p. 210-217. (2004).

YUAN, M.; TAO, J.; YAN, G.; TAN, M.; QIU, G.; **Preparation and characterization of Fe/SiO₂ core/shell nanocomposites.** *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol. 20, p. 632-636. (2010).

ZHAO, A.; SHI, Y.; WANG, T.; CAI, Y.; JIANG, G.; **Preparation of silica-Magnetite nanoparticle mixed hemimicelle sorbents for extraction of several typical phenolic compounds from environmental water samples.** *Journal of Chromatograph A*. Vol. 1188, p. 140–147. (2008).

REMEDIAÇÃO DE EFLUENTE CONTAMINADO COM CÁDMIO E CHUMBO: UMA ABORDAGEM ECO AMIGÁVEL

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 19/11/2021

Ana Lúcia Eufrázio Romão

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
Currículo Lattes - <http://lattes.cnpq.br/5262784392862851>

Katiany do Vale Abreu

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
<http://lattes.cnpq.br/0813972202761743>

Dalila Maria Barbosa Davi

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
<http://lattes.cnpq.br/8792013662423315>

Maria Roniele Félix Oliveira

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
<http://lattes.cnpq.br/8054284820672761>

Carlos Emanuel Carvalho Magalhães

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
<http://lattes.cnpq.br/9154043780436433>

Carlucio Roberto Alves

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Ciência e Tecnologia, Fortaleza- Ceará
<http://lattes.cnpq.br/0937331784886630>

RESUMO: No presente estudo avaliou-se, através de ensaios em batelada, com efluente sintético,

a viabilidade do uso da biomassa do bambu (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*) como material adsorvente de baixo custo para tratamento de metais pesados na indústria petroquímica. Nesse intuito, estudou-se o ponto de carga zero (pH_{PCZ}), efeito do pH, isotermas e cinética de adsorção. A análise dos dados permitiram inferir que não há diferenças significativas na taxa de adsorção entre a faixa de pH estudada. O pH_{PCZ} foi determinado em 5,5. Os modelos teóricos que melhor se ajustam aos dados experimentais de adsorção foram a equação de pseudosegunda ordem e a isoterma de Freundlich. A capacidade máxima de adsorção do biossorvente para o cádmio ficou determinada em torno de 36,01 mg.g^{-1} e 31,047 mg.g^{-1} para o chumbo.

PALAVRAS-CHAVE: Biossorvente, biossorção, bambu, metais pesados, petróleo.

REMIEDIATION OF EFFLUENT CONTAMINATED WITH CADMIUM AND LEAD: AN ECO-FRIENDLY APPROACH

ABSTRACT: The present study, the feasibility of using bamboo biomass (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*) as a low-cost adsorbent material for the treatment of heavy metals in the petrochemical industry was evaluated through batch tests with synthetic effluent. For this purpose, the zero charge point (pH_{PCZ}), pH effect, isotherms and adsorption kinetics were studied. Data analysis allowed us to infer that there are no differences in the adsorption rate between the pH range studied. The pH_{PCZ} was determined to be 5.5. The theoretical models that best fit the experimental adsorption data were the pseudosecond order

equation and the Freundlich isotherm. A maximum adsorption capacity of the biosorbent for cadmium was around 36.01 mg.g⁻¹ and 31.047 mg.g⁻¹ for lead.

KEYWORDS: Biosorbent, biosorption, bamboo, heavy metals, petroleum.

1 | INTRODUÇÃO

Devido ao avanço industrial a acumulação de metais pesados no meio ambiente, sobremaneira no solo e água, tornou-se um problema ambiental importante. Este tipo de material tóxico é encontrado nos resíduos da indústria textil, mineração, curtumes, galvanoplastia e da indústria eletrônica e petroquímica, bem como decorrentes do uso de pesticidas, fertilizantes, dentre outros. Além dos danos ambientais, contaminação dos solos e corpos d'água, os metais pesados fazem parte da classe de poluentes persistentes e bioacumulativos com potencial para causar severos danos à saúde humana (SOARES, 2017).

No segmento da indústria, o setor petrolífero é, potencialmente, um dos maiores geradores de contaminação dos recursos hídricos sendo durante o refino que ocorre a maior geração de efluente. Cada refinaria é projetada de acordo com o tipo de óleo que irá processar, as operações que irá realizar e cada uma delas produzirá emissões díspares quantitativamente e qualitativamente. Contudo, alguns elementos são encontrados em todos os efluentes. Nas emissões é corrente a presença de compostos sulfurados, nitrogenados, metais pesados, uma infinidade de hidrocarbonetos, dentre outros. Nesses efluentes podem ser encontrados: chumbo, ferro, cádmio e cobre. Estes elementos e outras substâncias variam em quantidade, a depender da qualidade do óleo e será proporcional à quantidade de petróleo processado (MARIANO, 2001; MONTEIRO et al., 2009).

A Lubnor, Refinaria Lubrificantes e Derivados do Nordeste, por exemplo, processa diariamente cerca de 9,5 mil barris de petróleo. Deste total, 50% é destinado à produção de asfalto, cerca de 15% à obtenção de lubrificantes naftênicos e 35% à produção de derivados variados. Totalizando, em 2015, uma produção de 200 mil toneladas de asfalto e 57 mil m³ de lubrificantes naftênicos (PETROBRÁS, 2016). As águas produzidas nesses processos precisam receber tratamento afim de que possam descartadas nos corpos receptores e estarem de acordo com a legislação vigente.

Atualmente, a indústria emprega diversos tipos de tratamento de efluentes, tais como os lodos ativados, processos de floculação ou biológicos, sedimentação e coagulação, dentre outros. Contudo esses métodos, além de não removerem completamente os contaminantes, os equipamentos utilizados nas técnicas são de alto custo, bem como, consomem bastante energia elétrica e reagentes. Nesse cenário a adsorção de metais, principalmente usando biomassa como adsorvente, desponta como promissor método alternativo de remediação, não somente porque o Brasil produz diversos subprodutos agroindustriais que normalmente seriam descartados e representam uma solução menos

onerosa e eficiente, mas também por se tratar de matéria prima renovável e biodegradável (FRANCO; CASTRO; WALTER, 2015).

A utilização da biomassa residual como material adsorvente atende ao apelo por uso de técnicas que favoreçam o desenvolvimento sustentável. Logo, o bambu é uma excelente fonte de biomassa já que é uma gramínea perene, com boa produtividade e sem necessidade de replantio. No mundo existem 1.439 espécies de bambus, distribuídas em 116 gêneros. No leste da Ásia é utilizado na fabricação de casas, ferramentas agrícolas, artesanato e móveis. O Brasil, embora seja o país da América Latina com a maior diversidade de espécies, não tem tradição de cultivo e exploração do bambu como matéria prima (VALE; MOREIRA; MARTINS, 2017).

Contudo, em 08 de setembro de 2011, foi sancionada a Lei de nº 12.484, que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), que tem por objetivo o desenvolvimento da cultura do bambu no País por meio de ações governamentais e de empreendimentos privados (BRASIL, 2011). A lei busca posicionar o cultivo dessa gramínea como uma cultura importante para o desenvolvimento econômico e social do país. Espera-se, portanto, o aumento na produção e uso desse material nos setores da construção civil, moveleiro, indústria papelreira e outras, bem como o incremento na produção deste resíduo agroindustrial.

Com a realização do presente trabalho pretendeu-se avaliar, através de estudo em batelada e utilizando efluente sintético, a viabilidade do uso da biomassa do bambu (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*) como material adsorvente de baixo custo para uso no tratamento de metais pesados na indústria petroquímica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização dos ensaios descritos nesse trabalho foi utilizada biomassa *in natura* obtida a partir do colmo de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*.

Os colmos secos naturalmente foram recolhidos no jardim da Universidade Estadual do Ceará, campus Itaperi. O material foi lavado com água destilada e seco à temperatura ambiente, em seguida foi triturado em moinho de facas tipo Willye Star FT80 da Fortinox. O material foi peneirado em peneira granulométrica da marca Betel. A granulação da biomassa utilizada no ensaio apresentava mesh menor que 32 e maior que 48.

Todos os produtos químicos utilizados neste estudo enquadram-se na categoria de reagente de grau analítico e utilizou-se água deionizada em todos os experimentos. As soluções metálicas de Cd e Pb foram preparadas a partir dos $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica 99%) e $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Vetec, 99%). Os ensaios de adsorção foram realizados em triplicata, por método de batelada em encubadora Shaker Marconi modelo MA-420 a temperatura constante de 28 °C e agitação de 200 rotações por minutos (RPM). Em todos os ensaios utilizou-se a massa de 5,0 g de adsorvente por litro de solução. As determinações das

concentrações residuais foram realizadas a partir das análises espectrométricas em espectrofotômetro de absorção atômica SHIMADZU modelo AA-7000.

2.1 Ponto de carga zero (pHPCZ).

Para a análise do pH_{PCZ} trabalhou-se nesse ensaio com soluções aquosas com pH variando entre 2 a 9 (intervalo de 1 ponto entre eles). As soluções aquosas de cloreto de sódio 0,1 mol/L foram preparadas com NaCl da Synth (99%) e para ajuste do pH utilizou-se solução de ácido clorídrico (HCl, Dinâmica, 36%) e hidróxido de sódio (NaOH, Dinâmica, 97%) ambos em concentração de 0,05 mol/L. Às soluções foram adicionadas 250 mg do adsorvente e em seguida colocadas em mesa agitadora nas condições anteriormente descritas. Decorridas 24 h de ensaio as soluções foram filtradas e o pH final da solução anotado. Os experimentos foram realizados em triplicata.

O pHPCZ é o parâmetro que prediz o valor de pH no qual um sólido apresenta em sua superfície carga eletricamente nula, ou seja, a quantidade de carga positiva e negativa são numericamente iguais. Então, em soluções com pH abaixo do pHPCZ a superfície do material adsorvente estará carregada positivamente e acima deste ponto a superfície estará carregada negativamente. A análise do pHPCZ permite inferir que tipo de partícula (aniônica ou catiônica) o material avaliado irá adsorver (DA SILVA et al., 2018; GIACOMNI et al., 2017; SOUZA NETO, 2012).

O ponto de carga corresponde à faixa na qual o pH da solução entra em equilíbrio e se mantém constante, independentemente do pH inicial.

2.2 Estudo do efeito do pH

No presente estudo avaliou-se o efeito do pH na faixa que varia entre 5,5, considerando-se que este pH foi determinado como o ponto de carga zero, e 6,5, já que acima deste ponto ocorre a precipitação de ambos os metais.

Utilizou-se 0,25 g de biomassa natural para cada 50 mL de solução monoelementar de Cd e Pb a 100 ppm. As soluções foram mantidas em incubadora do tipo Shaker por 4 horas a condições constantes (agitação de 200 RPM e 28 °C). Transcorrido o período determinado foram recolhidas amostra e analisadas por espectrofotometria de absorção atômica.

O pH é um dos fatores que podem influenciar no processo de adsorção ou dessorção de metais, portanto, é de suma importância determinar em qual pH a adsorção ocorre mais eficientemente (GONZÁLEZ; PLIEGO-CUERVO, 2014).

2.3 Isotermas de adsorção

Para a isoterma de adsorção utilizou-se 50 mL solução sintética monoelementar, em pH 5,5, nas concentrações de 50, 100, 150, 200, 250, 300 ppm e para ambos os íons. A experimentação foi conduzida utilizando-se 0,25 g de adsorvente para cada 50 mL de solução. O ensaio foi mantido por 4 h em incubadora (Shaker) em condições constantes

(agitação a 200 RPM e 28 °C). Decorrido período de ensaio as concentrações finais foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica.

Isotermas de adsorção são equações matemáticas que descrevem o fenômeno de adsorção de um soluto através de um sólido, em termos quantitativos e a temperaturas constantes. A isoterma de adsorção determina a quantidade de determinado soluto adsorvida na superfície do adsorvente, em razão da concentração de equilíbrio do soluto (NASCIMENTO et al., 2014).

Conforme a teoria proposta por Langmuir, os sólidos apresentam uma superfície recoberta de uma série de sítios passíveis de serem ocupados por moléculas do adsorbato. Esse modelo ainda presume que não há interação entre as moléculas adsorvidas, que as energias dos sítios são equivalentes, tampouco há transposição das moléculas adsorvidas de um sítio para outro. O processo de adsorção cessa quando todos os sítios são ocupados formando uma monocamada. A equação correspondente à *isoterma de Langmuir* é

$$q = \frac{q_{max}K_L C_e}{1+K_L C_e} \quad (01)$$

Onde:

q : quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g⁻¹);

q_{max} : capacidade máxima de adsorção (em mg g⁻¹);

K_L : constante de interação adsorbato/adsorvente (L mg⁻¹);

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (mg L⁻¹).

Na hipótese de haver a formação de multicamadas a isoterma de adsorção de Freundlich, é mais indicada, já que descreve um comportamento de uma adsorção heterogênea e, nesse caso, a energia dos sítios de adsorção se distribui exponencialmente. A isoterma de *Freundlich* corresponde a uma equação do tipo:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (02)$$

A linearização da equação de Freundlich ocorre quando aplicamos logaritmos de base 10 em ambos os lados da equação,

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (03)$$

Onde:

q_e : quantidade do soluto adsorvido (mg g⁻¹);

K_f : Constante de capacidade de adsorção de Freundlich (mg^{-1-(1/n)} (g-1) L^{1/n}).

1/n: constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

C_e : concentração de equilíbrio em solução (mg L⁻¹)

2.4 Cinética de adsorção

O estudo cinético para determinar o tempo necessário para o sistema atingir as condições de equilíbrio foi realizado através do processo em batelada. Em cada solução monoelementar (50 mL a 100 ppm de Cd^{2+} e 50 mL a 100 ppm de Pb^{2+}), foi adicionado 0,25 g de biomassa. O pH das soluções foram previamente ajustados para 5,5 (conforme pH_{pcz}) e o sistema mantido por 12 horas em condições constante (agitação a 200 RPM e 28 °C). Durante o ensaio, nos intervalos de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 540 e 720 minutos, foram retiradas, de cada reator, alíquotas para determinação da concentração de íons residuais em solução. As análises das amostras foram realizadas por espectrofotometria por absorção atômica.

Neste estudo foram utilizados os modelos cinéticos de pseudoprimeira ordem e pseudossegrunda ordem para interpretar os dados experimentais e na determinação do mecanismo que controla o processo de adsorção (transferência de massa na solução e reação química). O mecanismo de reação é revelado através dos dados cinéticos. Sendo o coeficiente angular de cada equação cinética o dado elementar na interpretação do mecanismo de adsorção do metal na fase sólida (NASCIMENTO *et al.*, 2014; SPINELLI *et al.*, 2005).

A equação de pseudoprimeira ordem é apresentada pela equação 1.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (04)$$

Onde:

k_1 é a constante da taxa de adsorção pseudoprimeira ordem (min^{-1})

q_e e q_t são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t respectivamente (mg g^{-1}).

Depois da integração da equação 1, e aplicando as condições que $qt=0$, $t=0$ e $qt=q_t$ a $t=t$, a equação 1 transforma-se na equação (05):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (05)$$

O valor de k_1 pode ser determinado através do gráfico de $\ln(q_e - q_t)$ versus t .

A equação de pseudossegrunda ordem pode ser expressa pela equação:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (06)$$

Onde:

k_2 é a constante da taxa de adsorção de pseudossegrunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

Fazendo a integração da equação (06) e aplicando as condições iniciais, tem-se :

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (07)$$

Obtêm-se os valores de q_e e k_2 através do intercepto e da inclinação da curva apresentada no gráfico (t/q_t) versus t . Na plotagem de (t/q_t) versus t , uma relação linear próxima a 1,0 descreve um modelo cinético de pseudossegunda ordem.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ponto de carga zero (pHPCZ)

De acordo com os dados (gráfico 1.) o ponto de carga na qual o pH da solução estudada entra em equilíbrio e se mantém constante foi determinado na faixa de 5,5.

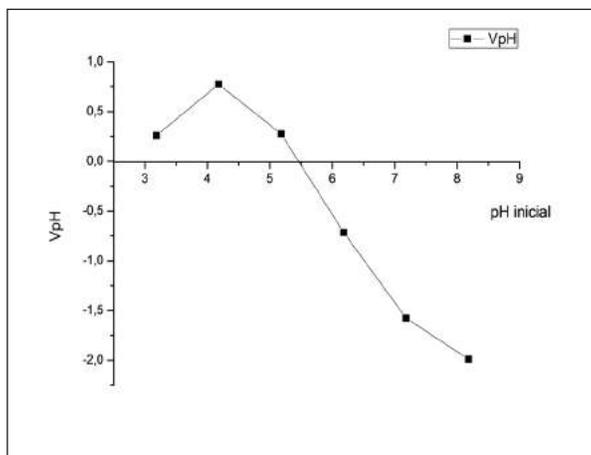


Gráfico 1. Potencial de Carga Zero.

Logo, a faixa de pH de interesse para a adsorção dos metais utilizados nesse trabalho situa-se acima de 5,5. Em soluções com pH acima do pHPCZ a superfície do material adsorvente estará carregada negativamente estando propensa a adsorção de partículas catiônicas tais como o Cd^{2+} e Pb^{2+} .

3.2 Efeito do pH

Os dados do estudo de pH foram analisados pelo método Anova conforme mostra tabela 1.

Bambu - chumbo					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{crítico}
SQF	28,04	1	28,04	0,241	7,708
SQE	698,24	6	116,37		
SQT	726,27	5	145,25		
Bambu – cádmio					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{crítico}
SQF	13,65	1	13,65	0,227	6,61
SQE	360,85	6	60,14		
SQT	374,50	5	74,90		

Tabela 1. Análises dos dados métodos ANOVA.

A análises dos dados permitiram inferir que não há diferenças significativas na taxa de adsorção entre a faixa de pH estudada. Então, optou-se por trabalhar com soluções com o pH em 5,5 pela menor possibilidade de precipitação dos metais avaliados neste pH.

3.3 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção dos íons Cd^{2+} e Pb^{2+} da biomassa de bambu *in natura*, podem ser observadas a partir dos gráficos 1 e 2. Os valores obtidos experimentalmente e as curvas alcançadas a partir dos valores estimados pelos modelos de Langmuir e Freundlich revelam que a afinidade de adsorção da biomassa aumenta com o aumento da concentração dos íons.

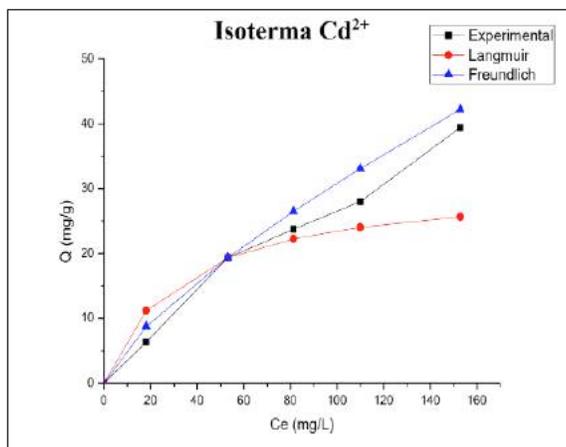


Gráfico 2. Isoterma de adsorção p/ cádmio.

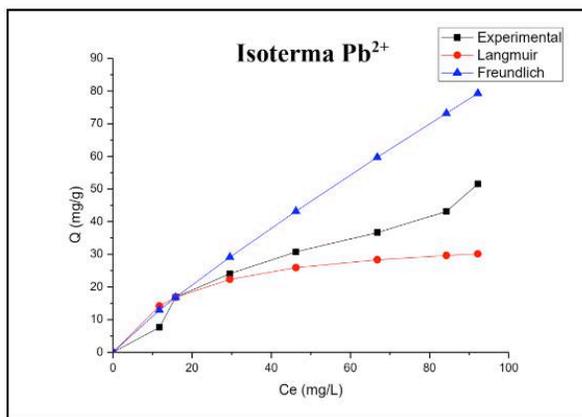


Gráfico 3. Isotherma de adsorção p/ chumbo.

Os modelos de isothermas, Langmuir e Freundlich, usados na interpretação dos resultados do presente experimento revelaram que o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais de adsorção obtidos para as soluções de Cd^{2+} Pb^{2+} (conforme tabela 3.) foi a isoterma de Freundlich para ambos os metais.

Langmuir		
Parâmetro	Pb	Cd
Qm (mg g ⁻¹)	31,047	36,012
KL(mol L ⁻¹)	0,031	0,055
R ²	0,86	0,88
Freundlich		
Parâmetro	Pb	Cd
1/n	0,739	0,88
KF (mol L ⁻¹)	1,027	1,479
R ²	0,97	0,92

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich ajustados aos dados experimentais.

De acordo com os dados experimentais a capacidade máxima de adsorção da biomassa do bambu in natura para o cádmio gira em torno de 36 mg g⁻¹ e 31,047 mg g⁻¹ para o chumbo. Farajzadeh e Monji (2004), utilizando farelo de trigo como adsorvente in natura, estudaram a adsorção dos cátions Cr^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} e Ni^{2+} . Os autores concluíram que a capacidade de adsorção dos cátions pelo do trigo, exceto para o Ni^{2+} , foi relativamente alta. Para o Cd^{2+} e Pb^{2+} a capacidade máxima determinada ficou ao redor de 24,2 e 63,9 mg g⁻¹ respectivamente. Logo, os dados encontrados para o cádmio dialogam com os dados da literatura. Contudo, demonstrando melhor capacidade de adsorção que o farelo do trigo in natura.

3.4 Cinética de adsorção

Os resultados encontrados nos estudos cinéticos revelaram, através da correlação linear de ambos os modelos (R^2), que equação de pseudossegunda ordem forneceu os melhores ajustes dos dados experimentais. Conforme a tabela 4 e os gráficos 4 e 5:

Pseudoprimeira Ordem		
	Chumbo	Cádmio
K1	0,001	0,002
Qe (Cal)	0,608	0,111
R ²	0,088	0,54
Pseudossegunda Ordem		
	Chumbo	Cádmio
K2	0,108	0,08
Qe (Calc)	1,69	0,92
R ²	0,98	0,99

Tabela 4. Parâmetros dos modelos cinéticos ajustados aos dados experimentais.

A equação pseudossegunda ordem indica, conseqüentemente, que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química (reação química). Este modelo prediz o comportamento cinético no decorrer de toda a faixa de tempo.

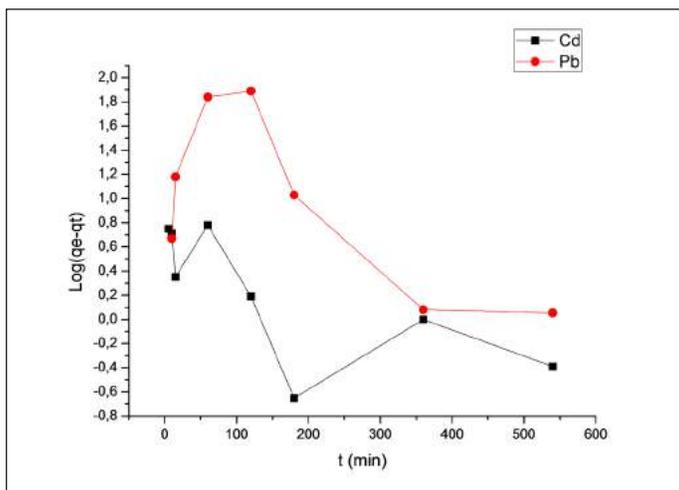


Gráfico 4. Modelo cinético ajustado à equação de pseudoprimeira ordem.

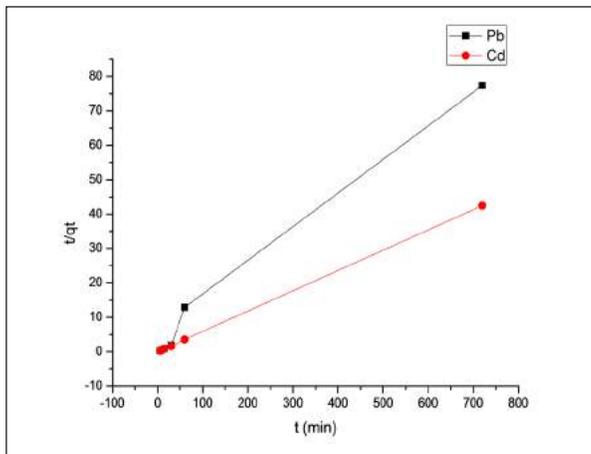


Gráfico 5. Modelo cinético ajustado a equação de pseudosegunda ordem.

É também possível considerar que a etapa limitante do processo de adsorção envolve forças de valência através do compartilhamento ou da troca de elétrons entre o adsorvente e o soluto e transferência de massa (MOHAN; SINGH; SINGH, 2006; characterized and utilized for Cr(III) VIJAYARAGHAVAN; PALANIVELU; VELAN, 2006; copper(II) AKSU, 2001).

4 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente ensaio permitiram prever que os modelos teóricos que melhor se ajustam aos dados experimentais de adsorção obtidos para as soluções de Cd^{2+} e Pb^{2+} foram a equação de pseudosegunda ordem e a isoterma de Freundlich. A capacidade máxima de adsorção da biomassa do bambu *in natura* para o cádmio ficou determinada em torno de $36,01 \text{ mg g}^{-1}$ e $31,047 \text{ mg g}^{-1}$ para o chumbo.

Os dados experimentais encontrados para o cádmio dialogam com os dados da literatura. Ficando demonstrado, entretanto, que a biomassa do bambu é mais eficiente na remoção desse metal em solução. Contudo o resultado para a adsorção do íon chumbo ficou abaixo do esperado. No entanto, vale ressaltar que a biomassa não sofreu nenhum pré-tratamento para uso no presente experimento.

Logo, o presente estudo de adsorção revelou que o uso da biomassa do bambu *in natura* como bioadsorvente empregado no tratamento de águas contaminadas com os íons metálicos cádmio e chumbo é bastante promissor, já que se trata de biomassa abundante, renovável, utilizada *in natura* e de baixo custo. Além disso é uma gramínea perene, com boa produtividade e sem necessidade de replantio.

AGRADECIMENTOS

À Capes, UECE, ao Dr. Carlos Emanuel C. Magalhães, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Estadual do Ceará.

REFERÊNCIAS

- AKSU, Z. **Equilibrium and kinetic modelling of cadmium(II) biosorption by *C. vulgaris* in a batch system: Effect of temperature.** Separation and Purification Technology, v. 21, n. 3, p. 285–294, 2001.
- BRASIL. **Política nacional de incentivo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu. Lei nº 12.484.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2011.
- DA SILVA, J. E.; RODRIGUES, F. I. L.; PACÍFICO, S. N.; SANTIAGO, L. F.; MUNIZ, C. R.; SARAIVA, G. D.; DO NASCIMENTO, R. F.; SOUSA NETO, V. O.; **Study of kinetics and adsorption equilibrium employing chemically modified coconut shell for the removal of Pb(II) from synthetic bath.** Revista Virtual de Química, v. 10, n. 5, p. 1248–1262, 2018.
- FARIA, M. R. G.; SOUSA, L. H.; SILVA NETO, C. M.; SILVA, G. A.; PRADO, R. S. **Avaliação da capacidade antifúngica de mel e geoprópolis de melipona quadrifasciata sobre candida albicans antifungal activity evaluation of melipona quadrifasciata honey and geopr....** Revista Eletrônica da Faculdade Evangélica de Ceres, v. 6, n. June, p. 446–452, 2017.
- FRANCO, C. C.; CASTRO, M. M. DE; WALTER, M. E. **Estudo das cascas de banana das variedades prata, caturra e maçã na biossorção de metais pesados gerados pelos efluentes dos laboratórios do centro universitário de Belo Horizonte.** e-xacta, v. 8, n. 1, 30 maio 2015.
- GIACOMNI, F.; MENEGAZZO, M. A. B.; DA SILVA, GOMES DA SILVA, M.; BORTOLUZZI DA SILVA, A.; BARROS, M. A. S. D.; **Importância da determinação do ponto de carga zero como característica de tingimento de fibras proteicas.** Revista Materia, v. 22, n. 2, 2017.
- GONZÁLEZ, P. G.; PLIEGO-CUERVO, Y. B. **Adsorption of Cd(II), Hg(II) and Zn(II) from aqueous solution using mesoporous activated carbon produced from Bambusa vulgaris striata.** Chemical Engineering Research and Design, v. 92, n. 11, p. 2715–2724, 1 nov. 2014.
- MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo.** 2001. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Fortaleza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- MOHAN, D.; SINGH, K. P.; SINGH, V. K. **Trivalent chromium removal from wastewater using low cost activated carbon derived from agricultural waste material and activated carbon fabric cloth.** Journal of Hazardous Materials, v. 135, n. 1–3, p. 280–295, 31 jul. 2006.
- MONTEIRO, J. P.; MAGRINI, A.; SZKLO, A. S.; NUNES, R. T. S.; **Gerenciamento de Água na Indústria de Refino de Petróleo e as Perspectivas de Reuso.** Meio Filtrante, v. 6, n. 29, 2009.
- NASCIMENTO, R. F.; MELO, D. Q.; LIMA, A. C. A.; BARROS, A. L.; IDAL, C. B.; RAULINO, G. S. C.; **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** 1a. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2014.

PETROBRÁS. **Refinaria Lubrificantes e Derivados do Nordeste (Lubnor) completa 50 anos.** <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/refinaria-lubrificantes-e-derivados-do-nordeste-lubnor-completa-50-anos.htm>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

SOARES, M. D. A. **Desenvolvimento de um método de extração e pré-concentração em fluxo para determinação de Cádmio em amostras de interesse alimentício utilizando a palha do café como adsorvente.** 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017.

SOUZA NETO, V. S. **Modificação química da casca do coco bruto (Cocos Nucifera) para remoção de Cu(II) de efluente sintético e industrial: estudo de isoterma de adsorção, cinética e coluna de leito fixo.** 2012. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SPINELLI, V. A.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V.T.; KIMURA, I.; **Cinética e equilíbrio de adsorção dos oxianions Cr (VI), Mo (VI) e Se (VI) pelo sal de amônio quaternário de quitosana.** *Polímeros*, v. 15, n. 3, p. 218–223, jul. 2005.

VALE, A. T. ; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S. **Avaliação do Potencial Energético de Bambusa vulgaris em Função da Idade.** *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 123314, 2017.

VIJAYARAGHAVAN, K.; PALANIVELU, K.; VELAN, M. **Biosorption of copper(II) and cobalt(II) from aqueous solutions by crab shell particles.** *Bioresource technology*, v. 97, n. 12, p. 1411–1419, ago. 2006.

DETECÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E DEGRADAÇÃO EMPREGANDO DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA REMOÇÃO DOS FÁRMACOS GEMFIBROZIL, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Data de aceite: 01/02/2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia

Pós-doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia

<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

RESUMO: Os fármacos foram desenvolvidos com o intuito de prevenir e/ou reduzir os efeitos de inúmeras patologias que assolam a humanidade há séculos proporcionando o aumento e a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Entretanto, a ausência e/ou escassez de serviços públicos de saúde presentes em países de economia emergente (Brasil, China, Índia entre outros) e/ou a decadência e total colapso social e financeiro (Venezuela, Haiti e outros). Neste contexto, as pessoas recorrem a práticas de automedicação fitoterápica e/ou a medicamentos e que não exigem a apresentação de receituário médico no ato da compra. Entretanto, tal prática vem ocasionando a maior detecção e quantificação em diferentes compartimentos aquáticos, em função da disposição inadequada de medicamentos descartados na forma de lixo comum ou lançados na rede coletora de esgotos residencial. Como consequência, diferentes biotas aquáticas recebem grande quantidade de resíduos de fármacos com propriedades deletérias capazes de afetar os diferentes organismos de toda uma cadeia alimentar. Diante disso, este trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão da

literatura em relação a detecção e quantificação em diferentes compartimentos aquáticos dos fármacos Gemfibrozil (GEM), Hidroclorotiazida (HCTZ) e Naproxeno (NAP), bem como a eficiência de remoção destes fármacos frente a novas tecnologias de tratamento que podem ser utilizadas como etapas complementares aos processos convencionais de tratamento. Os resultados demonstram: *i*) a presença destes fármacos em diferentes matrizes aquosas localizadas em diferentes países do mundo; *ii*) a escassez de trabalhos que procuraram avaliar a remoção destes fármacos utilizando tecnologias avançadas de tratamento e; *iii*) a escassez de trabalhos que pretendiam avaliar a remoção destes compostos-alvos em condições próximas as encontradas em diferentes compartimentos aquáticos. Logo, existe a necessidade de se investigar ainda mais a presença destes compostos em matrizes aquosas, bem como os diferentes efeitos deletérios a curto, médio e longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: biota aquática, compartimentos aquáticos, tecnologias avançadas de tratamento, processos convencionais de tratamento

DETECTION, QUANTIFICATION AND DEGRADATION USING DIFFERENT ADVANCED OXIDATIVE PROCESSES FOR THE REMOVAL OF GEMFIBROZIL, HYDRCHLOROTHIAZIDE AND NAPROXEN IN DIFFERENT AQUEOUS MATRICES

ABSTRACT: Pharmaceuticals were developed with the aim of preventing and/or reducing the

effects of numerous pathologies that have plagued humanity for centuries, providing an increase and improvement in people's quality of life. However, the absence and/or scarcity of public health services present in emerging economy countries (Brazil, China, India, among others) and/or the decadence and total social and financial collapse (Venezuela, Haiti, and others). In this context, people resort to herbal self-medication practices and/or medicines that do not require the presentation of a medical prescription at the time of purchase. However, this practice has led to greater detection and quantification in different aquatic compartments, due to the inadequate disposal of discarded medicines in the form of common waste or thrown into the residential sewage collection network. As a consequence, different aquatic biotas receive large amounts of drug residues with deleterious properties capable of affecting different organisms in an entire food chain. Therefore, this work aims to present a review of the literature regarding the detection and quantification in different aquatic compartments of the pharmaceuticals Gemfibrozil (GEM), Hydrochlorothiazide (HCTZ) and Naproxen (NAP), as well as the efficiency of removal of these drugs against new treatment technologies that can be used as complementary steps to conventional treatment processes. The results demonstrate: *i*) the presence of these pharmaceuticals in different aqueous matrices located in different countries of the world; *ii*) the scarcity of studies that sought to evaluate the removal of these drugs using advanced treatment technologies and; *iii*) the scarcity of studies that intended to evaluate the removal of these target compounds under conditions similar to those found in different aquatic compartments. Therefore, there is a need to further investigate the presence of these compounds in aqueous matrices, as well as the different deleterious effects in the short, medium and long term.

KEYWORDS: aquatic biota, aquatic compartments, advanced treatment technologies, conventional treatment processes

1 | INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância para todos os seres vivos, sendo o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, componente de células e participando de processos biológicos. Embora 75% da superfície terrestre seja composta por água, a fração que corresponde a água doce é de somente 2,5%, dos quais: *(i)* 68,9% se encontram na forma de geleiras; *(ii)* 29,9% águas subterrâneas; *(iii)* 0,9% em solos e pântanos e *(iv)* apenas 0,3% na forma de rios e lagos que se encontram disponíveis para o abastecimento público. Diante disso, existe uma enorme necessidade de se discutir questões relacionadas à manutenção e preservação da qualidade da água, visto que se trata de um recurso mineral imprescindível tanto para a manutenção da existência de grande parte dos seres vivos, quanto a sobrevivência humana e suas atividades, entre as quais: *i*) abastecimento público e industrial; *ii*) irrigação agrícola; *iii*) produção de energia elétrica; *iv*) atividades de lazer e recreação e *v*) preservação da vida aquática (MACHADO et al., 2016; PANIAGUA, 2021; PANIAGUA; SANTOS, 2021).

Em função do uso abundante deste recurso imprescindível para a manutenção da vida, ocorre a geração de efluentes que não podem ser removidos pelos processos

convencionais de tratamento de água e esgoto e que acabam sendo dispostos de maneira inadequada no ambiente, ocasionando diferentes impactos ambientais sobre o meio biótico e abiótico (NEGUI; KRISHNAN; KUMAR, 2018; PANIAGUA, 2021; PANIAGUA; SANTOS, 2021).

Dentre os contaminantes presentes na água, se encontram classe de substâncias que são matérias-primas ou fazem parte da composição na formulação de produtos de higiene pessoal, esteróides, hormônios, detergentes, pesticidas, drogas ilícitas e os fármacos (GARCIA-SEGURA; BRILLAS, 2017; MURGOLO et al., 2017). Os fármacos, apesar dos benefícios que promovem, têm despertado a atenção e interesse da comunidade científica devido ao impacto negativo na saúde humana e animal na forma residual (GABÁRRON et al., 2016; PETRIE; BARDEN; KASPRZYK-HORDERN, 2015). Estes compostos têm sido determinados em diversas matrizes aquosas, evidenciando que não são completamente removidos durante os tratamentos convencionais (MERIBOUT et al., 2016; YANG et al., 2017). Sendo assim, novos processos de tratamento devem ser avaliados visando à degradação desta classe de contaminantes em diferentes matrizes ambientais (PETRIE; BARDEN; KASPRZYK-HORDERN, 2015).

Os fármacos são desenvolvidos para serem persistentes, mantendo suas propriedades químicas para servir a um fim terapêutico. Em geral, os fármacos são absorvidos pelo organismo (humano ou animal) e metabolizados (GUPTA et al., 2017; RIVERA-UTRILLA et al., 2013). No entanto, uma quantidade significativa dos fármacos originais e seus metabolitos são excretados de forma inalterada (50 a 90% do princípio ativo), permanecendo no efluente (PANIAGUA, 2021; PANIAGUA; SANTOS, 2021). RODRIGUES-NARVAEZ et al., 2017).

Os resíduos farmacêuticos chegam aos compartimentos aquáticos por diferentes vias: *i*) excreção humana e animal; *ii*) descarte doméstico de medicamentos não utilizados ou vencidos no lixo, na pia ou em vaso sanitário; *iii*) mistura de efluentes hospitalares, industriais, lixiviados de aterros sanitários a rede de esgoto residencial; *iv*) introdução de fármacos de uso veterinário nos ambientes aquáticos (PANIAGUA, 2021; PANIAGUA; SANTOS, 2021; STARLING; AMORIM; LEÃO, 2019). Todas estas rotas podem ser resumidas pelo esquema da Figura 1.

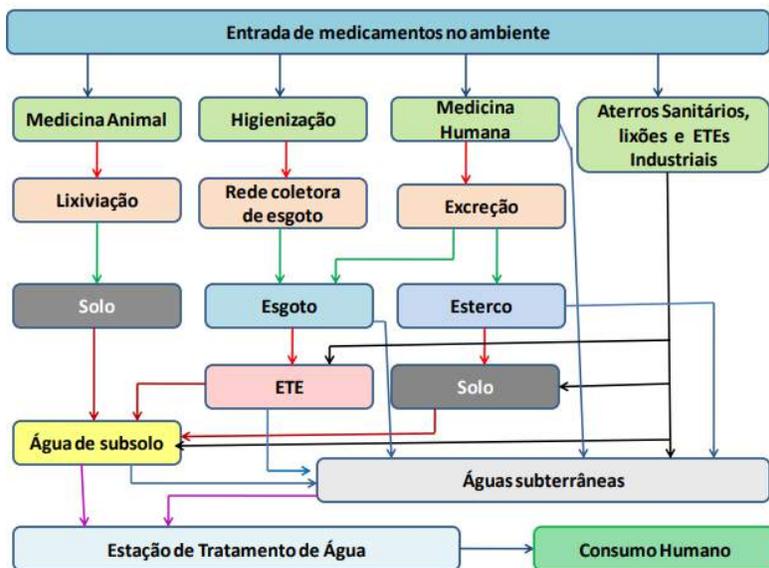


Figura 1 - Possíveis rotas de entrada e distribuição dos fármacos no ambiente.

Fonte: Paniagua (2021a).

Neste sentido, o presente trabalho pretende apresentar a detecção e quantificação dos fármacos GEM, HCTZ e NAP em diferentes matrizes aquosas em diversos países do mundo. Além disso, apresentar e discutir alguns trabalhos da literatura que procuraram aplicar diferentes Processos Oxidativos Avançados (POAs) para a remoção da mistura destes fármacos em diferentes matrizes aquosas.

2 | FÁRMACOS INVESTIGADOS

2.1 Gemfibrozil

O GEM é considerada um regulador lipídico da classe dos fibratos (GRENNI et al., 2018; OSORIO et al., 2016), atuando de forma a reduzir os níveis de triglicerídeos no sangue e a produção de VLDL (do inglês «very low density lipoprotein», lipoproteínas de baixa densidade) no fígado (partículas carregadoras de triglicerídeos na circulação sanguínea) pelo aceleração da remoção de triglicerídeos no sangue (ARDILA et al., 2013; MA et al., 2016). A maioria dos fibratos (90%) administrados são absorvidos e excretados de forma inalterada. Alguns exemplos de fibratos prescritos na Europa e nos Estados Unidos incluem gemfibrozil, fenofibrato, bezafibrato e ácido clofíbrico (GRENNI et al., 2013; HENRIQUES et al., 2016). Em função de sua grande utilização, o GEM tem sido determinada em diferentes matrizes e em concentrações da ordem de ng a $\mu\text{g/L}$ (GRENNI et al., 2018; VYMAZAL et al., 2017), conforme a Tabela 1.

Concentração (ng L ⁻¹)	Matriz aquosa/País	Referência
400	Esgoto Bruto/Brasil	STUMPF et al., 1999
48	Água superficial/EUA	KOLPIN et al., 2002
700	Efluente de ETE/França	ANDREOZZI et al., 2003
710	Efluente de ETE/Grécia	ANDREOZZI et al., 2003
2140	Efluente de ETE/Itália	ANDREOZZI et al., 2003
710	Esgoto Bruto/Suécia	BENDZ et al., 2005
71	Efluente de ETE/Canadá	GAGNÉ et al., 2006
<1-5100	Efluente/Espanha	RADJENOVIC et al., 2009
0-135,2	Água de Rio/EUA	PAL et al., 2010
2-29	Água de Rio/EUA	PAL et al., 2010
1,8-9,1	Efluente de ETE/Ásia	PAL et al., 2010
845	Água de Rio/Ásia	PAL et al., 2010
3621	Efluente de ETE/Espanha	ROSAL et al., 2010
333	Água de rio/Espanha	VALCARCEL et al., 2011
6800	Efluente/Espanha	BUENO et al., 2012
11	Efluente/Irlanda	CAHILL et al., 2012
59	Água Residuária/Canadá	DANESHVAR et al., 2012
210	Água de rio/Espanha	GRACIA-LOR et al., 2012
1017-1033	Lagos/EUA	LI et al., 2013
65	Água de rio/Itália	PATROLECO et al., 2013
242	Efluente de ETE/Itália	PATROLECO et al., 2013
420	Água residuária/EUA	KOSTICH et al., 2014
0,7-38,5	Efluente/Portugal	PEREIRA et al., 2015
2,3-57,4	Água de superfície/China	YANG et al., 2017
8-9730	Efluente de ETE/Espanha	AFONSO-OLIVARES, 2017
119	Água de superfície/Ilhinois/EUA	DODGEN et al., 2017

Tabela 1 - Concentrações médias de GEM encontradas em diferentes matrizes Aquosas até o ano de 2018.
Fonte: Paniagua (2018).

Molinari e colaboradores (2008) estudaram a degradação de uma mistura de gemfibrozil (10 mg/L) e tamoxifeno (8 mg/L) em água desionizada utilizando 1000 mg/L de TiO₂, obtendo-se 99% de eficiência de degradação nos primeiros 20 min de reação e uma mineralização de 90% para ambos os fármacos, em pH 9,2, após 120 min de irradiação.

Shu e colaboradores (2013) avaliaram a degradação de uma mistura de naproxeno, carbamazepina, diclofenaco, gemfibrozil, ibuprofeno, cafeína, mecoprop pelo processo H₂O₂/UV-C em água destilada. Em pH 7,0 a uma concentração entre 25 a 50 mg/L de H₂O₂, houve 90% de eficiência de degradação dos fármacos a uma concentração inicial que variou de 10 a 40 mg/L.

Álvarez-Corena e colaboradores (2016) estudaram a degradação de cinco contaminantes em água desionizada, entre os quais a gemfibrozil, a uma concentração inicial de 2 mg/L pelo processo TiO₂/UV-A. Em pH 5,0 a uma concentração de 1,5 g/L de TiO₂, ocorreu a degradação de 95% de GEM após 5 min de reação.

Murgolo e colaboradores (2017) avaliaram a degradação de uma mistura de cinco fármacos em água desionizada, incluindo o GEM, partindo-se de uma concentração inicial de 200 a 400 µg/L pelo processo TiO₂/UV-A. A utilização de 200 mg/L de TiO₂ proporcionou uma eficiência de degradação de 90%.

2.2 Hidroclorotiazida

A HCTZ é um diurético da classe das benzotiazidas, sintetizada na década de 1950 (MAHAJAN; THAKERA; MOHANRAJ, 2012; SILVA; LOURENCAO; FATIBELLO-FILHO, 2015). Constitui-se em um pó cristalino branco, inodoro, muito pouco solúvel em água, apresentando ponto de fusão entre 266 a 270 °C (ALGHAMDI, 2014). Este fármaco é utilizado em casos de insuficiência cardíaca leve, edema resistente grave e na prevenção de cálculos renais (MAHAJAN; THAKERA; MOHANRAJ, 2012; REAL et al., 2010), bem como no tratamento de edema sintomático, insuficiência cardíaca congestiva, diabetes insípido e diferentes formas de disfunção hepática e renal, como acidose renal tubular, prevenção de pedras nos rins, dentre outros (DE OLIVEIRA; YOSHIDA; DA SILVA, 2014).

Este medicamento atua na inibição da capacidade dos rins de reter água, porém é um diurético poupador de cálcio, ajudando na eliminação do excesso de água (ALGHAMDI, 2014). Através dessa inibição, há uma redução do volume de água no sangue, diminuindo o fluxo do mesmo para o coração. Isso favorece a diminuição da pressão sanguínea, e por outros mecanismos, acredita-se na diminuição da resistência periférica vascular do coração (ALGHAMDI, 2014). Devido ao grande uso, a HCTZ tem sido detectada em diferentes matrizes aquosas e locais em concentrações da ordem de ng a $\mu\text{g/L}$, conforme Tabela 2.

Concentração média (ng/L)	Ambiente	Referência
598	Água de rio/Itália	CASTIGLIONI et al., 2005
1370-1530	Efluente/Alemanha	SCHRODER et al., 2010
8732	Efluente de ETE/Espanha	BUENO et al., 2012
6805	Água de rio/Espanha	BUENO et al., 2012
12	Efluente de ETE/Irlanda	CAHILL et al., 2012
130	Efluente de ETE/EUA	YU et al., 2012
1300	Efluente/Itália	PATROLECO et al., 2013
38	Efluente de ETE/Malásia	AL-QAIM et al., 2014
46	Efluente de Hospital/Malásia	AL-QAIM et al., 2014
82	Afluente de Hospital/Malásia	AL-QAIM et al., 2014
111	Efluente/Malásia	AL-QAIM et al., 2014

Tabela 2 -Concentrações médias de HCTZ encontradas em diferentes matrizes aquosas.

Fonte: Paniagua, 2018.

Sousa e colaboradores (2012) estudaram a degradação de uma mistura constituída por vinte e dois fármacos em efluente de água residuária por fotocatalise heterogênea utilizando 200 mg/L do fotocatalisador em radiação solar. Para a HCTZ (3,0 $\mu\text{g/L}$), houve a completa degradação e 42% de mineralização em pH 7,0 (natural da matriz).

Martinez e colaboradores (2013) avaliaram a degradação de uma mistura constituída por seis fármacos, entre eles a HCTZ, a uma concentração inicial de 10 mg/L em água desionizada, pelo processo $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$. Alcançou-se uma eficiência de 90% de degradação

dos fármacos e uma mineralização de 46% após 100 min de reação em pH 7,0.

Rodrigues-Silva e colaboradores (2013) estudaram a degradação de uma mistura constituída de quatro fármacos, entre eles a HCTZ, pela integração dos processos de ozonólise e fotocatalise heterogênea com TiO_2 sob radiação solar. Houve a completa remoção dos fármacos e 60% de mineralização em 30min de reação para uma concentração de O_3 de 10 mg/L.

Márquez e colaboradores (2014) avaliaram a degradação de quatro fármacos, entre eles a HCTZ, pela integração dos processos de ozonólise e fotocatalise heterogênea com TiO_2 sob radiação solar em água desionizada a partir de uma solução estoque de 10 mg/L. Os resultados mostraram que foram necessários 20 mg de O_3 e 250 mg/L de TiO_2 , resultando em 99% de degradação e 70% de mineralização da amostra após 2 h de reação.

Gimeno e colaboradores (2016) estudaram a remoção de uma mistura de nove fármacos (200 $\mu\text{g/L}$), entre eles a HCTZ, em efluente de ETE com uma concentração de 1000 a 2000 mg/L de matéria orgânica utilizando o processo de fotocatalise com radiação solar. Os resultados obtidos demonstraram uma remoção 60, 80, 86, 96, 86 e 100% após 5 h de reação utilizando os processos TiO_2/O_2 , TiO_2/O_3 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{O}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{O}_3$, $\text{Fe(III)}/\text{O}_2$ e $\text{Fe(III)}/\text{O}_3$, respectivamente.

Paiva e colaboradores (2018) estudaram a degradação simultânea de NAP, HCTZ e GEM em água desionizada utilizando o processo foto-Fenton com o complexo ferrioxalato, 1,0 mg/L de íon Fe^{2+} e 2,0 mg/L de H_2O_2 . O resultados obtidos demonstraram uma degradação total para NAP (3,9 $\mu\text{mol/L}$), HCTZ (4,0 $\mu\text{mol/L}$) e GEM (2,0 $\mu\text{mol/L}$) após 30 min de irradiação.

2.3 Naproxeno

O NAP é classificado como um anti-inflamatório não-esteróide pertencente à classe do ácido propiônico (DULOVA; KATELL; TRAPIDO, 2017; JALLOULI et al., 2016), constituindo-se em um sólido cristalino, branco, inodoro e pouco solúvel em água. Sua massa molar é de 230 g mol^{-1} e seu ponto de fusão é próximo do intervalo de 152-154 °C (ARANY et al., 2013; KAUR; UMAR; KANSAL, 2016). O NAP atua na inibição da síntese das prostaglandinas pelas enzimas ciclo-oxigenase que são responsáveis pela sinalização de infecção entre as células do tecido humano (DULOVA; KATELL; TRAPIDO, 2017; KANAKARAJU et al., 2016), possuindo ainda propriedade anti-inflamatória, ação analgésica e antitérmica. Sendo amplamente utilizado como anti-inflamatório no tratamento de bursite, tendinite, gota, cólicas menstruais, artrites, artralguas, mialgias e contusões, e, como analgésico em dores pós-operatória, pós-parto e ortopédica (LUO et al., 2018; WOJCIESZYNSKA et al., 2014). Em função de seu amplo consumo mundial, o NAP, apresenta grande interesse dos pesquisadores por suas propriedades físico-químicas e toxicológicas (DURÁN-ALVAREZ et al., 2015; LUO et al., 2018). Trabalhos de monitoramento mostram que o NAP tem sido detectado em diferentes matrizes aquosas e locais em concentrações

da ordem de ng a µg/L (ASADI et al., 2015; NADAIS et al., 2018), conforme Tabela 3.

Concentração (ng/L)	Ambiente	Referência
70	Água superficial/Alemanha	TERNES, 1998
600	Esgoto Bruto/Brasil	STUMPF et al., 1999
50	Água de rio/Brasil	STUMPF et al., 1999
1100	Efluente de ETE/França	ANDREOZZI et al., 2003
2000	Efluente de ETE/Itália	ANDREOZZI et al., 2003
37-39	Água de rio/EUA	BOYD et al., 2003
250	Efluente de ETE/Suécia	BENDZ et al., 2005
3700	Esgoto Bruto/Suécia	BENDZ et al., 2005
4900	Esgoto bruto/Finlândia	LINDQVIST et al., 2005
5468	Água residuária/Espanha	CONDKLE et al., 2008
130-670	Efluente/Espanha	RADJENOVIC et al., 2009
5468	Água residuária/Espanha	SANTOS et al., 2009
290	ETE/Suécia	ZORITA et al., 2009
500	ETE/Grécia	KOSMA et al., 2010
31 - 7960	Efluente/Portugal	SANTOS et al., 2010
1368-1533	Efluente de ETE/Alemanha	SCHRODER et al., 2010
111	ETE/Coréia	BEHERA et al., 2011
4200-7200	Água residuária/Espanha	JELIC et al., 2011
250	ETE/Coréia	SIM et al., 2011
1299	Água de rio/Espanha	VALCÁRCEL et al., 2011
0,5	Água potável/França	VULLIET et al., 2011
250	Água superficial/Portugal	GONZALEZ – REY, 2012
278	Rio/Espanha	CAHILL et al., 2012
130	ETE/Espanha	GRACIA-LOR et al., 2012
180	ETE/Itália	VERLICCHI et al., 2012
28	Efluente/Irlanda	YU; WU, 2012
330	Água superficial/Chile	ASCAR et al., 2013
10418	Água Residuária/Louisiana/EUA	LIU et al., 2013
26,7	ETE/Países da Europa	LOOS et al., 2013
1650	Efluente/Índia	SINGH et al., 2014
7189	Efluente/Espanha	CARMONA et al., 2014
430	Efluente hospitalar/Iran	ESLAMI et al., 2015
1424	Rio/República Tcheca	MARSIK et al., 2017

Tabela 3 - Concentrações médias de NAP encontradas em diferentes matrizes aquosas.

Fonte: Paniagua, 2018.

Sousa e colaboradores (2012) estudaram a degradação de uma mistura constituída por vinte e dois fármacos, entre eles o NAP, em água desionizada utilizando o processo $TiO_2/UV-A$, ocorrendo a completa degradação de dezenove fármacos avaliados, dentre eles, o NAP e uma mineralização de 42% em pH 7,0.

Jácome-Acatitla e colaboradores (2014) avaliaram a degradação de uma mistura de dois fármacos em água destilada, usando o processo de fotocatalise com Al-Mg calcinado pelo método de co-precipitação. Para o NAP, obteve-se 80% de degradação após 5 h de reação, partindo-se de uma concentração inicial de 50 mg/L do fármaco, utilizando-se 100 mg do catalisador.

Kanakaraju e colaboradores (2015) investigaram a degradação de NAP por meio da fotocatalise com TiO_2 em diferentes matrizes aquosas a uma concentração inicial de

30 mg/L, sendo obtido a total degradação do composto-alvo após 9 min de irradiação em água desionizada. Na presença de ânions cloreto (20 mg/L), a degradação atingiu 96% de eficiência enquanto quena presença simultânea dos ânions cloreto e fosfato (20 mg/L), a eficiência atingida foi de 83% para o mesmo intervalo de tempo.

Jallouli e colaboradores (2016) estudaram a degradação de NAP (1,91 mmol/L) em água desionizada, empregando a fotocatalise com TiO_2 sob radiação UV e solar, obtendo 83 e 95% de eficiência, respectivamente, em pH 6,5 e após 180 min de irradiação.

Dulova e colaboradores (2017) avaliaram a degradação de NAP pelo processo foto-Fenton, em água desionizada, obtendo-se 99% de degradação após 45 min de reação, partindo-se de uma solução de NAP a $75 \mu\text{mol/L}$ em pH 3,0.

Nadais e colaboradores (2018) avaliaram a degradação de quatro anti-inflamatórios, entre eles o NAP, pelo processo de bio-eletron-fenton em água desionizada, obtendo-se 81% de degradação após 5 h de reação, partindo-se de uma concentração de $40 \mu\text{g L}^{-1}$ em pH 2,0 e uma concentração de Fe^{2+} de $7,5 \text{ mmol/L}$.

3 I CONCLUSÕES

Pelos dados apresentados, conclui-se que os fármacos GEM, HCTZ e NAP estão sendo detectados e quantificados em concentrações cada vez mais elevadas em diferentes matrizes aquosas e em diversos países do mundo. O levantamento da literatura demonstrou a escassez de trabalhos realizados que envolvesse a mistura destes três fármacos em matrizes reais e em condições (concentração do fármaco, pH entre outros) mais próximas as detectadas em diferentes compartimentos aquáticos no ambiente. Diante disso, se faz necessário a continuidade de estudos que procurem investigar a influência da composição da matriz na eficiência de degradação da mistura dos compostos-alvos, bem como testes de toxicidade aguda e crônica a curto, médio e longo prazo em organismos de diferentes biotas aquáticas e ecossistemas e nos mais diversos níveis tróficos da cadeia alimentar.

REFERÊNCIAS

AFONSO-OLIVARES, C. et al. Estimation of kinetic parameters and UV doses necessary to remove twenty-three pharmaceuticals from pre-treated urban wastewater by UV/ H_2O_2 . **Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry**, v. 329, p.130-138, 2016.

ALGHAMDI, A. F. Electrochemical oxidation behavior of hydrochlorothiazide on a glassy carbon electrode and its voltammetric determination in pharmaceutical formulations and biological fluids. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 22, n. 3, p. 363-369, 2014.

AL-QAIM, F. F. et al. Multi-residue analytical methodology-based liquid chromatography –time-of-flight-mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in surface water and effluents from sewage treatment plants and hospitals. **Journal of Chromatography A**, v. 1345, p. 139-153, 2014.

ALVAREZ-CORENA, J. R.; BERGENDAHL, J. A.; HART, F. L. Advanced oxidation of five contaminants in water by TiO₂/UV: Reaction kinetics and by products identification. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 544-551, 2016.

ANDREOZZI, R. et al. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. **Chemosphere**, v. 50, n. 10, p. 1319-1330, 2003.

ARANY, E. et al. Degradation of naproxen by UV, VUV photolysis and their combination. **Journal of Hazardous Materials**, v.262, p. 151-157, 2013.

ARDILA, J. A. et al. Determination of Gemfibrozil in pharmaceutical and urine samples by square wave adsorptive stripping voltammetry using a glassy carbon electrode modified with multi-walled carbon nanotubes within a dihexadecyl hydrogen phosphate film. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 690, p. 32-37, 2013.

ASCAR, L. et al. Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drug Determination in Water Samples by HPLC-DAD under Isocratic Conditions. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.24, n. 7, p. 1160-1166, 2013.

BEHERA, S.K. et al. Occurrence and removal of antibiotics, hormones and several other pharmaceuticals in wastewater treatment plants of the largest industrial city of Korea. **Science Total Environment**, v. 409, p. 4351-4360, 2011.

BENDZ, D. et al. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the environment, a case study: Høje River in Sweden. **Journal of Hazardous Materials**, v. 122, n. 3, p. 195-204, 2005.

BOYD, G. R. et al. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in surface and treated waters of Louisiana, USA and Ontario, Canada. **The Science of the Total Environment**, v. 311, p. 135-149, 2003.

BUENO, M. J. M. et al. Occurrence and persistence of organic emerging contaminant an priority pollutants in five sewage treatment plants of Spain: Two years pilot survey monitoring. **Environmental Pollution**, v. 164, p. 267-273, 2012.

CAHILL, M. G. et al. A critical evaluation of liquid chromatography with hybrid linear ion trap-Orbitrap mass spectrometry for the determination of acidic contaminants in wastewater effluents. **Journal of Chromatography A**, v. 1270, p. 88-95, 2012.

CARMONA, E.; ANDREU, V.; PICO, Y. Occurrence of acidic pharmaceuticals and personal care products in Tuna River Basin: From waste to drinking water. **Science of the Total Environment**, v. 484, p. 53-63, 2014.

CASTIGLIONI, S. et al. A multiresidue analytical method using solid-phase extraction and high-pressure liquid chromatography tandem mass spectrometry to measure pharmaceuticals of different therapeutic classes in urban wastewaters. **Journal Chromatography A**, v. 1092, p. 206-215, 2005.

CONDKLE, J. L.; WHITE, J. R.; METCALFE, C. D. Reduction of pharmaceutically active compounds by a lagoon wetland wastewater treatment system in Southeast Louisiana. **Chemosphere**, v. 73, p. 1741-1748, 2008.

DANESHVAR, A. et al. Evaluating pharmaceuticals and caffeine as indicators of fecal contamination in drinking water sources of the Greater Montreal region. **Chemosphere**, v. 88, p.131-139, 2012.

DE OLIVEIRA, M. A.; YOSHIDA, M. I.; DA SILVA, D. C. G. M. Quality Evaluation of Pharmaceutical Formulations Containing Hydrochlorothiazide. **Molecules**, v. 19, n. 10, p. 16824-16836, 2014.

DODGEN, L. K. et al. Characterizing pharmaceutical, personal care product, and hormone contamination in a karst aquifer of southwestern Illinois, USA, using water quality and stream flow parameters. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 281-289, 2017.

DULOVA, N.; KATTEL, E.; TRAPIDO, M. Degradation of naproxen by ferrous ion-activated hydrogen peroxide, persulfate and combined hydrogen peroxide/persulfate process: The effect of citric acid addition. **Chemical Engineering Journal**, v. 318, p.254-263, 2017.

GABARRÓN, S. et al. Evaluation of emerging contaminants in a drinking water treatment plant using electro dialysis reversal technology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 309, p. 192-201, 2016.

GAGNÉ, F. et al. Occurrence of pharmaceutical products in a municipal effluente and toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 64, n. 3, p. 329-336, 2006.

GARCIA-SEGURA, S.; BRILLAS, E. Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 31, p. 1-35, 2017.

GIMENO, O. et al. Removal of emerging contaminants from a primary effluent of wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 290, p.12-20, 2016.

GONZALEZ-REY, M. BEBIANNO, M. J. Does non-steroidal anti-inflammatory (NSAID) ibuprofen induce antioxidant stress and endocrine disruption in mussel *Mytilus galloprovincialis*? **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 33, p. 361–371, 2012.

GRACIA-LOR, E. et al. Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the Spanish Mediterranean area of Valencia. **Chemosphere**, v. 87, p. 453–462, 2012.

GRENNI, P. et al. Degradation of Gemfibrozil and naproxen in a river water ecosystem. **Microchemical Journal**, v. 107, p. 158-164, 2013.

GRENNI, P. et al. Assessment of Gemfibrozil persistence in river water alone and in co-presence of naproxen. **Microchemical Journal**, v. 136, p. 49-55, 2018.

GUPTA, V. K. et al. Synthesis of CdSe quantum dots decorated SnO₂ nanotubes as anode for photo-assisted electrochemical degradation of hydrochlorothiazide: kinetics process. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.508, p. 575-582, 2017.

HENRIQUES, J. F. et al. Effects of the lipid regulator drug Gemfibrozil: A toxicological and behavioral perspective. **Aquatic Toxicology**, v. 170, p. 355-364, 2016.

- JÁCOME-ACATITLA, G. et al. Photodegradation of sodium naproxen and oxytetracycline hydrochloride in aqueous médium using as photocatalysis Mg-A calcined hydrotalcites. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 277, p. 82-89, 2014.
- JALLOULI, N. et al. UV and solar photo-degradation of naproxen: TiO₂ catalyst effect, reaction kinetics, products identification and toxicity assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 304, p. 329-336, 2016.
- JELIC, A. et al. Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. **Water Research**, v. 45, n.3, p. 1165-1176, 2011.
- KANAKARAJU, D. et al. TiO₂ photocatalysis of naproxen: effect of the water matrix, anions and diclofenac on degradation rates. **Chemosphere**, v. 139, p. 579-588, 2015.
- KANAKARAJU, D. et al. Solar photolysis versus TiO₂-mediated solar photocatalysis: a kinetic study of the degradation of naproxen and diclofenac in various water matrices. **Environmental Science Pollution Research**, v. 23, p. 17437-17448, 2016.
- KAUR, A.; UMAR, A.; KANSAL, S. K. Heterogeneous photocatalytic studies of analgesic and non-steroidal anti-inflammatory drugs. **Applied Catalysis A: General**, v. 510, p.134-155, 2016.
- KOLPIN, D. W. et al. Pharmaceuticals, hormones and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance. **Environmental Science & Technology**, v. 36, n. 6, p. 1202-1211, 2002.
- KOSMA, C.I.; LAMBROPOULOU, D.A.; ALBANIS, T.A. Occurrence and removal of PPCPs in municipal and hospital wastewaters in Greece. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 804-817, 2010.
- KOSTICH, M. S. et al. Concentrations of prioritized pharmaceuticals in effluents from 50 large wastewater treatment plants in the US and implications for risk estimation. **Environmental Pollution**, v. 184, p. 354-359, 2014.
- LI, X.; ZHENG, W.; KELLY, W. R. Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. **Science Total Environmental**, v. 445-446, p. 22-28, 2013.
- LINDQVIST, N. et al. Occurrence of acidic pharmaceuticals in raw and treated sewages and in receiving Waters. **Water Research**, v. 39, n. 11, p. 2219-2228, 2005.
- LIU, S. et al. The degradation of tetracycline in a photo-electro-fenton system. **Chemical Engineering Journal**, v. 231, p. 441-448, 2013.
- LOOS, R. et al. EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. **Water Research**, v. 47, p. 6475-6487, 2013.
- MA, J. et al. Photodegradation of gemfibrozil in aqueous solution under UV irradiation: kinetics, mechanism, toxicity and. Degradation pathways. **Environmental Science Pollution Research**, v.23, p. 14294-14306, 2016.

MARSIK, P. et al. Non-steroidal anti-inflammatory drugs in the watercourses of Elbe basin in Czech Republic. **Chemosphere**, v. 171, p. 97-105, 2017.

MARTINEZ, C. et al. Mechanism of degradation of Ketoprofen by heterogeneous photocatalysis in aqueous solution. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.142-143, p. 633-646, 2013.

MERIBOUT, R. et al. Photocatalytic degradation of antiepileptic drug carbamazepine with bismuth oxychlorides (BiOCl/AgCl composite) in water: Efficiency evaluation and elucidation degradation pathways. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 328, p. 105-113, 2016.

MOLINARI, R. et al. Degradation of the drugs gemfibrozil and Tamoxifen in pressurized and de pressurized membrane photoreactors using suspended polycrystalline TiO₂ as catalyst. **Journal of Membrane Science**, v.319, p. 54-63, 2008.

MURGOLO, S. et al. A new supported TiO₂ film deposited on stainless steel for the photocatalytic degradation of contaminants of emerging concern. **Chemical Engineering Journal**, v. 318, p. 103-111, 2017.

NADAIS, H. et al. Bio-electro-Fenton process for the degradation of Non Steroidal Anti-inflammatory Drugs in wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 338, p. 401-410, 2018.

NEGUI, N.; KRISHNAN, N. R.; KUMAR, M. Analysis of metronidazole removal and micro-toxicity in photolytic systems: Effects of persulfate dosage, anions and reactor operation mode. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 754-761, 2018.

OSORIO, V. et al. Concentration and risk of pharmaceuticals in freshwater systems are related to the population density and the livestock units in liberian. **Science Total Environmental**, v. 540, p.267-277, 2016.

PAIVA, V. A. B. et al. Simultaneous degradation of pharmaceuticals by classic and modified photo-Fenton process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.6, p. 1086-1092, 2018.

PAL, A. et al. Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: review of recent occurrences, sources, fate and effects. **Science Total Environmental**, v. 408, p. 6062-6069, 2010.

PANIAGUA, C. E. S. **Degradação simultânea dos fármacos gemfibrozila, hidroclorotiazida e naproxeno pelos processos TiO₂/UV-A, TiO₂/H₂O₂/UV-A e H₂O₂/UV-C em diferentes matrizes aquosas**. 2018. 159 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PANIAGUA, C. E. S. Detecção e quantificação de resíduos de fármacos e pesticidas em águas superficiais no Brasil: Toxicologia aos organismos expostos. *In*: SANT'ANA, D. (org.). **Água e o ambiente construído**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2021, p. 79-89.

PANIAGUA, C. E. S.; SANTOS, V. O. Contaminantes de Interesse Emergente presentes em diferentes matrizes aquosas: O que você não vê, mas afeta e compromete a qualidade dos diferentes ecossistemas e a saúde de todos os organismos vivos. *In*: PANIAGUA, C. E. S. (org.). **Coleção desafios das engenharias: engenharia química 2**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2021, p.74-86.

- PATROLECO, L. et al. Simultaneous determination of human pharmaceuticals in water samples by solid phase extraction and HPLC with UV-fluorescence detection. **Microchemical Journal**, v. 107, p. 165-171, 2013.
- PEREIRA, A. M. P. T.; et al. Environmental impact of pharmaceuticals from Portuguese wastewaters: geographical and seasonal occurrence, removal and risk assessment. **Environmental Research**, v. 136, p. 108-119, 2015.
- PETRIE, B.; BARDEN, R.; KASPRZYK-HORDERN, B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. **Water Research**, v. 72, p. 3-27, 2015.
- RADJENOVIC, J.; PETROVIC, M.; BARCELO, D. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. **Water Research**, v. 43, p. 831-841, 2009.
- REAL, F. J. et al. Oxidation, of hydrochlorothiazide by UV radiation, hydroxyl radicals and ozone: kinetics and elimination from water systems. **Chemical Engineering Journal**, v. 160, p. 72-78, 2010.
- RIVERA-UTRILLA, J. et al. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p. 1268-1287, 2013.
- RODRIGUES-NARVAEZ, O. M. et al. Treatment Technologies for emerging contaminants in water: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 323, p. 361-380, 2017.
- RODRIGUES-SILVA, C. et al. Degradation of flumequine by photocatalysis and evaluation of antimicrobial activity. **Chemical Engineering Journal**, v.224, p. 46-52, 2013.
- ROSAL, R. et al. Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. **Water Research**, v. 44, p. 578-588, 2010.
- SANTOS, J. L. et al. Occurrence of pharmaceutically active compounds during 1-year period in wastewaters from four treatment plants in Seville (Spain). **Journal Hazard Materials**, v. 164, p.1509-1516, 2009.
- SANTOS L. H. M. L. M. et al. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. **Journal Hazard Materials**, v. 175, p. 45–95, 2010..
- SCHRODER, H. F.; GEBHARDT, W.; THEVIS, M. Anabolic, doping, and lifestyle drugs, and selected metabolites in wastewater-detection, quantification, and behaviour monitored by high-resolution MS and MS (n) before and after sewage treatment. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 398, n.3, p. 1207-1229, 2010.
- SHU, Z. et al. Photodegradation of emerging micropollutants using the médium-pressure UV/H₂O₂ Advanced Oxidation Process. **Water Research**, v. 47, p. 2881-2889, 2013.
- SILVA, L. P.; LOURENCAO, B. C.; FATIBELLO-FILHO, O. Determinação voltamétrica simultânea de besilato de anlodipeno e hidroclorotiazida em amostras de urina sintética utilizando um eletrodo de diamante dopado com boro. **Química Nova**, v. n., p. 1-6, 2015.

- SIM, W-J. et al. Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals and pharmaceutical manufactures. **Chemosphere**, v. 82, p. 179–86, 2011.
- SINGH, K. P. et al. Occurrence of pharmaceuticals in urban wastewater of north Indian cities and risk assessment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 10, p. 6663-6682, 2014.
- SOUSA, M. A. et al. Suspended TiO₂-assisted photocatalytic degradation of emerging contaminants in a municipal WWTP effluente using a solar pilot plant with CPCs. **Chemical Engineering Journal**, v. 198-199, p. 301-309, 2012.
- STARLING, M. C. V. M.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, p. 17-36, 2019.
- STUMPF, M. et al. Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 225, p. 135 - 141, 1999.
- TERNES, T. A. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. **Water Research**, v.32, p.3245-3260, 1998.
- VALCÁRCEL, Y. et al. Analysis of the presence of cardiovascular and analgesic/antiinflammatory/ antipyretic pharmaceuticals in river- and drinking-water of the Madrid Region in Spain. **Chemosphere**, v. 82, n. 7, p. 1062-1071, 2011.
- VERLICCHI, P. et al. Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment. **Science of the Total Environment**, v. 430, p. 109–118, 2012.
- VULLIET, E.; CREN-OLIVE, C.; GRENIER-LOUSTALOT, M.F. Occurrence of pharmaceuticals and hormones in drinking water treated from surface waters. **Environmental Chemistry Letters**, v. 9, p.103-114, 2011.
- VYMAZAL, J. et al. Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring. **Ecological Engineering**, v. 98, p. 354-364, 2017.
- YANG, L. et al. Occurrence, distribution and attenuation of pharmaceuticals and personal care products in the Riverside groundwater of the Beiyun River of Beijing, China. **Environmental Science Pollutant Research**, v. 24, p.15838-15851, 2017.
- YU, Y.; WU, L. S. Analysis of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals and personal care products in sewage sludge by gas chromatography-mass spectrometry. **Talanta**, v. 89, p. 258-263, 2012.
- ZORITA, S.; MÅRTENSSON, L.; MATHIASSEN, L. Occurrence and removal of pharmaceuticals in a municipal sewage treatment system in the south of Sweden. **Science of the Total Environment**, p. 2760 – 2770, 2009.

CAPÍTULO 27

PROCESSO FOTO-FENTON E FOTO-FENTON SOLAR: FUNDAMENTOS, APLICAÇÃO E PANORAMA CIENTÍFICO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 15/12/2021

Aline Aparecida Carvalho França

Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0002-7325-4365

Carlos Ernando da Silva

Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0001-5653-0359

Leonardo Madeira Martins

Centro Universitário UNINOVAFAPI
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0001-9674-6015

Ludyane Nascimento Costa

Instituto Federal do Maranhão
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0002-2965-6631

Gabriel e Silva Sales

Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0003-0769-3447

Felipe Pereira da Silva Santos

Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0001-9079-952X

Ana Karina Borges Costa

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0001-9006-6545

Kerlane Alves Fernandes

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0002-4078-2727

José Milton Elias de Matos

Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0003-3476-399X

José Luiz Silva Sá

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí
ORCID: 0000-0002-5504-011X

RESUMO: A contaminação de águas por espécies tóxicas ou recalcitrantes presentes em efluentes residuais e industriais tem gerado grandes impactos ambientais ao longo dos anos e despertado a atenção em razão do aumento da complexidade e dificuldade no tratamento o que, por sua vez, tem motivado a busca por novas metodologias para a remediação desses rejeitos. Nesse cenário, surgem os Processos Oxidativos Avançados (POA's), tecnologias que utilizam principalmente o radical hidroxila (HO.) para a oxidação dos poluentes, e em especial os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar que têm se destacado como métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. Estes processos têm sido considerados eficaz do ponto de vista técnico, econômico e ambiental para a degradação de diversos poluentes presentes em amostras de águas contaminadas. O presente trabalho buscou fazer um levantamento e análise dos dados por

meio de extensa consulta à literatura sobre os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar e apresentar dados sobre a eficiência desses processos na degradação de diversos poluentes, bem como é apresentado um estudo sobre o panorama científico dos últimos 10 anos para os referidos processos.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes, Processos Oxidativos Avançados, Foto-Fenton, Foto-Fenton Solar.

FOTO-FENTON AND FOTO-FENTON SOLAR PROCESS: FUNDAMENTALS, APPLICATION AND SCIENTIFIC OVERVIEW

ABSTRACT: The contamination of water by toxic or recalcitrant species present in waste and industrial effluents has generated great environmental impacts over the years and has attracted attention due to the increased complexity and difficulty in treatment, which, in turn, has motivated the search for new methodologies for the remediation of these tailings. In this scenario, Advanced Oxidative Processes (POA's) appear, technologies that mainly use the hydroxyl radical (HO.) for the oxidation of pollutants, and in particular the Foto-Fenton and Foto-Fenton Solar processes that have stood out as promising alternative methods in the treatment of waste water and industrial effluents. These processes have been considered effective from a technical, economic and environmental point of view for the degradation of various pollutants present in contaminated water samples. The present work sought to survey and analyze data through extensive consultation of the literature on the Foto-Fenton and Foto-Fenton Solar processes and to present data on the efficiency of these processes in the degradation of various pollutants, as well as a study on the scientific panorama of the last 10 years for these processes.

KEYWORDS: Effluent, Advanced Oxidative Processes, Photo-Fenton, Solar photo-Fenton.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade de se reduzir o impacto gerado pelo descarte inadequado de efluentes para o meio ambiente tem despertado na comunidade científica o interesse pelos processos oxidativos avançados, (POA's). Estes processos apresentam como principal característica a conversão da maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e sais inorgânicos, e sua aplicação tem-se mostrado eficiente no tratamento de diferentes efluentes contendo compostos de difícil degradação como pesticidas, fármacos, lixiviados de aterros sanitários e corantes, além de atuarem como tratamento avançado de águas para abastecimento.

Dentre os POA's, merece especial atenção o processo Foto-Fenton (Figura 1A) que utiliza radiação ultravioleta e consiste em uma fonte de radicais hidroxila (OH \cdot), que são espécies altamente oxidantes devido ao seu elevado potencial padrão de redução de 2,8 V, e responsável pela decomposição de poluentes. Este processo tem ainda outra vantagem muito importante no que diz respeito ao meio ambiente, que é a possibilidade de se utilizar a luz solar como fonte de radiação durante o tratamento sendo conhecido como Foto-Fenton Solar (Figura 1B), e desta forma, é possível tornar este processo uma alternativa

ambientalmente mais econômica.

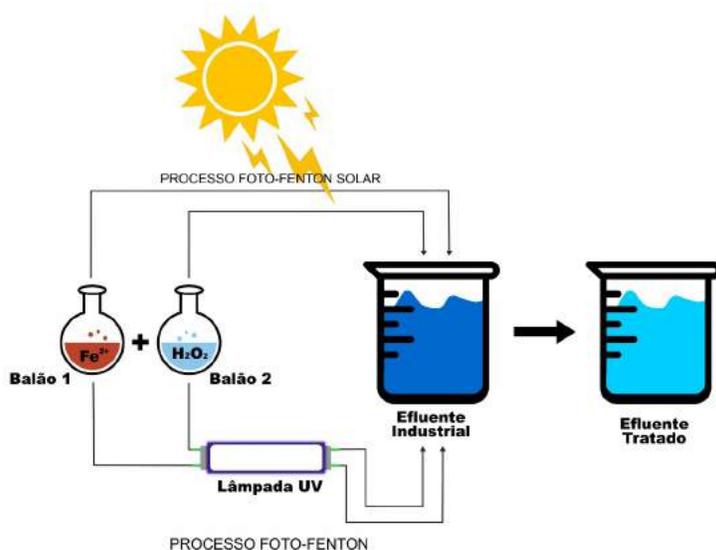


Figura 1: Processo Foto-Fenton (A) e Foto-Fenton Solar (B)

2 | PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA'S)

Diante das limitações apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento para os efluentes industriais e a imposição de legislações cada vez mais restritivas quanto ao seu descarte na natureza, faz-se necessário a busca por tecnologias de tratamento que sejam eficientes na degradação dos poluentes, transformando-os em substâncias inertes de modo a reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Neste contexto de descontaminação ambiental, os processos oxidativos avançados (POA's) apresentam-se como técnicas de elevada eficácia para o tratamento de substâncias recalcitrantes, reduzindo a toxicidade das águas residuais e aumentando a biodegradabilidade do poluente a ser tratado (Mandal, Maity, Dasgupta e Datta, 2010; Baldissarelli et al. 2019). Os processos oxidativos avançados são baseados na produção de radicais hidroxila ($HO\cdot$), espécies não seletivas e extremamente reativas, que atacam a grande maioria das moléculas orgânicas, com constantes de velocidade na ordem de 10^6 – 10^9 $M^{-1}S^{-1}$ (Andreozzi, Caprio, Insola e Marotta, 1999).

A capacidade de oxidar uma grande quantidade de compostos orgânicos a CO_2 , H_2O e sais inorgânicos ou converte-los em produtos inócuos se deve ao alto potencial padrão de redução apresentado pelos radicais hidroxila (Equação 1). Estes radicais formam-se a partir de oxidantes como O_3 ou H_2O_2 e o aumento da eficiência do processo se dá pela combinação de radiação ultravioleta (UV) ou visível e uso de catalisadores

(Nogueira, Trovó, Silva, Villa, & Oliveira, 2007).



Dependendo da estrutura do composto alvo, os radicais hidroxila podem oxidar os compostos orgânicos por meio de três mecanismos básicos: abstração do átomo de hidrogênio, adição eletrofílica e transferência eletrônica (Queiroz *et al.* 2019).

As pesquisas voltadas para o desenvolvimento dos POA's já vêm sendo amplamente divulgadas na comunidade científica em virtude da diversidade de tecnologias envolvidas e das inúmeras áreas de potencial aplicação. Klavarioti, Mantzavinou e Kassinos (2009) destacam que estes processos encontram grande aplicação no tratamento de águas subterrâneas, remediação de solos contaminados, controle de odor e etc... Os POA's podem ser classificados em processos homogêneos, que se subdividem em processos que utilizam energia e os que não utilizam, e processos heterogêneos. A Figura 2 resume os POA's mais utilizados.

Dos processos heterogêneos, grande destaque vem recebendo a fotocatalise heterogênea, que teve início na década de 70 com intensas pesquisas voltadas para as células fotoeletroquímicas com a finalidade de se produzir combustíveis a partir de materiais baratos tendo em vista a transformação da energia solar em energia química. Este processo baseia-se na oxidação química dos contaminantes mediada por um semicondutor, ativado por radiação UV, sendo o óxido de titânio (TiO_2) o semicondutor mais utilizado neste tipo de processo em virtude de inúmeras propriedades vantajosas como estabilidade química em uma vasta faixa de pH, não toxicidade, resistência à corrosão, baixo custo e possibilidade de reutilização (Nogueira e Jardim, 1998; Pascoal, Lima, Sousa, Lima & Vieira, 2007; Oliveira *et al.* 2019).

Nos processos homogêneos, os tratamentos Fenton, Foto-Fenton e UV/ H_2O_2 são os mais utilizados. O processo Fenton ocorre na presença de íons Fe(II) e H_2O_2 através de uma reação em cadeia, produzindo radicais hidroxila ($\text{HO}\cdot$) que é a espécie oxidante com capacidade de oxidar inúmeras classes de compostos orgânicos em uma reação espontânea que ocorre com ausência de luz (Costa, Campos, Fonseca & Bila (2015). A reação de Fenton é descrita conforme Equação (2).



Quando a produção de radicais $\text{HO}\cdot$ ocorre mediante presença de irradiação UV tem-se o processo Foto-Fenton, que aumenta a eficácia da oxidação, regenerando o Fe(II) para a reação com H_2O_2 , produzindo radicais hidroxila adicionais (Equação 3).

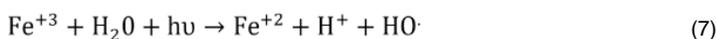
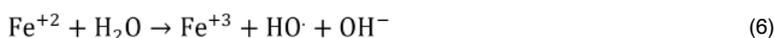


No sistema UV/H₂O₂ a geração de radicais HO· ocorre de forma direta sob radiação UV, gerando dois radicais hidroxila (Equação 4) que degradam a matéria orgânica originando compostos mais simples (Equação 5).



3 | PROCESSO FOTO FENTON

O processo Fenton (Equação 2), largamente conhecido pela sua simplicidade operacional e grande eficiência de degradação, pode tornar-se um método ainda mais eficiente com a utilização de radiação ultravioleta que é responsável pelo aumento da taxa de degradação do poluente orgânico, sendo conhecido como processo Foto-Fenton (Equações 6-8) (Martins, Silva, Moita -Neto, Lima & Moreira, 2011).



A redução de Fe³⁺ a Fe²⁺ é responsável pelo efeito positivo da radiação sobre a reação. O íon ferroso regenerado continua a reagir com H₂O₂ dando seguimento à reação de Fenton e gerando radicais hidroxila adicionais (Equação 8). Huang, Huang, Chang e Chen (2008) aplicaram o processo Foto-Fenton na degradação do corante reativo Black B obtendo 93% de mineralização da solução, por sua vez, quando a mesma solução foi tratada pelo processo Fenton convencional, a taxa de mineralização foi de apenas 70%. Ainda sobre a eficiência do processo, os autores relatam que este, permitiu uma rápida e completa destruição dos intermediários ácido fórmico e ácido oxálico presentes na solução.

Durigan, Vaz e Zamora (2012) também atestam a capacidade de destruição de intermediários e potencial capacidade de mineralização do processo Foto-Fenton. Os autores acompanharam a degradação de poluentes emergentes através dos processos Fenton e Foto-Fenton e puderam concluir que a degradação mediante radiação é muito mais eficiente, pois além de permitir completa degradação das substâncias alvo, também promove uma considerável eliminação dos intermediários da reação, o que consequentemente contribui para uma mineralização mais efetiva. A Tabela 1 traz alguns trabalhos científicos aplicando o processo Foto-Fenton.

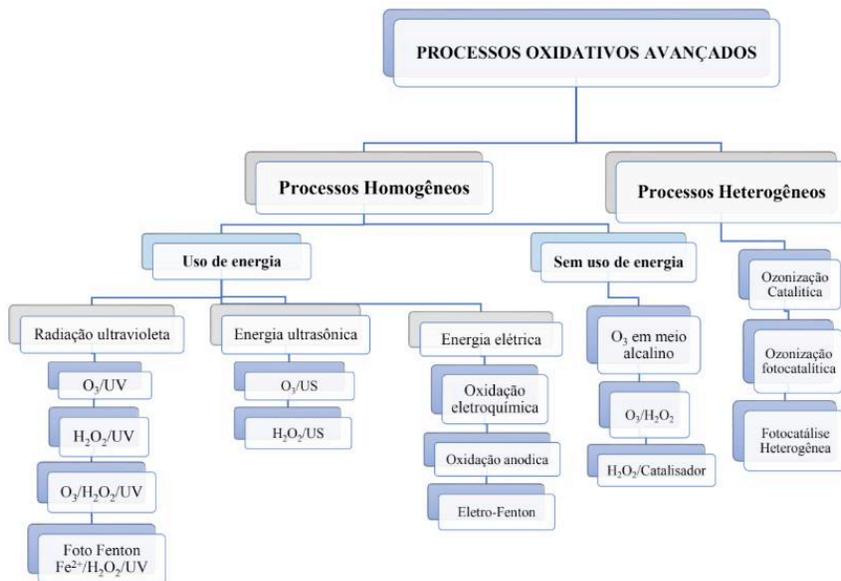


Figura 2: Classificação dos processo oxidativos avançados.

Fonte: Poyatos *et al.* (2010).

Material degradado	Resultados obtidos	Referência
Herbicidas Diuron e Terbutiuron	Elevada mineralização dos herbicidas no tempo de 30 minutos	Trovó, Villa e Nogueira (2005).
4-cloro-2-nitrofenol (substância presente em resíduos de pesticida)	92% de mineralização em 120 minutos de reação e 90% de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Saritha, Aparna, Himabindu e Anjaneyulu (2007).
Lixiviados de aterro	74% de remoção de COT Remoção de cor maior que 95% 78% de remoção de DQO	Primo, Rivero e Ortiz (2008).
Benzeno, tolueno e xileno presentes em águas contaminadas por gasolina.	Remoção dos poluentes a partir de 5 minutos de reação	Tiburtius, Zamora e Emmel (2009).
Efluente sintético contendo suco de maçã	Remoção de 91% de COT 59% de remoção de DQO 68% de remoção de DBO	Durán, Monteagudo e Carnicer (2011).
Corantes têxteis: Azul reativo QR 19(SI) e Laranja reativo 16 (CI).	Elevada remoção de cor e degradação das espécies aromáticas presentes	Salvador, Marcolino e Zamora (2012).
Cafeína	66% de mineralização do efluente tratado	Trovó <i>et al.</i> (2013)
Etilenoglicol	85% de degradação do composto químico	Arias, Arriola, Calle, Mesa e Zurita, (2016).
Corante azo Amarantho	80 % de remoção de COT	Oliveira <i>et al.</i> (2019).

Tabela 1: Principais aplicações do processo Foto-Fenton

4 | PROCESSO FOTO-FENTON SOLAR

Uma das grandes vantagens do processo Foto-Fenton é a possibilidade de utilização da radiação solar que resulta no aumento da taxa de degradação do poluente. A utilização de processos irradiados por radiação solar deve ser sempre incentivada, já que apresentam eficiência de degradação compatíveis aos processos assistidos por radiação artificial. O uso da radiação ultravioleta artificial acaba por tornar o processo dispendioso em virtude do consumo de energia e da necessidade de materiais como o quartzo que apresenta preços elevados. A eficiência do processo Foto-Fenton conduzido por radiação solar tem sido bastante documentada no meio científico. Nogueira, Trovó, & Modé (2002) avaliaram a fotodegradação solar do ácido dicloroacético e 2,4 – diclorofenol em meio aquoso. Os autores relatam que na degradação do diclorofenol, apenas 10 minutos de reação foi suficiente para remover 25% do teor de TOC (Carbono Orgânico total) e alcançar 57% de descoloração, demonstrando, desta forma, que a radiação solar aumenta significativamente o processo de degradação.

Gernjak *et al.* (2004) aplicaram dois processos assistidos por radiação solar para o tratamento de efluente da indústria de azeite de oliva: Foto-Fenton e fotocatalise heterogênea utilizando TiO_2 . Os autores destacam que a aplicação do processo utilizando TiO_2 não apresentou resultados significativos, porém, quando o efluente foi submetido ao processo Foto-Fenton, este foi responsável por 85% de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e quase 100% de degradação do fenol presente na amostra.

Vilar, Pinho, Pintor e Boaventura (2011) aplicaram processos homogêneos e heterogêneos utilizando radiação solar como fonte de energia no tratamento de efluente têxtil. Os autores constataram que o processo Foto-Fenton foi o mais eficiente dentre os processos estudados, apresentando taxa de 89% de mineralização em termos de carbono orgânico dissolvido contra 30 a 36% para os processos $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e TiO_2/UV . Katsumata, Koike, Kaneco, Suzuki & Ohta (2010) realizaram um estudo comparativo, aplicando o processo Foto-Fenton assistido por radiação artificial e solar na degradação do corante reativo Yellow 86, concluindo que a eficiência de descoloração do corante sob degradação solar foi similar ao processo utilizando radiação artificial. Estes resultados reforçam a iniciativa de que sempre que possível deve-se optar pela utilização da energia solar como fonte de radiação ultravioleta.

Lucena, Rocha, Silva e Cahino (2018) otimizaram o processo Foto-Fenton solar no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Os autores investigaram três variáveis operacionais: razão de reagentes $[\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$, fator de H_2O_2 e pH inicial, a fim de otimizar a remoção de matéria orgânica, em termos da DQO, alcançando taxas de 70,97 a 84,74% de redução em 3 horas de fotocatalise solar. Dependendo da composição do efluente, o processo Foto-Fenton utilizando radiação solar também pode ser acoplado a um método biológico, o que de acordo com Perez, Torrades, Domenech e Peral (2002) é

positivo economicamente, pois promove uma redução de custos em 30% para o processo de tratamento de águas residuárias. Justino *et al.* (2019) aplicaram o processo Foto-Fenton Solar como polimento final, após processo de lodos ativados para o tratamento de efluente têxtil, obtendo resultados satisfatórios. A Tabela 2 traz outras aplicações na literatura científica para o processo Foto-Fenton Solar.

Material degradado	Resultados obtidos	Referência
Pesticida Vyoline (C ₁₄ H ₁₈ CLN ₃ O ₂)	Degradação de 88% do pesticida em apenas 40 minutos de irradiação solar. Diminuição de 65% de toxicidade.	Momani, Shawaqfeh e Shawaqfeh, (2007).
Corante reativo Blue 4	66% de redução de COT. Completa remoção de cor. 82% de remoção de DQO.	Durán, Monteagudo e Amores, (2008).
Águas residuárias contendo suco de maçã	97% de mineralização em 67 minutos de reação. Mostrou ser um processo economicamente viável.	Durán, Monteagudo, Carnicer, Martín e Serna (2012).
Efluente de fábrica de celulose	90% de remoção de DQO e remoção dos polifenóis presentes.	Lucas <i>et al.</i> (2012)
Antibióticos oflaxacina (OFX) e trimetoprim (TMP).	Redução da toxicidade do efluente e eliminação de substâncias patogênicas presentes.	Michael <i>et al.</i> (2012)
Herbicida Paraquat (PQT)	Elevada eficiência de remoção e mineralização do herbicida. Diminuição da toxicidade.	Trovó <i>et al.</i> (2013)
Dipirona	Altas taxas de degradação do medicamento	Napoleão <i>et al.</i> (2015).
Efluente têxtil	Elevada sedimentabilidade dos sólidos do efluente final, resultando em um sobrenadante clarificado.	Justino <i>et al.</i> (2019).

Tabela 2: Aplicações do processo Foto-Fenton Solar.

5 | FATORES QUE AFETAM O PROCESSO FOTO-FENTON

O desempenho do processo Foto-Fenton, seja assistido por radiação artificial ou solar, depende de alguns fatores como: pH, concentração de H₂O₂ e concentração de Fe²⁺. O pH é um fator importante para a eficiência do processo Foto-Fenton, pois este é um processo catalisado por íons Fe²⁺/ Fe³⁺ os quais são hidrolisados formando hidróxidos insolúveis em pH elevados, dessa forma o pH do meio pode afetar a velocidade de degradação de compostos orgânicos (Nogueira *et al.* 2007).

Estima-se que a faixa de pH entre 2,5 e 3,0 seja a mais adequada para proporcionar a eficiência de degradação do processo. A limitada faixa de pH é uma das grandes restrições do processo Foto-Fenton, pois faz-se necessário o ajuste do pH antes de iniciar

o tratamento bem como é indispensável a neutralização do efluente após o tratamento e antes deste ser descartado em corpos d'água. Quando o processo se dá em pH acima de 3 ocorre precipitação do Ferro (II), o que diminui acentuadamente sua interação com H_2O_2 e consequentemente compromete a produção de radicais hidroxila. Por outro lado, quando o valor de pH se encontra abaixo de 2,5 a velocidade de degradação diminui, pois, elevadas concentrações de H^+ pode favorecer o sequestro dos radicais hidroxila (Silva, Maniero, Peres & Guimarães, 2014).

Uma concentração adequada de H_2O_2 é uma das grandes dificuldades encontradas no processo Foto-Fenton. Neste processo, a degradação ocorre de forma acelerada em função da geração de elevadas quantidades de $\cdot\text{OH}$, contudo, nestas condições, a cinética da reação se torna desfavorável devido ao rápido consumo de H_2O_2 . Quando se adiciona elevadas concentrações de H_2O_2 , o processo de degradação é prejudicado em virtude do excesso de peróxido, que atua sequestrando o radical hidroxila gerando assim o radical hidroperoxila que apresenta menor poder oxidante, diminuindo assim a eficiência do processo (Brito & Silva, 2012).

A concentração de Fe^{2+} é outro fator importante para o processo Foto-Fenton. Estima-se que a principal atuação do íon ferroso seja na cinética do processo, ou seja, a concentração de Fe^{2+} tem maior influência na velocidade da reação do que na taxa final de degradação. Quando este íon se encontra em elevadas quantidades no meio reacional, pode consumir o radical hidroxila gerado no processo e assim afetar a eficiência da degradação (Silva, Maniero, Peres & Guimarães, 2014).

Entre as desvantagens do processo Foto-Fenton pode-se citar a sensibilidade do pH que pode mudar durante a reação, a necessidade de se acidificar o efluente antes do início do tratamento, os custos de H_2O_2 , a necessidade do controle de $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ no efluente final e a elevação do pH no final do processo (Justino *et al.* 2019).

6 | PANORAMA CIENTÍFICO

Realizou-se uma prospecção científica na base de dados SCOPUS afim de se avaliar o número de publicações sobre os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar nos últimos dez anos. Utilizando as palavras – chave “Photo-Fenton” e “Solar Photo-Fenton” optou-se por considerar válidos apenas os documentos que apresentassem esses termos no título.

Para a busca relacionada ao processo Foto-Fenton, a pesquisa de publicações científicas retornou 1370 documentos e para a pesquisa sobre aplicação do processo Foto-Fenton Solar foram 179 documentos obtidos. Os resultados estão apresentados em forma de gráficos, por ano de publicação, países e áreas de conhecimento.

O Gráfico 1 apresenta os números de publicações obtidos no período de 2010 – a 2020. O maior número de publicações concentra-se no processo Foto-Fenton irradiado

por luz artificial, sendo 2019 o ano com maior número de publicações na área (207 artigos científicos). Importante destacar que o número de publicações para o ano de 2020 (159) já superou os anos de 2010 a 2018.

Quanto ao processo Foto-Fenton irradiado por luz solar, observa-se um número de publicações muito inferior ao processo com luz artificial. A quantidade de publicações segue de forma estacionária ao longo da década.

Os Gráficos 2 e 3 mostram os países que mais publicaram documentos científicos relacionados aos processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar respectivamente.

Para o processo Foto-Fenton, a China lidera o número de publicações, com 361 artigos, (sendo 73 para o atual ano de 2020) seguido da Espanha com 239 documentos. O Brasil aparece em terceiro lugar com 180 publicações sobre a temática.

O número de publicações da China superior a outros países pode ter sua origem num grave problema que o país vem enfrentando nos últimos anos: a poluição hídrica. Veículos de informação noticiam que a grave poluição se dá em quase todos os lençóis freáticos e na maioria dos rios e lagos da China.

Desde 1990, a China tornou-se o maior consumidor de fertilizantes nitrogenados do mundo, que, se por um lado, ajudarem no crescimento rápido do cultivo, aumentando a oferta de alimentos, por outro deterioram o solo e poluem agressivamente os lençóis freáticos. As indústrias químicas com seus resíduos da produção, com ênfase para o setor têxtil (que geram metais pesados, tóxicos e substâncias cancerígenas) são outra fonte significativa de poluição no país.

Sobre isso, observou-se que alguns dos trabalhos envolvendo o processo Foto-Fenton de autoria da China teve como principais alvos de degradação, inseticidas como acetamiprid (Wang *et al.* 2020), thiacloprid (Zhong *et al.* 2020), clorofenol (Long *et al.* 2020) e corantes como Metil Orange (Xiang *et al.* 2020) e Rodamina B (Ye, Yang, Zhang & Jiang, 2018).

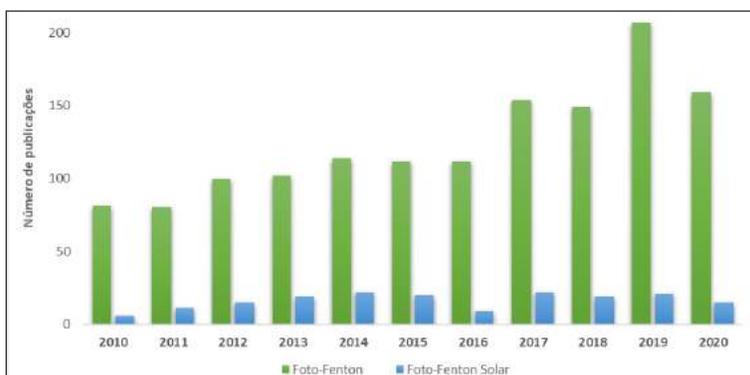


Gráfico 1: Publicações sobre Foto Fenton Artificial e Solar por ano

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

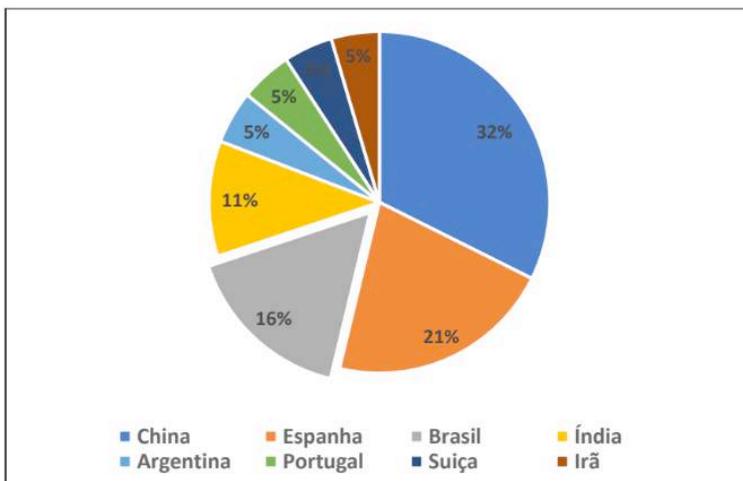


Gráfico 2 - Número de documentos publicados por país para o processo Foto Fenton

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

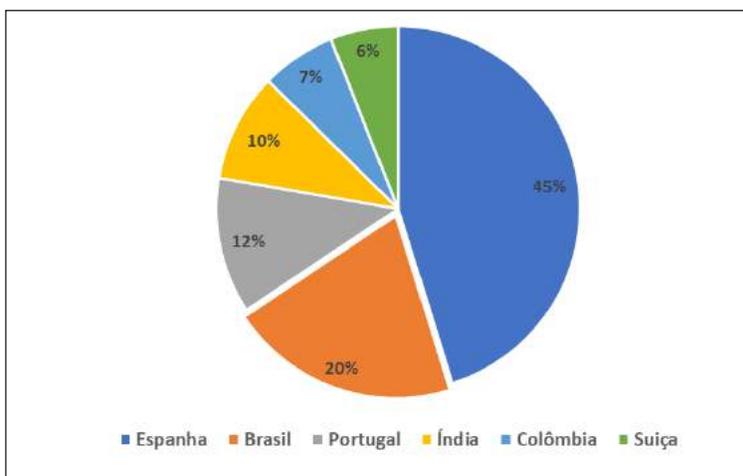


Gráfico 3: Número de documentos publicados por país para o processo Foto Fenton Solar.

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

Para o processo Foto-Fenton Solar, o país com maior número de publicações é a Espanha com 75 artigos científicos. O Brasil aparece na segunda colocação com 34 documentos publicados.

O Brasil tem potencial solar bastante significativo tendo em vista que os níveis de incidência solar são superiores aos de outros países como Alemanha e França. Assim faz-se necessário políticas de incentivo para o uso deste recurso de forma a potencializar as vantagens ambientais do sistema.

Verificando as principais áreas de publicação dos artigos observa-se que as publicações se concentram em vários ramos da ciência, como: ciências ambientais, engenharia química, química e engenharias. Por se tratar de processos que visam minimizar os impactos ambientais oriundos de atividades industriais de diversas categorias justifica-se a expressiva quantidade de publicações com ênfase na área de Ciências Ambientais para ambos processos.

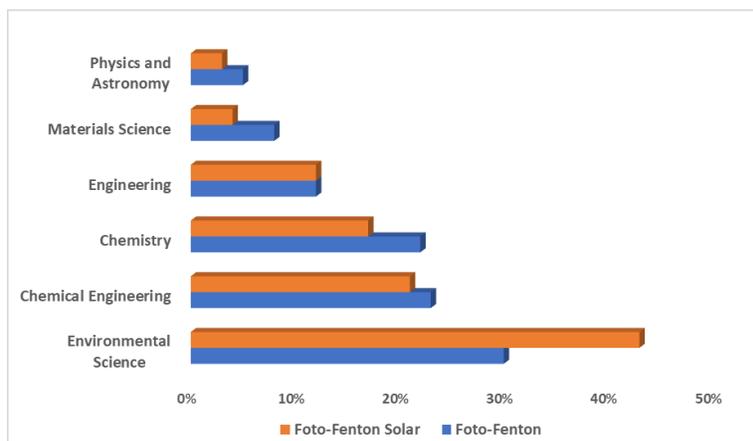


Gráfico 4: Distribuição das publicações por áreas

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

Quanto análise de patentes envolvendo os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar em âmbito nacional, a pesquisa na base de dados do INPI retornou apenas um documento, cujo título é: “Processo de tratamento de efluentes contaminados por substâncias orgânicas, por meio da reação Foto-Fenton, com adições sucessivas”, com ano de depósito de 2004, e classificação IPC C02F 1/64. O titular da patente é a Fundação Universidade de Brasília (BR/DF) e os inventores são Clóvis Eduardo Godoy Ilha, Jurandir Rodrigues de Souza e Antônio José Moraes Guaritá dos Santos.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos oxidativos avançados do tipo Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar apresentam-se como eficientes na descontaminação de águas residuárias e efluentes industriais, com grande potencial para rápida mineralização de inúmeras espécies químicas de relevância ambiental. É importante ressaltar algumas limitações da técnica como pH ideal, concentração de H_2O_2 e concentração de Fe^{2+} , demandando assim contínuos estudos sobre a técnica.

Em relação ao panorama científico, observou-se que mesmo o processo Foto Fenton Solar apresentando potencialidades tecnológica e científica e vantagens em termos

ambientais, o número de publicações de artigos científicos ainda é muito pequeno. Dessa maneira entende-se que é necessário o incentivo de mais pesquisas sobre este processo de modo a solucionar as limitações e restrições existentes, promovendo a efetivação do emprego dessas tecnologias no tratamento de águas residuárias e efluentes industriais.

REFERÊNCIAS

- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., & Marotta, R. (1999). **Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery**. *Catalysis Today*, 53(1), 51–59.
- Arias, A. N. A., Arriola, E., Calle, J. R., Mesa, E. B., Zurita, G. F. (2016). **Mineralización de etilenglicol por foto-fenton asistido con ferrioxalato**. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 32(2), 213-226.
- Baldissarelli, D.P., Vargas, G.D.L.P., Korf, E.P., Galon, L., Kaufmann, C., Santos, J.B. (2019). **Remediation of soils contaminated by pesticides using physicochemical processes: A brief review**. *Planta Daninha*, 37(1), 1-13.
- Brito, N. N., Silva, V.B. M. (2012). **Processo Oxidativo Avançado e sua aplicação ambiental**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 3(1), 36-47.
- Costa, F. M., Campos, J. C., Fonseca, F. V., Bila, D. M. (2015). **Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando Processos Fenton e Foto-Fenton Solar**. *Rev. Ambient. Água*, 10(1), 107-116.
- Durán, A., Monteagudo, J.M., Amores, E. (2008). **Solar photo-Fenton degradation of Reactive Blue 4 in a CPC reactor**. *Applied Catalysis B: Environmental*, 80(1), 42–50.
- Durán, A., Monteagudo, J.M., Carnicer, A. (2011). **Photo-Fenton mineralization of synthetic apple-juice wastewater**. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 102-107.
- Durán, A., Monteagudo, J. M., Carnicer, A., Martín, I. S., Serna, P. (2012). **Solar photodegradation of synthetic apple juice wastewater: Process optimization and operational cost study**. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 107(1), 307–315.
- Durigan, B., Vaz, S., Zamora, P. (2012). **Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e Foto-Fenton**. *Química Nova*, 35(7), 1381-1387.
- Gernjak, W., Maldonado, M. I., Malato, S., Caceres, J., Krutzler, T., Glaser, A., Bauer, R. (2004). **Pilot-plant treatment of olive mill wastewater (OMW) by solar TiO₂ photocatalysis and solar photo-Fenton**. *Solar Energy*, 77(1), 567–572.
- Huang, Y. H., Huang, Y. H., Chang, P. S., Chen, C. Y. (2008). **Comparative study of oxidation of dye- Reactive Black B by different advanced oxidation processes: Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton**. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1), 655-662.
- Justino, N. M., Battistelli, A. A., Lapolli, F. R., Lobo-Recio, M. A., Souza, K. V., Nagel-Hassemer, M. E. (2019). **Degradação sazonal de efluentes têxteis por processo foto-Fenton solar mediado por ferrioxalato: descoloração e comportamento dos sólidos**. *Eng Sanit Ambient*, 24(1), 33-43.

Katsumata, H., Koike, S., Kaneco, S., Suzuki, T., Ohta, K. (2010). **Degradation of Reactive Yellow 86 with photo-Fenton process driven by solar light**. Journal of Environmental Sciences, 22(9), 1455–1461.

Klavarioti, M., Mantzavinos, D., Kassinos, D. (2009). **Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes**. Environment International, 35(1), 402–417.

Lucas, M. S., Peres, J. A., Amor, C., Prieto, R. L., Maldonado, M. I., Malato, S. (2012). **Tertiary treatment of pulp mill wastewater by solar photo-Fenton**. Journal of Hazardous Materials, 173–181.

Long, Q., Liu, F., Yuan, Y., Dai, Y., Wang, C., Li, X., Zhang, Jing. (2020). **Enhanced degradation performance of p-chlorophenol in photo-Fenton reaction activated by nano-Fe0 encapsulated in hydrothermal carbon: Improved Fe(III)/Fe(II) cycle**. Colloids and Surfaces A, 59491), 124650.

Lucena, L. G., Rocha, E. M. R., Silva, F. L.H., Cahino, A. M. (2018). **Otimização multivariada do processo foto-Fenton solar na remoção da demanda química de oxigênio em lixiviados de aterros sanitários**. Eng Sanit Ambient, 23(3), 499-507.

Mandal, T., Maity, S., Dasgupta, D., & Datta, S. (2010). **Advanced oxidation process and biotreatment: Their roles in combined industrial wastewater treatment**. Desalination, 250(3), 87-94.

Martins, L. M., Silva, C. E., Moita -Neto, J. M., Lima, A. S., Moreira, R. F. P. M. (2011). **Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H₂O₂ no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC**. Engenharia Sanitária Ambiental, 16(3), 261-270.

Michael, I., Hapeshi, E., Michael, C., Varela, A.R., Kyriakou, S., Manaia, C. M.; Fatta, K. D. (2012). **Solar photo-Fenton process on the abatement of antibiotics at a pilot scale: Degradation kinetics, ecotoxicity and phytotoxicity assessment and removal of antibiotic resistant enterococci**. Water research, 46(1), 5621-5634.

Momani, F. A. A., Shawaqfeh, A. T.; Shawaqfeh, M. S. (2007). **Solar wastewater treatment plant for aqueous solution of pesticide**. Solar Energy, 81(1), 1213–1218.

Napoleão, D. C., Silva, D. R. da., Díaz, J. M. R., Benachour, M., Sánchez, L. R. B., Silva, V. (2015). **Análisis comparativo de la degradación de dipirona utilizando el proceso de Foto-Fenton con radiación UV-C y luz solar**. Centro Azúcar, 42(1), 34-41.

Nogueira, R. F. P & Jardim, W. F. (1998) **A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Química Nova, 21 (1), 69-72.

Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G., Modé, D. F. (2002). **Solar photodegradation of dichloroacetic acid and 2, 4-dichlorophenol using an enhanced photo-Fenton process**. Chemosphere, 48(1), 385–391.

Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G.; Silva, M. R. A., Villa, R. D., Oliveira, M. C. (2007). **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e Foto-Fenton**. Química Nova, 30(20), 400-408.

Oliveira, L. G., Fernandes, F. H., Mesquita, W. D., Junior, M. G., Santos, M. R. de C., Gurgel, M. F. do C. (2019). **Uma Revisão do Uso de Processos Oxidativos Avançados para Descoloração de Águas Residuais de efluentes**. Revista Processos Químicos, 111(1), 105-112.

- Pascoal, S. A., Lima, C. A. P., Sousa, J. T., Lima, G. G. C., Vieira, F. F. (2007). **Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume**. Química Nova, 30(5), 1082-1087.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X., Peral, J. (2002). **Fenton and photo Fenton oxidation of textile effluents**. Water Research, 36(1), 2703–2710.
- Primo, O., Rivero, M. J., Ortiz, I. (2008). **Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates**. Journal of Hazardous Materials, 153(1), 834-842.
- Poyatos, J. M., Muñoz, M. M., Almecija, M. C., Torres, J. C., Hontoria, E., Osorio, F. (2010). **Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art**. Water Air Soil Pollut, 205(1), 187-204.
- Queiroz, M. T. A., Queiroz, C. A., Alvim, L. B., Sabará, M. G., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2019). **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. Gestão & Produção, 26(1), e1149.
- Salvador, T., Marcolino, L. H. Jr., Zamora, P. P. (2012). **Degradação de corantes têxteis e remediação de resíduos de tingimento por processos Fenton, Foto-Fenton e Eletro-Fenton**. Química Nova, 35(5), 932-938.
- Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V., Anjaneyulu, Y. (2007). **Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol**. Journal of Hazardous Materials, 149(1), 609-614.
- Silva, C. R., Maniero, M.G., Peres, M. S., Guimarães, J. R. (2014). **Ocorrência e degradação de quinolonas por Processos Oxidativos Avançados**. Quim. Nova, 37(5), 868-885.
- Wang, Y., Zhong, Z., Muhammad, Y., He, H., Zhao, Z., Nie, S., Zhao, Z. (2020). **Defect engineering of NH₂-MIL-88B(Fe) using different monodentate ligands for enhancement of photo-Fenton catalytic performance of acetamiprid degradation**. Chemical Engineering Journal.
- Tiburtius, E. R. L., Zamora, P. P., Emmel, A. (2009). **Degradação de benzeno, tolueno e xilenos em águas contaminadas por gasolina, utilizando-se processos Foto-Fenton**. Química Nova, 32(8), 2058-2063.
- Trovó, A. G., Villa, R. D., Nogueira, R. P. (2005). **Utilização de reações Foto-Fenton na prevenção de contaminações agrícolas**. Química Nova, 28(5), 847-851.
- Trovó, A. G., Silva, T. F.S., Gomes, O. Jr., Machado, A. E. H., Borges -Neto, W., Muller, P. S., Daniel, D. (2013). **Degradation of caffeine by photo-Fenton process: Optimization of treatment conditions using experimental design**. Chemosphere, v.90, p. 170-175.
- Vilar, V. J. P., Pinho, L. X., Pintor, A. M.A., Boaventura, R. A.R. (2011). **Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation processes**. Solar Energy, 85(1), 1927–1934.
- Xiang, H., Ren, Genkuan., Yang, Xiushan., Xu, Dehua., Zhang, Zhiye., Wang, Xinlong. (2020). **A low-cost solvent-free method to synthesize α -Fe₂O₃ nanoparticles with applications to degrade methyl orange in photo-fenton system**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 200(1), 110744.
- Ye, Y., Yang, H., Zhang, H., Jiang, J. (2018). **A promising Ag₂CrO₄/LaFeO₃ heterojunction photocatalyst applied to photo-Fenton degradation of RhB**, Environmental Technology, 41(12), 1486-1503.
- Zhong, Z., Li, M., Fu, J., Wang, Y., Muhammad, Y., Li, S., Wang, J., Zhao, Z., Zhao, Z. (2020). **Construction of Cu-bridged Cu₂O/MIL(Fe/Cu) catalyst with enhanced interfacial contact for the synergistic photo-Fenton degradation of thiacloprid**. Chemical Engineering Journal, 395(1), 125184.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011) e em Ciências Biológicas pela Faculdade Única (2021). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase em desenvolvimento de bioadsorvente para remoção dos íons As(V), Sb (III) e Se (IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e $\text{TiO}_2/\text{Solar}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$) para remoção de contaminantes de interesse emergente (CIE) em diferentes matrizes aquáticas. Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2019 a junho de 2021) na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase em aplicação de novos agentes oxidantes empregando radiação solar para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Realizou seu primeiro pós-doutorado (Junho de 2020 a maio de 2021) no Instituto de Química da UFU. Atualmente realiza seu segundo pós-doutorado (julho de 2021 - atual) na UFU na mesma linha de pesquisa, cursa licenciatura em Física na Faculdade Única (Setembro de 2021 à novembro de 2022), e pós-graduação *lato sensu* em Análise Instrumental Avançada na Faculdade Unileyva. Possui 12 anos de experiência como técnico em química no Instituto Federal de Goiás, tendo atuado como responsável por análises de parâmetros físico-químicos e biológicos de águas e efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) Estudos de monitoramento de CIE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$, $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) processos de alfabetização e letramento científico na área de Ciência da Natureza, em especial biologia e química.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aedes aegypti 2, 5, 126, 127, 128, 131, 134, 135, 136

Águas 35, 65, 88, 118, 240, 250, 253, 262, 266, 277, 280, 281, 282, 283, 285, 287, 291, 292, 293, 294, 295

Análise termogravimétrica (TGA) 243

Ansiedade 6, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195

Antibióticos 7, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 287

Antifitopatogênico 146

Antifúngica 146, 155, 156, 157, 158, 159, 177, 263

Antimicrobiana 2, 6, 146, 149, 150, 154, 155

Atividades experimentais 46, 68, 82, 89, 91

B

Base nacional curricular comum (BNCC) 43

Biocompatibilidade 211, 212

Bioetanol 7, 228

Biomassa 2, 7, 228, 252, 253, 254, 255, 257, 259, 260, 262

Biomateriais 211, 217

Biorreativas 160

Biossorção 228, 252, 263

Biossorvente 228, 252, 262

Biota aquática 265

C

Cálculos estequiométricos 55, 66, 67, 119, 121, 122, 124

Carboidratos 126, 127, 128, 135, 136, 137, 219

Chuva ácida 5, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118

Clerodanos 138

Compartimentos aquáticos 265, 267, 273

Compostos-alvos 265, 273

Conhecimento químico 11, 52, 82

D

Diterpenos 138

Dopagem 205, 207, 209

E

Educação ambiental 2, 34, 35, 36, 40, 41, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 79, 295

Efeitos deletérios 265

Efluentes industriais 280, 282, 291, 292

Ensino-aprendizagem 2, 2, 8, 12, 27, 42, 43, 46, 49, 69, 89, 91, 94, 95, 98, 100, 113, 120, 189, 190, 191, 192, 193, 194

Ensino remoto 4, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 98, 100, 117

Epistemológicos 3, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 26, 27, 29, 30, 31

Escola 3, 4, 3, 5, 6, 8, 25, 30, 32, 34, 36, 39, 41, 46, 50, 51, 52, 56, 60, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 82, 84, 87, 90, 91, 98, 106, 107, 108, 111, 114, 118, 119, 121, 122, 190, 204, 210, 211

F

Fármaco 138, 151, 176, 270, 272, 273

Flavonoides 138, 145

Formação docente 10, 14, 26, 30

Foto-fenton 8, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294

Fungo 147, 148, 155, 157, 158

G

Gastroprotetor 138

Gemfibrozil 8, 265, 266, 268, 269, 274, 275, 276, 277

Google meet 4, 89, 91, 101, 111, 112, 114, 119, 120, 122, 191

H

Hidroclorotiazida 8, 265, 270, 277, 278

Hidroxiapatita 2, 7, 211, 212, 215, 216, 217

I

Impactos ambientais 3, 263, 267, 280, 291

In vitro 160, 163, 167, 168, 169, 170

Isotermas 239, 241, 242, 244, 245, 252, 255, 256, 259, 260

J

Jogo lúdico 4, 100, 101, 103, 105

L

Labdanos 138

Laboratórios 91, 94, 98, 150, 263, 295

Larvicidas 126, 128, 131, 134, 135

Leite 7, 41, 101, 189, 191, 211, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

Letramento digital 119

Lignina 228

Lixo 3, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 48, 71, 72, 73, 74, 75, 265, 267

M

Materiais alternativos 2, 80, 82, 87, 88, 89

Matrizes aquosas 2, 8, 265, 267, 268, 270, 271, 272, 273, 277

Metais pesados 2, 252, 253, 254, 263, 289

Metodologias ativas 42, 43, 48, 50, 189, 190, 191, 192, 193, 194

Microscopia eletrônica de transmissão (MET) 239, 242, 246

Mídias digitais 5, 1, 3, 111, 113

Monômero 196, 198, 206

N

Nanopartículas 2, 7, 204, 205, 206, 239, 240, 241, 250

Naproxeno 8, 265, 269, 271, 277

Neurotransmissores 6, 189, 190, 191, 193, 194

P

Pedagogical Knowledge of Chemistry Content (PCKC) 10

Plásticos 4, 6, 196, 198

Poluentes 113, 240, 250, 253, 280, 281, 282, 284, 285, 292

Práticas inovadoras 42, 43

Processos convencionais de tratamento 265, 266

Processos oxidativos avançados 2, 8, 137, 265, 268, 280, 281, 282, 291, 293, 294, 295

Protagonistas 46, 80, 98

R

Radical hidroxila 280, 288

Radioatividade 4, 45, 100, 101, 102, 103

Reação de Debus-Radziszewski 6, 172, 177, 179, 180, 187

Recalcitrantes 280, 282

Reciclagem 2, 9, 70, 71, 72, 74, 79

Recursos didáticos 52, 99

Recursos midiáticos 111, 114, 116, 117

Remediação 2, 8, 252, 253, 280, 283, 294, 295

Reutilização 3, 38, 40, 41, 70, 71, 74, 77, 283, 295

S

Síntese orgânica 128, 137, 160, 163, 173

T

Tecnologias avançadas de tratamento 265

Titulação 4, 80, 82, 85, 86, 87, 88

Toxicidade 126, 131, 135, 157, 163, 273, 282, 283, 287

U

Usnea steineri 6, 146, 147, 149, 150, 152, 153, 158



O papel fundamental da

QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br





O papel fundamental da

QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br