

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING 2

Atena
Editora
Ano 2022

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED CHEMICAL
ENGINEERING
2**

**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

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

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-NãoDerivativos 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



Collection: applied chemical engineering 2

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied chemical engineering 2 / 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 978-65-5983-990-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.902222604>

1. Chemical engineering. I. Paniagua, Cleiseano
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

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

The e-book: "Collection: Applied Chemical Engineering 2" consists of seven book chapters. The first and second chapters sought to apply computer simulation both to analyze the flow of water from the faucet, evaluating from the fluid dynamics and volume of the liquid, as well as the behavior of the air-particle interaction and the variables that influence: temperature, pressure and particle velocity volume, the pressure and velocity of particles inside an aerosol can.

The teaching of chemistry is still seen as an abstract and meaningless science in the student's daily life, since most basic education institutions do not have spaces for carrying out laboratory practices. In this context, researchers from the state of Maranhão, Piauí and Recife proposed the use of music as a facilitating tool in the learning process that was called CHEMUSICS.

Chapter 4 discusses the benefits of using energy production from the sugar-energy sector, especially from sugarcane bagasse residues that can sustain the Brazilian energy matrix.

Chapters 5 to 7 evaluated the issue of solid waste management and contamination of water resources. Chapter 5 presented a review study regarding the generation of waste from cemetery activities, as well as the potential impact on the environment and public health. Chapter 6 presented the potential of pumice in the adsorption of metals present in galvanic effluents. Finally, chapter 7 presents the development of a bimetallic Fenton catalyst supported on natural zeolite for the removal of dyes in aqueous matrices.

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging researchers from Brazil and other countries to publish their work with a guarantee of quality and excellence in the form of books and book chapters that are available on the Editora's website and elsewhere. digital platforms with free access.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DO ESCOAMENTO TURBULENTO EM TORNEIRA BICA ALTA POR MEIO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Mateus Batichotti Silva
Caroline Marques Lau
Luis Fernando Grigoletto Hirat
Maria Luiza Silva Oliveira
Flávia Aparecida Reitz Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226041>

CAPÍTULO 2..... 8

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EMPREGADA PARA O DESENVOLVIMENTO GEOMÉTRICO DE UMA LATA DE AEROSSOL

Caroline Marques Lau
Mateus Batichotti Silva
Luis Fernando Grigoletto Hirata
Maria Luiza Silva Oliveira
Flávia Aparecida Reitz Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226042>

CAPÍTULO 3..... 15

QUIMÚSICA: O USO DA MÚSICA COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE QUÍMICA

Elis Cristina de Sousa Ferreira
Adilson Luís Pereira Silva
Anna Karolyne Lages Leal
Maria Laryssa Costa de Jesus
Raissa Soares Penha Ferreira
Jaldyr de Jesus Gomes Varela Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226043>

CAPÍTULO 4..... 23

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY MODELING IN SUCROENERGETIC MILLS STEAM GENERATION CENTERS

Henrique Senna
Roque Machado de Senna

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226044>

CAPÍTULO 5..... 32

NECRÓPOLIS BRASILEÑAS (CEMENTERIOS): IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES GENERADOS POR LOS RESIDUOS DE LAS ACTIVIDADES DEL CEMENTERIO Y LA AMENAZA INMINENTE PARA LA SALUD PÚBLICA

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226045>

CAPÍTULO 6	44
PEDRA-POMES COMO ADSORVENTE PARA METAIS PESADOS PRESENTES EM EFLUENTES GALVÂNICOS: UMA REVISÃO	
Gabriela Raspante de Oliveira Sandra Matias Damasceno	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226046	
CAPÍTULO 7	58
CATALISADOR FENTON BIMETÁLICO DE COBALTO E FERRO SUPORTADO EM ZEOLITA NATURAL PARA REMOÇÃO DE POLUENTES EM MEIO AQUOSO	
Ramiro Picoli Nippes Paula Derksen Macruz Cauã Souza Silva Aline Domingues Gomes Camila Pereira Giroto Tháisa Frossard Coslop Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9022226047	
SOBRE O ORGANIZADOR	66
ÍNDICE REMISSIVO	67

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DO ESCOAMENTO TURBULENTO EM TORNEIRA BICA ALTA POR MEIO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Data de aceite: 01/04/2022

Mateus Batichotti Silva

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Caroline Marques Lau

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Luís Fernando Grigoletto Hirat

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Maria Luiza Silva Oliveira

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

RESUMO: Este artigo apresenta uma investigação experimental e computacional complementar do efeito da pressão e número de Reynolds na dinâmica do escoamento turbulento de uma torneira bica alta. As simulações numéricas foram realizadas com um pacote fluidodinâmica computacional (CFD) o qual emprega o método de volume de fluido (VOF). A comparação com dados experimentais e computacionais é capaz de

proporcionar melhorias nos projetos em escala industrial, uma vez que conservar água e energia com tecnologias eficientes em termos de água é extremamente benéfico para o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: CFD. Escoamento turbulento. Escala industrial. Número de Reynolds.

ANALYSIS OF TURBULENT FLOW AT HIGH FAUCET SPOUT BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ABSTRACT: This paper presents a complementary experimental and computational investigation of the effect of pressure and Reynolds number on the turbulent flow dynamics of a high spout tap. The numerical simulations were performed with a computational fluid dynamics (CFD) package which employs the fluid volume method (VOF). Comparison with experimental and computational data is capable of providing improvements in industrial-scale projects, since conserving water and energy with water-efficient technologies is extremely beneficial to the environment.

KEYWORDS: CFD. Turbulent Flow. Industrial Scale. Reynolds Number.

1 | INTRODUÇÃO

As torneiras são tão onipresentes que muitas pessoas nem mesmo param para se perguntar como elas surgiram. Os acessórios de hoje vêm em vários estilos, desde modelos elegantes e contemporâneos até versões com pés de garra usadas em designs vintage de banheiro (ÇENGEL, 2014).

Elas datam de períodos antigos. Encanamentos e acessórios de bica foram usados já em 1700 a.C. no palácio minoico de Knossos, localizado na ilha de Creta. Eles eram usados em casas particulares para banhos e para fornecer água para fontes. Os antigos romanos tinham encanamentos feitos de tubos de chumbo. E embora eles usassem torneiras para seus banhos pessoais, os chuveiros comunais dos romanos também eram populares (BOARDMAN, 1962).

Naquela época, os acessórios de banho antigos eram básicos. Eles tinham dois bicos - um para água quente e outro para água fria. Isso mudou com uma inovação de Al Moen, em 1937. As pessoas acreditam que ele teve a ideia do botão da torneira depois de queimar as mãos enquanto usava o acessório padrão. “Depois que ele dominasse o design, as pessoas poderiam se divertir lavando com um jato de água, que era ajustado para a temperatura certa” (ÇENGEL, 2014).

Mais tarde, quando novos inventores trabalharam na torneira, a válvula esférica passou a existir. “Landis Perry projetou esta peça em 1945 que ajudou a controlar a temperatura da água com um mecanismo de mistura. Além disso, ajudou a selar a unidade” (ÇENGEL, 2014).

Independente do modelo de torneira considerado, o fluxo de água que sai é muito suave e regular. “É suave porque todas as moléculas de água se movem, mais ou menos na mesma velocidade, na mesma direção. Isso é chamado de fluxo laminar” (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2006). “Além disso, se a torneira não for muito aberta, a água também escorrerá pelo ralo em um fluxo laminar” (FOX, 2003). Entretanto alterando a vazão se é apresentada uma alteração no fluxo das partículas, assim ocasionando em uma alteração no número de Reynolds e consequentemente caracterizando o movimento das mesmas não mais como laminar, porém sim como turbulento. Desta forma, objetivou-se simular e estudar o escoamento turbulento de uma torneira bica alta por meio da fluidodinâmica computacional.

2 | MÉTODO

Para o desenvolvimento das simulações empregou-se um pacote CFD apresentado pelo programa para computadores Ansys, especificamente a versão 14.5. Após um estudo sobre geometrias e malhas, bem como sua geração e análise, foram realizadas simulações levando-se em consideração o escoamento laminar e turbulento de líquidos e gases. Na sequência projetou-se uma torneira bica alta com as mesmas dimensões oferecidas por um fabricante nacional, conforme se apresenta na seção 3.1. Para que as variáveis temperatura, pressão, velocidade e número de Reynolds fossem analisadas, algumas condições de contorno foram levadas em consideração, como a pressão de 90000 Pa e a velocidade de entrada de água de 5m/s, além da equação da continuidade para o escoamento.

3 | RESULTADOS

Para a análise dos resultados foi realizada uma categorização desde o projeto da torneira bica alta até o resultado de suas variáveis extraídas pelo CFD-Post. Entretanto, já se é possível identificar uma zona crítica, onde os números se encontram diferentes na região alta que precede o bico. Tal efeito já era esperado desde quando efeitos gravitacionais foram considerados na confecção da mesma, aos quais podem ser melhor compreendidos na sequência.

3.1 Estrutura da torneira

A Figura 1 apresenta a projeção da torneira bica alta, cujas medidas são de 21x54 unidades na base, 374.5 unidades do ponto mais baixo da base até o ponto mais alto da torneira, 27 por 54 unidades na cavidade de saída que se encontra após a queda da curva, a esquerda, e uma distância de 149 unidades entre a saída e o tubo que leva o fluido.

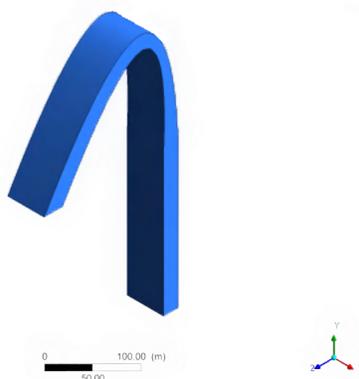


Figura 1 – Paredes da torneira.

Fonte: Autoria própria (2021).

3.2 Malha da torneira

Na Figura 2 é possível verificar a malha tetraédrica estruturada com 2107 nós e 8300 elementos que foi gerada pelo programa. Em cada nó há um encontro de múltiplas linhas que se revertem em pontos de cálculo onde as condições e equações acontecem de forma prática. A parte em tom rosa no canto inferior direito da malha se refere à entrada de fluido e a parte em verde na beira esquerda da malha se refere à saída de fluido.

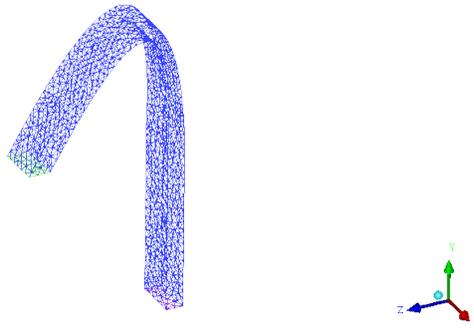


Figura 2- Malha da torneira.
 Fonte: Autoria própria (2021).

3.3 Pressão na torneira

Com relação à pressão, é possível verificar que, na prática, a maioria das torneiras sofrem uma pressão de 10 m.c.a, pois o mínimo da pressão de entrada que é 10 m.c.a (DE OLIVEIRA et al., 2017). Na simulação realizada, cuja entrada de pressão se manteve praticamente constante, a Figura 3 retrata as pequenas variações de pressão expressas em Pa que ocorrem por conta do fluido sob a torneira. Observando- se a curvatura pode- se verificar uma diminuição na pressão na parte de baixo e um aumento na parte de cima.

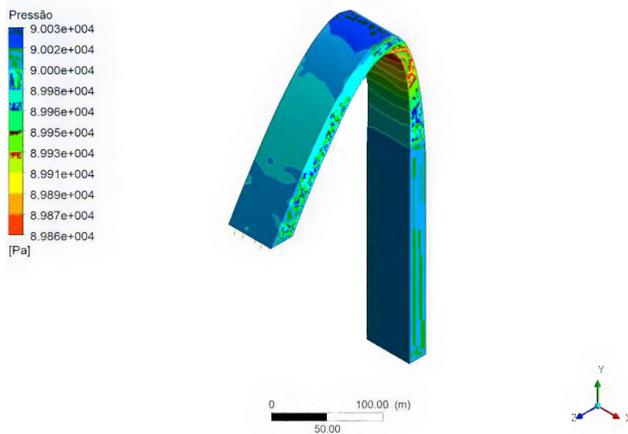


Figura 3 – Pressão na torneira.
 Fonte: Autoria própria (2021).

Além desta observação, há ainda uma diferença mais sutil que se refere a parte da saída da torneira, a parte esquerda da mesma, onde há uma queda na pressão e um posterior aumento quanto mais próximo da saída.

3.4 Velocidade na torneira

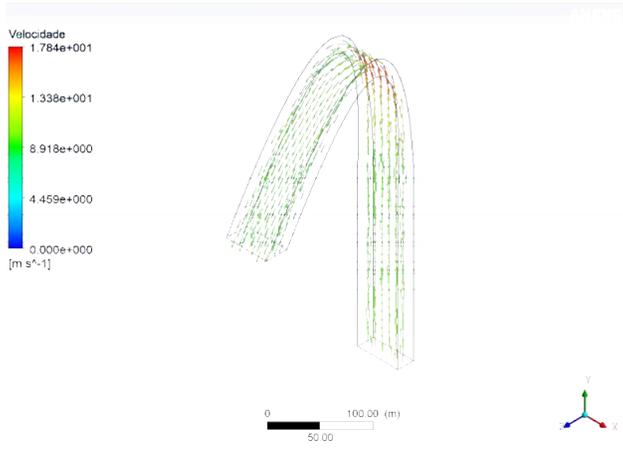


Figura 4 – Velocidade na torneira.

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 4 apresenta a representação da velocidade na torneira, que na maior parte do percurso se vê constante, isso considerando a exceção na curva da torneira pelas mesmas causas que afetaram a pressão. Umadas principais forças responsáveis por isto é a gravidade, a qual altera a velocidade gradualmente à medida que se aproxima da curva. Após a chegada em um pico há uma queda gradual até sair pelo o que corresponde à boca da torneira.

3.5 Número de Reynolds

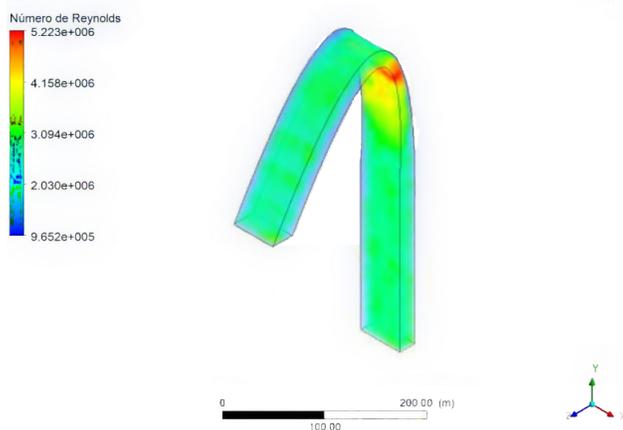


Figura 5 – Número de Reynolds.

Fonte: Autoria própria (2021).

O número de Reynolds é definido pela relação entre as forças viscosas e inerciais de um fluido e, portanto, indica qual a importância dessas forças para seu escoamento, caracterizando um certo escoamento em turbulento, laminar ou transitivo (MARTINS; KNESEBECK, 2015). E a partir dos resultados encontrados constatou-se que se é apresentado um estado turbulento do fluido dentro da torneira, já que o número normalmente assumido como valor de transição, para fins de cálculo, é $Re = 2300$ (MARTINS; KNESEBECK, 2015). Na simulação aqui realizada o valor médio encontrado foi compatível com os valores encontrados por Bird et al. (2007) e Fox et al. (2014), cerca de 2100 e 2300, respectivamente. Quando há uma redução do número de Reynolds, seus resultados remetem a um escoamento laminar, uma vez que se encontra com um número inferior ao do estado de transição.

Importante ressaltar o aumento do número de Reynolds no mesmo local onde se encontrou uma diferença na velocidade e na pressão. Estas variáveis são responsáveis pela variação do número de Reynolds, conforme se observa na Equação (1) e deve sempre ser levada em consideração em estudos de fluidodinâmica.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1)$$

4 | CONCLUSÃO

Os estudos realizados em relação à simulação computacional mostraram que a vazão do fluido em uma torneira bico alta, no modelo apresentado, foi majoritariamente turbulenta. Esta forma de simulação no projeto apresentado pode ser reinterpretada de forma onde saem do espectro fundamental da figura da torneira de bica alta e abrangem estruturas de semelhante forma, como por exemplo, para uma mais eficiente utilização de colheitadeiras e seus tubos descarregadores.

As variações de pressão e velocidade e sua plena compreensão são de extrema importância para um maior controle dos gastos de água, assim tendo potencial importância econômica envolvendo a economia de água de forma doméstica ou industrial, ou até mesmo de outros líquidos em tubos semelhantes, estudando conceitos com a vazão, a eficiência na alteração de produtos que influenciem na pressão ou na viscosidade e seus efeitos perante o total, o que pode acarretar em soluções economicamente mais eficazes.

Além disso a questão física do movimento Browniano explorada por Albert Einstein em *Investigations on the theory of the brownian movement*, de 1926, juntamente com outras teorias menos populares pode ser alvo de um estudo envolvendo entre outras coisas a própria mecânica newtoniana.

Uma molécula dissolvida é diferenciada de um corpo suspenso apenas por suas direções, e não é aparente por que um número de partículas

suspensas não deveria produzir a mesma pressão osmótica que o mesmo número de moléculas. Devemos supor que as partículas suspensas realizam um movimento irregular - mesmo que muito lento - no líquido, por conta do movimento molecular do líquido (EINSTEIN, 1926).

Então, a partir deste, seria possível realizar investigações predispostas a questionar a viabilidade da utilização dos movimentos irregulares das partículas juntamente com efeitos quânticos para um aumento de eficiência de maquinários e sistemas mais complexos. E ainda a partir do poder de alteração a pressão de um determinado fluido pode-se considerar a manipulação, a partir do número de Reynolds, para conservação de fluidos delicados em situação de transporte.

REFERÊNCIAS

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena**. New York: JohnWiley, 2007.

BOARDMAN, J.; **Archaic finds at Knossos**. The Annual of the British School at Athens, 1962.
ÇENGEL, Y. **An engineering approach**. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

DE OLIVEIRA, C. C.; SILVÉRIO, A. P. D.; MENDES, L. E. **XI-095 O efeito da redução de pressão no consumo de água nas unidades habitacionais**: uma nova visão de combate as perdas,2017.

EINSTEIN A. **Investigations on the theory of the brownian movement**. New York: DoverPublications, 1926.

FOX, R.W.; MCDONALD, A.T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014.

MARTINS, M. H.; KNESEBECK, A. **Estudo da transição entre escoamento laminar e turbulento em tubo capilar**. In: ANAIS DO XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]. ISSNImpresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An introduction to computational fluid dynamics:the finitevolume method**. 2. ed. Essex: Pearson Education Limited, 2006. 503.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EMPREGADA PARA O DESENVOLVIMENTO GEOMÉTRICO DE UMA LATA DE AEROSSOL

Data de aceite: 01/04/2022

Caroline Marques Lau

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Mateus Batichotti Silva

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Luis Fernando Grigoletto Hirata

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Maria Luiza Silva Oliveira

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

Curso Técnico Integrado em Informática,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campo Mourão, Paraná, Brasil

RESUMO: A aplicação da dinâmica de fluidos computacional (CFD) no estudo de aerossóis tem apresentado bons resultados principalmente por prever o padrão de fluxo do gás e o comportamento das partículas, além da temperatura, velocidade, tempo de residência e posição de impacto. Além disso, o CFD também pode ser usado para investigar diferentes projetos que utilizam os aerossóis como influenciadores de outros fenômenos

também estudados com aumento de escala. Este artigo fornece as interações ar-partícula ocorridas segundo o modelo de turbulência k-e para prever a temperatura, velocidade e pressão ocorridas no interior da lata e as compara com as variáveis reais apresentadas pelo seu inventor, Eric Rotheim, em uma lata com as mesmas características apresentadas pela geometria. Além disso, as limitações atuais e o escopo futuro para a pesquisa potencial também são destacados.

PALAVRAS-CHAVE: Ansys ICEM. Aerossol. Simulação.

COMPUTER SIMULATION USED FOR THE GEOMETRIC DEVELOPMENT OF AN AEROSOL CAN

ABSTRACT: The application of computational fluid dynamics (CFD) in the study of aerosols has shown good results mainly for predicting the gas flow pattern and the behavior of particles, in addition to temperature, velocity, residence time and impact position. In addition, CFD can also be used to investigate different projects that use aerosols as influencers of other phenomena also studied with scale-up. This article provides the air-particle interactions that occurred according to the k-e turbulence model to predict the temperature, velocity and pressure occurring inside the can and compares them with the real variables presented by its inventor, Eric Rotheim, in a can with the same features presented by geometry. In addition, current limitations and future scope for potential research are also highlighted.

KEYWORDS: Ansys ICEM. Aerosol. Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

Eric Rotheim, um engenheiro e inventor norueguês, propôs o primeiro projeto de lata de aerossol há mais de 75 anos. A tecnologia evoluiu um pouco ao longo dos anos, mas as ilustrações da patente de Rotheim nos EUA de 1931 mostram a maioria dos principais elementos encontrados nas latas de aerossol de hoje (BELLIS, 2020).

Inicialmente, a inovação de Rotheim não teve muito impacto no mundo. No entanto, foi durante a Segunda Guerra Mundial, quando os militares dos EUA usaram uma lata de aerossol para dispensar inseticida, que as pessoas perceberam o potencial do dispositivo. As latas fáceis de usar foram uma ajuda inestimável para os soldados no Pacífico, onde os insetos transmissores de doenças representavam uma ameaça mortal. Nos anos após a guerra, os fabricantes adaptaram essa tecnologia para uma ampla gama de aplicações. Hoje, existem milhares de produtos embalados em latas de aerossol, desde spray para cabelo até óleo de cozinha e remédios (BELLIS, 2020).

A ideia básica de uma lata de aerossol é muito simples: um fluido armazenado sob alta pressão é usado para impulsionar outro fluido para fora de uma lata. Para entender como isso funciona, faz-se necessário saber um pouco sobre fluidos e pressão de fluidos. Um fluido é qualquer substância composta de partículas que fluem livremente. Isso inclui substâncias em estado líquido, como a água de uma torneira, bem como substâncias em estado gasoso, como o ar na atmosfera. As partículas em um líquido estão fracamente ligadas, mas se movem com relativa liberdade. Como as partículas estão ligadas, um líquido a uma temperatura constante tem um volume fixo. Se aplicar energia suficiente a um líquido (aquecendo-o), as partículas vibrarão tanto que se libertarão das forças que as unem. O líquido se transforma em gás, um fluido no qual as partículas podem se mover independentemente. Esse é o processo de ebulição, e a temperatura em que ocorre é chamada de ponto de ebulição de uma substância. Diferentes substâncias têm diferentes pontos de ebulição: por exemplo, é necessária uma quantidade maior de calor para transformar a água de um líquido em um gás do que para transformar o álcool de um líquido em um gás (HARBELI, 2000).

A força das partículas individuais em movimento em um gás pode resultar em uma pressão considerável. Uma vez que as partículas não estão ligadas, um gás não tem um volume definido como um líquido: as partículas continuarão se empurrando para fora. Dessa forma, um gás se expande para preencher qualquer espaço aberto. Conforme o gás se expande, sua pressão diminui, uma vez que há menos partículas em qualquer área para colidir com qualquer coisa. Um gás aplica uma pressão muito maior quando é comprimido em um espaço relativamente pequeno porque há muito mais partículas se movendo em uma determinada área (HARBELI, 2000).

Uma lata de aerossol aplica esses princípios básicos a um objetivo simples: expulsar uma substância líquida. Um aerossol pode conter um fluido que ferve bem abaixo

da temperatura ambiente (chamado de propelente) e outro que ferve a uma temperatura muito mais alta (chamado de produto). O produto é a substância que realmente se usa - o spray para cabelo ou repelente de insetos, por exemplo - e o propelente é o meio de tirar o produto da lata. Ambos os fluidos são armazenados em uma lata de metal lacrada (FEA, 2004).

Existem duas maneiras de configurar este sistema de aerossol. No projeto mais simples, se despeja o produto líquido, fecha a lata e bombeia um propelente gasoso por meio do sistema de válvula. O gás é bombeado em alta pressão, de forma que empurra o produto líquido para baixo com uma boa quantidade de força (FEA, 2004). Levando-se em consideração a embalagem proposta por Eric Rotheim, este projeto teve como objetivo desenvolver por meio da simulação computacional uma lata de aerossol e comparar o comportamento interno em relação à temperatura, velocidade e pressão com as variáveis reais apresentadas por uma lata de spray com as mesmas características.

2 | MÉTODO

Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizados softwares da linha ANSYS, que são compostos de elementos finitos e que pode ser utilizado nas mais diversas classes de problema de engenharia (FERNANDES, 2019).

A princípio, foram realizadas simulações de geometrias mais simples para adaptação e introdução ao programa. Em prossecução, foi simulado um cubo com um prisma e outro com uma esfera, com a finalidade de análise de um escoamento laminar e um turbulento, respectivamente.

Procurando um exemplo do dia a dia, foi gerado uma lata de aerossol (Figura 1), utilizando uma malha tetraédrica, 3 tipos de materiais, alumínio, água oxigenada e ar, uma pressão de 90000 Pa e velocidade de magnitude de 10 m/s, cujos resultados serão apresentados a seguir.

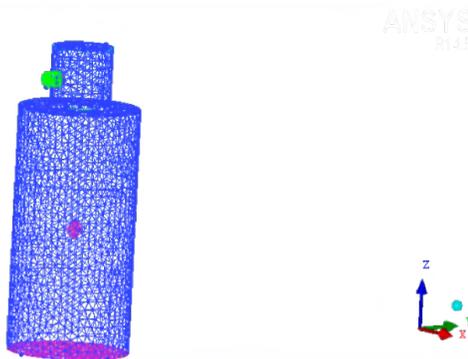


Figura 1 – Lata de aerossol.

Fonte: Autoria Própria (2021).

3 | RESULTADOS

Para obtenção dos resultados, foram simuladas 20000 iterações na lata de aerossol, gerando os gráficos de pressão (Figura 2), velocidade (Figura 3) e número de Reynolds (Figura 4).

Como é possível perceber na Figura 2, a pressão dentro da lata é tão grande que o gás utilizado como propelente fica comprimido e se torna líquido, misturando-se ao produto. Em uma lata de aerossol, quando a válvula é apertada, a pressão dentro do frasco diminui e uma parte do gás líquido propelente se expande com alta velocidade (Fig. 3), transformando-se em gás novamente. Como o volume se torna maior que a capacidade da lata, este escapa com toda força, levando parte do produto para fora (CYRINO, 2019).

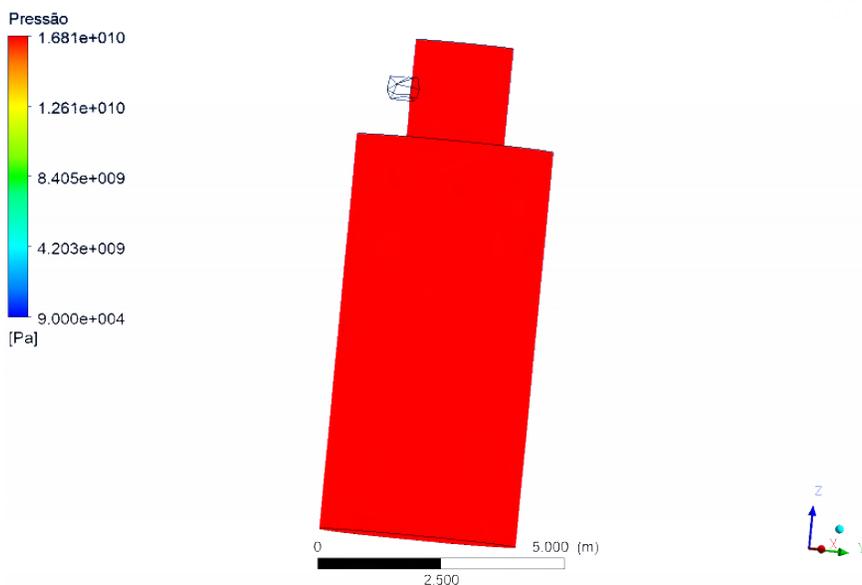


Figura 2 – Gráfico da pressão.

Fonte: Autoria Própria (2021).

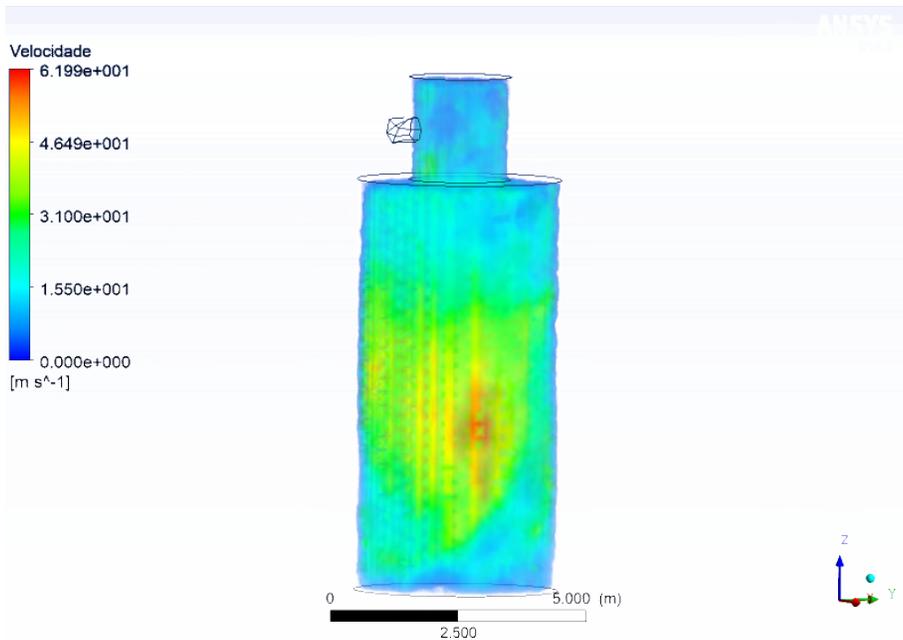


Figura 3 – Gráfico da velocidade.

Fonte: Autoria Própria (2021).

Quando pequenas partículas de aerossol se movem através do ar o número de Reynolds é muito pequeno (menor que 1), os chamados escoamentos lentos. Na Figura 4, infere-se que este número é maior que 1, o que representa um escoamento rápido.

A partir deste número também pode-se concluir se é um escoamento laminar ou turbulento. Para o caso de um fluxo de água num tubo cilíndrico admite-se os valores de 2.000 e 2.400 como limites. Assim, para valores menores que 2.000 o fluxo será laminar, e para maiores que 2.400 o fluxo será turbulento. E para valores intermediários a estes, o fluxo será transitório (VICTOR, 2019). Portanto, a lata de aerossol apresentada na simulação apresenta um escoamento turbulento.

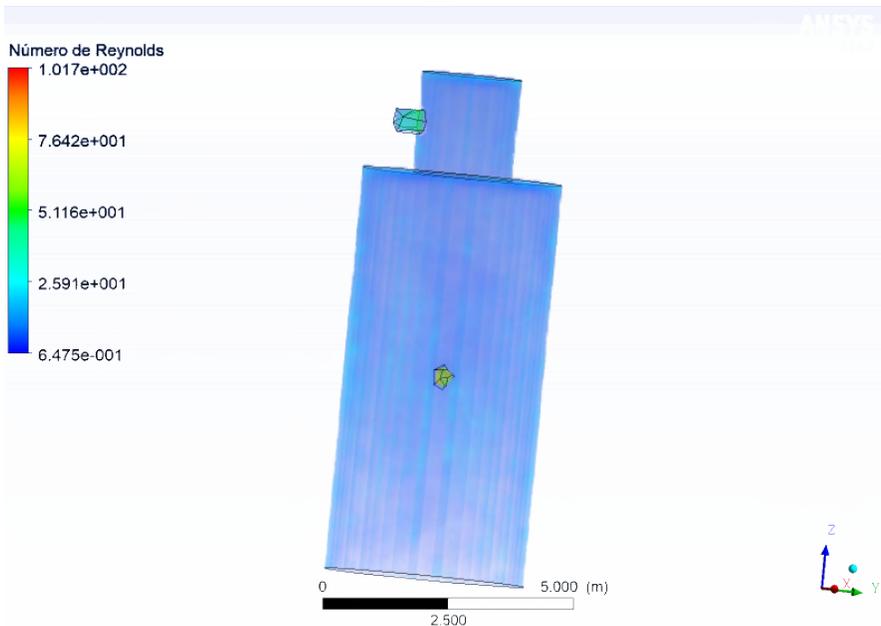


Figura 4 – Gráfico do número de Reynolds.

Fonte: Aatoria Própria (2021).

4 | CONCLUSÃO

Todos os valores encontrados podem ser comparados com dados reais de vários produtos que estão presentes no mercado e na fabricação de aerossóis, como desodorantes, cremes de barbear, inseticidas ou tintas. Levando em consideração que cada produto terá uma pressão, velocidade e número de Reynolds diferente.

O escopo das empresas deste e de outros ramos está centrado em economizar tempo e dinheiro na produção de suas mercadorias, e, a fim de alcançar seu objetivo, estas podem fazer uso da simulação computacional.

Em softwares como o utilizado neste projeto, podem ser realizados diferentes testes, para que sejam previstos tamanhos em escala industrial e evite retrabalho. O custo seria muito menor do que realizar estes testes em laboratórios. Este recurso permite prever e observar situações com precisão, além de impulsionar uma vantagem competitiva, por tornar possível a fabricação com menor margem de erro e produtos mais eficientes.

A criação de Eric Rotheim introduziu no mercado uma invenção revolucionária capaz de vaporizar, sob pressão, partículas sólidas ou líquidas, e a simulação computacional pode abrir caminho para melhor compreensão de seu comportamento.

REFERÊNCIAS

ANSYS. **ANSYS CFX Workbench**. Canonsburg, 2008.

APEAL. **The steel aerosol**: it never stops making progress. Disponível em: [http:// www.apeal.org/Contents/Inno/Pub096.html](http://www.apeal.org/Contents/Inno/Pub096.html). Acesso em: 07 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AEROSSÓIS E SANEANTES DOMISSANITÁRIOS ABAS. **Aerossóis**. Disponível em: <http://www.as.org.br>. Acesso em: 07 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14720: Embalagem metálica para aerossol: requisitos e verificação da resistência à pressão interna para embalagens vazias sem válvula**. Rio de Janeiro, 2001. 4 p.

BELLIS, M. **The history of aerosol spray cans**. ThoughtCo, Aug. 28, 2020, thoughtco.com/history-of-aerosol-spray-cans-1991231.

CYRINO, L. **Aerossol, tecnologia de 90 anos**. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/aerossol-tecnologia-de-90-anos/>. Acesso em: 9 set. 2021.

FEA. About aerosols. **Embalagem Marca**, São Paulo, v. 6, n. 62, p. 52, 54, out. 2004.

FERNANDES, L. C. **Técnicas de otimização utilizando o ansys workbench**. 2019. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2019.gia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2019. Acesso em: 7 set. 2021.

FORTUNA, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos**: conceitos básicos e aplicações. São Paulo: EDUSP, 2006.

HARBELI, L. Aerossóis: cada vez mais atraentes. **Embalagem Marca**, São Paulo, v. 2, n. 9, p. 28-30, mar. 2000.

KUBILAY, A.; DEROME, D.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. CFD simulations and validation of wind-driven rain on a building facade with an Eulerian multiphase model. **Building and Environment**, v. 61 p. 69-81, 2013.

VICTOR, J. **Número de reynolds**: entenda tudo! Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/numero-reynolds-entenda/>. Acesso em: 9 set. 2021.

QUIMÍMICA: O USO DA MÚSICA COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE QUÍMICA

Data de aceite: 01/04/2022

Data de submissão: 23/02/2022

Elis Cristina de Sousa Ferreira

Universidade Estadual do Maranhão-UEMA
São Luís- Ma
<http://lattes.cnpq.br/0290325400136663>

Adilson Luís Pereira Silva

Universidade Estadual do Maranhão -UEMA
São Luís- Ma
<http://lattes.cnpq.br/4448767122826959>

Anna Karolyne Lages Leal

Mestrado em Química - UFPI
Teresina-PI
<http://lattes.cnpq.br/9105933295188245>

Maria Laryssa Costa de Jesus

Centro Universitário Joaquim Nabuco -
UNINABUCO
Recife-PE.
<http://lattes.cnpq.br/9432472645662222>

Raissa Soares Penha Ferreira

Universidade Federal do Maranhão - UFMA
São Luís - Ma
<http://lattes.cnpq.br/9694130900283763>

Jaldyr de Jesus Gomes Varela Júnior

Colégio Universitário da UFMA - COLUN
São Luís-Ma
<http://lattes.cnpq.br/5125904184711352>

RESUMO- O ensino de Química, desde muito

cedo, é considerado como algo abstrato, algo em que não se consegue alcançar, ou pelo menos, não por completo, em suma. A fim de diminuir as negatividades do ensino de Química nas escolas, novas metodologias de ensino vêm sendo propostas no mundo acadêmico e profissional, como, por exemplo o lúdico. A música, se torna um recurso propício para a sala de aula, sendo ela um meio facilitador e importantíssimo para a interação, construção e reconstrução de conhecimentos científicos. Este trabalho trás uma proposta de contextualizar a música com o dia a dia dos alunos, fazendo assim com que eles consigam compreender a relação da música com a Química para que o ensino seja significativo. A contextualização da música começa a partir de conceitos prévios que os alunos trazem de casa. Após, é apresentado a Química presente na música proposta e por conseguinte, uma forma de manter o interesse dos alunos, logo melhorando o ensino.

PALAVRAS-CHAVE: Música e Química. Aprendizagem através do lúdico. A Química dos hormônios.

CHEMISTRY: THE USE OF MUSIC AS A TEACHING RESOURCE IN CHEMISTRY TEACHING

ABSTRACT: The teaching of Chemistry, from a very early age, is considered as something abstract, something in which it is not possible to achieve, or at least, not completely, in short. In order to reduce the negativities of teaching Chemistry in schools, new teaching methodologies have been proposed in the academic and professional world, such as ludic.

Music becomes a suitable resource for the classroom, being it a facilitating and extremely important means for the interaction, construction and reconstruction of scientific knowledge. This work brings a proposal to contextualize music with the daily life of students, thus making them able to understand the relationship between music and Chemistry so that teaching is meaningful. The contextualization of music starts from previous concepts that students bring from home. Afterwards, the chemistry present in the proposed music is presented and, therefore, a way to maintain the students' interest, thus improving teaching.

KEYWORDS: Music and Chemistry. Learning through play. The Chemistry of Hormones.

1 | INTRODUÇÃO

O ensino de Química, desde muito cedo, é considerado como algo abstrato, algo em que não se consegue alcançar, ou pelo menos, não por completo, em suma. Este julgamento vem sendo fortificado por conta da falta de interesse dos alunos, pelo assíduo tradicionalismo do professor e pelo fato de a Química apresentar conceitos complexos e de difícil entendimento. Para quebrar esse tabu, precisa-se estabelecer uma ponte entre o ensino, a aprendizagem e o cotidiano dos alunos, de uma forma inovadora e simples, que seja significativo tanto para o professor quanto para os estudantes. Contudo, a Química é uma ciência para os estudantes muito importante e presente no nosso dia a dia, mesmo menosprezada pelo fato de ser considerada por muitos como “difícil, incompreensível e chata”. Lima (2012) reforça este pensamento quando retrata:

Um ponto de vista polêmico e amplamente debatido em pesquisas realizadas na área de ensino e educação é a grande dificuldade que os alunos do Ensino Médio enfrentam no processo de aprendizagem dos conteúdos da disciplina de Química. Ao observarmos como ela é ensinada nas Escolas brasileiras, identificamos que seus conhecimentos são difíceis de serem entendidos. (LIMA, 2012,p. 96).

A fim de diminuir as negatividades do ensino de Química nas escolas, novas metodologias de ensino vêm sendo propostas no mundo acadêmico e profissional, como, por exemplo o lúdico, como cita Santos (2010),

A utilização do lúdico na escola é um recurso muito rico para a busca da valorização das relações, onde as atividades lúdicas possibilitam a aquisição de valores já esquecidos, o desenvolvimento cultural, e, com certeza, a assimilação de novos conhecimentos, desenvolvendo, assim, a sociabilidade e a criatividade. (p.15).

Dentre as muitas metodologias a cerca do assunto, tem-se a música, que é participante atuante na vida das pessoas, principalmente dos adolescentes que são criteriosos quando se trata do estilo musical em que estão vivendo, não necessariamente somente à letra das canções, mas também o artista, e o que a mídia apresenta no cotidiano, porém se o professor utilizá-la de forma adequada e atrativa, este ganha a atenção e consequentemente os alunos conseguem ter um melhor aprendizado.

Embora a música esteja sempre presente na vida dos adolescentes, muitas vezes eles não prestam atenção à linguagem musical, o que diz a música em si, sem letras, baseada apenas nos elementos que a constituem. Esta é uma oportunidade que devemos oportunizar como educadores musicais, principalmente quando observamos a importância que a música tem na vida dos jovens que têm por companhia permanente aparelhos eletrônicos de todos os tipos, que buscam se aproximar da linguagem musical de seus ídolos, que compram e se utilizam de diferentes instrumentos musicais, identificando – se com eles. (BEYER, 2009,p.3).

A música no ensino de Química vem trazendo um novo olhar na relação ensino-aprendizagem, pois, mostra que se pode aprender Química e cantando, sendo esta uma opção divertida e de fácil aceitação pelo corpo docente, tendo em vista que a Química não é uma ciência do gosto ‘popular’. A partir do momento em que a música é utilizada para se ensinar Química e se é mostrado o lado real, ou seja, o cotidiano do aluno, esta se torna de fácil compreensão e mais aceitável pelos aprendizes já que “a música contribui para a contextualização de conteúdos da Química especialmente àqueles ligados à realidade do aluno” (COUTINHO, 2014, p.98).

O professor de Química, hoje em dia, precisa estar aberto a novas metodologias e conceitos, para assim melhorar e transpor o conteúdo químico de forma adequada ao entendimento de seus alunos. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho trás, para o meio aluno-professor, a música como uma metodologia alegre e divertida para o ambiente escolar, propondo uma diferente e atrativa aula para ser explanada no ensino de Química, mostrando assim que a música pode está presente em sala de aula não só como divertimento ou desvio de atenção dos alunos, mas como meio facilitador de conceitos considerados complexos.

2 | A MÚSICA COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA

2.1 Química em sala de aula

A Química vista em sala de aula ainda é considerada uma das disciplinas mais difíceis e complexas para os estudantes da Educação Básica. Além disso, muitas vezes os professores ainda seguem somente o modelo tradicional de ensino, mostrando assim, aos alunos o lado “difícil” da Química, o que acarreta no fraco entendimento destes em sala de aula. Para que a Química passe a ser uma disciplina agradável aos educandos, precisa-se aperfeiçoar as metodologias e recursos didáticos utilizados, com intuito de desconstruir este conceito errôneo que a Química carrega.

No ensino-aprendizagem, o professor deve atuar como mediador entre o conhecimento e os estudantes, considerando o uso de novas metodologias e a realidade de cada aluno, a forma que cada um tem de aprender, de entender, de processar um determinado assunto, para tanto, o professor precisa utilizar meios para aprimorar suas metodologias em sala de aula, lembrando-se que é importante considerar o cotidiano do

aluno, como eles vivem, o que fazem, como estudam Química em seu dia a dia, onde ela está presente em suas vidas, fazendo assim com que os alunos possam ter uma intimidade com a Química e conseqüentemente torná-la mais acessível, como citam Maldaner e Zanon, 2001, p. 46, “os poucos aprendizados em ciências mostram-se usualmente fragmentados, descontextualizados, lineares e não costumam extrapolar os limites de cada campo disciplinar”.

Vale ressaltar que o professor-mediador precisa manter-se informado dos acontecimentos da sociedade, para que consiga abranger desta forma em sala de aula, temas importantes e atuais no ensino, facilitando, dessa forma a compreensão dos alunos em determinados conteúdos de Química.

Sempre que possível e nos assuntos teóricos abordados nas aulas de Química, temas atuais e importantes devem ser inseridos, como por exemplo: meio ambiente, desenvolvimento sustentável e química verde; novas alternativas de combustíveis; novas fontes de energia; água – desperdício e formas econômicas de obtenção; CO – consumo através do seu uso como reagente; petróleo na camada do pré-sal; nanotecnologia – nanomateriais; química dos produtos naturais. (SILVA, 2011,p. 9).

Como pontua o autor, o ensino de Química precisa ser mais atraente para os alunos e professores, para isso é importante que estes utilizem conteúdos de seu dia-a-dia como forma de problematização e interação entre ambos.

Contudo a metodologia proposta neste trabalho é o uso da música como meio facilitador para o ensino de Química, mostrando que esta diretamente associada ao dia a dia do estudante e muito solicitada por estes, fazendo com que os discentes interajam mais em sala de aula e que entendam o conteúdo de forma mais científica.

De acordo com Melo e Assis,

[...] a prática de associar qualquer disciplina à música sempre foi bastante utilizada e demonstrou muitas potencialidades como fator auxiliar no aprendizado, podendo ainda despertar e desenvolver nos alunos sensibilidades mais aguçadas na observação de questões próprias à disciplina alvo, além de melhorar a qualidade do ensino e aprendizado, uma vez que estimula e motiva professores e alunos. (MELO; ASSIS, s/d, p.4.).

A música se torna um recurso propício para a sala de aula, sendo ela um meio facilitador e importantíssimo para a interação, construção e reconstrução de conhecimentos científicos.

2.2 A música

A música está presente em todos os momentos de nossas vidas, sejam eles alegres ou tristes. Neste sentido, surge uma pergunta, por que não inclui - lá no ensino-aprendizagem? Existem muitos estudos sobre o uso da música como recurso didático em sala de aula, estes têm mostrado que a utilização da música é uma forte aliada para melhorar o entendimento científico dos alunos e até mesmo dos professores, mostrando

que pode ser utilizada para aprimorar os conteúdos e conseqüentemente o aprendizado, como cita Barreiro (1990) “a música permite fazer surgir em classe uma relação pedagógica distinta, igualitária e mais construtiva”.

Para se utilizar a música como recurso didático em sala de aula é preciso contextualizar a música e a Química com o cotidiano do aluno, para que não se tornem superficiais aos alunos e futuramente não seja utilizada como mera diversão em sala de aula. Além da música poder ser utilizada como recurso didático de ensino, ela pode ser geradora de laços que ajudarão na relação aluno-professor, que segundo Wallon (1995^a, p.99), ‘promover um contágio emocional positivo contribui para um bom desempenho cognitivo’, o que se fez da forma adequada pode favorecer o desempenho dos envolvidos e tornar o ambiente escolar mais agradável, assim de acordo com Coutinho (2014, p.17),

A música apresenta grande potencial para favorecer as relações entre os sujeitos do processo de ensino aprendizagem, pois pode proporcionar conforto, emoção, reflexão, enfim, sentimentos e afetos dependentes dos construtos pessoais significativos para o indivíduo.

A música pode ser um elemento estimulante na disciplina de Química, por ser de fácil acesso e ser considerada uma atividade lúdica que de acordo com Almeida, 2008 apud Silva, 2011, p.12, é uma necessidade básica da personalidade do corpo, da mente, no comportamento humano. Cabrera (2006) defende que é importante o uso de metodologias alternativas que motivem a aprendizagem e as atividades lúdicas são meios auxiliares que despertam o interesse dos alunos, podendo ser aplicadas em todos os níveis de ensino, proporcionando dessa forma aos alunos e professores uma melhor assimilação dos conceitos e fórmulas, Torres (2017, p.22) portua que ‘o uso da música como ferramenta instrucional pode proporcionar aos educandos uma atividade capaz de articular o entrelaçamento dos saberes do cotidiano com os conhecimentos escolares e científicos, problematizando-os’.

3 | A QUÍMICA DA MÚSICA

Este trabalho foi elaborado em duas etapas: a primeira consiste em um levantamento bibliográfico sobre a utilização da música como recurso didático abordada neste, sendo ele de cunho qualitativo e de forma investigativa, para se ter uma base da frequência da utilização da música como proposta auxiliar no ensino de Química e se esta conseguiu atingir o seu objetivo de utilizá-la em sala de aula como recurso para facilitar o ensino de Química.

E a segunda etapa consiste em propor uma sequência didática utilizando a música no ensino de Química. Esta etapa incide em contextualizar a música com o dia a dia dos alunos, fazendo assim com que eles consigam compreender a relação da música com a Química para que o ensino seja significativo. A música escolhida para esta proposta é a “Lero lero” gravada por Thiaguinho, que cita eventos vivenciados pelos adolescentes, estudantes do Ensino Médio, que são em sua maior parte, o público alvo desta pesquisa,

como 'o desejo de te conquistar conduz', 'se amar é tão bom', 'me afogar no teu prazer'.

Primeiramente apresenta-se a música para os estudantes e contextualiza-a com os pontos vivenciados por eles em seu dia a dia.

A contextualização da música começa a partir de conceitos prévios que os alunos trazem de casa, indagando-os como acontecem esses momentos, como por exemplo: 'Como acontece a conquista?', 'O que sentem quando estão conquistando alguém?', 'Quando sonham com a pessoa que estão tentando conquistar, quais sentimentos são liberados?', 'O que acontece com seu corpo quando sentem prazer?'

Após a contextualização os alunos podem ser convidados a debaterem em grupos sobre a relação que tem estes momentos relatados na música e as indagações com a Química.

Logo depois, o professor pode apresentar aos alunos a Química presente nestas situações, como por exemplo, as sensações que sentem durante as situações citadas são apenas os hormônios que são liberados pelo ser humano durante esses momentos: dopamina que está relacionada com o humor e o prazer, é o hormônio que nos motiva a atingir nossos objetivos, Breuning (2015, p.12) afirma que a química envolvida na liberação deste hormônio é a responsável pela sensação de satisfação/prazer; a endorfina geralmente, segundo Ferreira (2018,p.27) 'é produzida naturalmente nos neurônios em resposta à dor e ao estresse, ajudando no alívio da ansiedade e da depressão', e como afirma Sinek (2016, p.27) 'atuando como um agente analgésico e calmante'; e a ocitocina que é o hormônio do amor, como cita Zack (2018, p. 46), 'este neurotransmissor ajuda a relaxar e deixar de sentir ansiedade em interações sociais, promove a síntese de endorfinas e a aparência de felicidade. A ocitocina é produzida tanto no cérebro quanto no sangue'.

Consequente à apresentação dos hormônios o professor convida os alunos a dividirem-se em grupos, e logo após, a escrever as fórmulas químicas usuais das substâncias presentes nestes, depois a fórmula segundo a IUPAC.

Os alunos podem apresentar as fórmulas estruturais dos hormônios para a turma e durante a apresentação o professor pode pedir a estes que identifiquem as funções orgânicas ali presentes e tipo de ligação feita pelos compostos, podendo trabalhar as nomenclaturas destas funções.

Logo após, induz aos alunos para que façam um diagrama, que é uma delineação ou modo de representação feito através de gráficos, de esquemas, de linhas, de pontos e demonstração dos aspectos gerais de algo, o que facilita a organização das ideias dos alunos.

Após o diagrama organizado e corrigido pelo professor, caso tenha alguma confusão de conceitos, o professor passa para a próxima fase desta proposta que é a confecção de uma paródia contendo o conteúdo trabalhado.

A paródia é uma etapa importante, pois ali os alunos colocarão o que aprenderam de uma forma diferenciada, mas com resultados considerados positivos. A paródia é

considerada, por Machado (2015, p.12) um recurso pedagógico auxiliar na aprendizagem de conceitos e que a música está diretamente ligada com as emoções que estimulam a memória que promove o desenvolvimento de algumas habilidades que são favoráveis para uma aprendizagem significativa.

4 | CONCLUSÃO

No presente trabalho, propusemo-nos levantar a discussão sobre a dificuldades e limitações no ensino de Química, como é “mal” vista pelos alunos, aumentando assim seu desinteresse, além do tradicionalismo por parte do professor, que por sua vez, muitas das vezes não dispõem de materiais didáticos aprofundados, ou não possui uma metodologias diferenciada.

Foram feitos levantamentos bibliográficos e apresentados alguns autores que retratam a música como um meio facilitador para o ensino e que buscam transformar as aulas de Química para facilitar o aprendizado.

Foi possível notar, que ainda há a necessidade de novas metodologias e recursos didáticos para o ensino de Química, por isso, o presente trabalho traz a proposta de utilização de recurso didático para facilitar e valorizar o ensino da Química usando a música, que faz parte da vida de qualquer pessoa, em qualquer idade, como meio facilitador, fazendo de seus atributos uma maior interação Química-Música. Assim também, contribuir na formação e atuação dos professores de Química, apresentando novas perspectivas, possibilidades e recursos para o ensino em sala de aula.

Ao fim, a música e a Química, podem ser vistos como campos diferentes, no entanto, como qualquer produção humana, pode e devem-se procurar pontos de congruência buscando um melhor e mais diversificado meio de ensinar e, não menos importante, produzir ferramentas para que o aprendizado se dê de forma ativa, prazerosa e significativa.

5 | REFERÊNCIAS

BARREIRO, C. M. **Las canciones como refuerzo de lãs cuatro destrezas**, Bello, P. A. Fera et al. Didáctica de lãs segundas lengua. Estrategias y recursos básicos; Madrid; Santillena, 1990.

BEYER, E.; KEBACH, P. **Pedagogia da Música**. Editora Mediação, Porto Alegre, 2009.

BREUNING, L. G. **Habits of a Happy Brain. Retrain Your Brain to Boost Your Serotonin, Dopamine, Oxytocin, e Endorphin Levels**. Adams Media Corp. 2015.

CABRERA, W.B. **A Ludicidade para o Ensino Médio na disciplina de Biologia**: Contribuição ao processo de aprendizagem em conformidade com os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 159p, 2006.

COUTINHO, L. R. **Integrando música e química: uma proposta de ensino e aprendizagem**. Dissertação. Curitiba, 2014.

FERREIRA, F.S. da. **A relação entre química da felicidade, química do estresse, liderança, motivação e confiança organizacional**. Dissertação. ISCTE. São Paulo, 2018.

LIMA, J. O. G. **Perspectivas de novas metodologias no ensino de Química**. Revista Espaço Acadêmico, Maringá, v. 12, n. 136, p. 95-101, 2012.

MACHADO, L, A, R. **A paródia como objeto de aprendizagem**. Monografia (Especialização em Mídias na Educação, pelo Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MALDANER, O. A.; ZANON, L. B. **Situação de estudo: uma organização que extrapola a formação disciplinar em ciências**. Espaços da Escola, Ijuí, v. 1, n. 41, p. 45-60, jul./set. 2001.

MELO, T.; ASSIS, M. **Paródia Musical Como Ferramenta na Educação Ambiental Escolar**. Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência. PPGECM/UEPB, 2011. Disponível em <http://www.editorarealize.com.br/revistas/eniduepb/trabalhos/Modalidade_6datahor66a_04_10_2013_11_40_57_idinscrito_641_f471c7534abf65bbf80b18bdfd226bf9.pdf> Acesso em: 23 mar 2020.

SANTOS, S. C. **A importância do lúdico no processo ensino aprendizagem**. Monografia de especialização. UFSM, Santa Maria, 2010.

SILVA, A. M. **Proposta para tornar o ensino de Química mais atraente**. Universidade Estadual do Ceará, Universidade Federal do Ceará e Academia Cearense de Química, 2011.

SILVA, A. G. da. **Concepção de lúdico dos professores de Educação Física infantil**. Universidade estadual de Londrina. Londrina: SC, 2011.

SINEK, S. (a). **Líderes se servem por último**. HSM Educação Executiva. São Paulo, 2016.

TORRES, A.L. **Integrando música e química: uma proposta pedagógica Alternativa de aprendizagem significativa**. Dissertação. UFF. - Niterói: [s. n.], 2017.

WALLON, Henri. **As origens do caráter na criança**. Difusão Europeia do Livro, p. 99. São Paulo, 1995a.

ZAK, P. J. (2018). **The neuroscience of high-trust organizations**. Consulting Psychology Journal: Practice and Research. 70(1): 45-58. Doi: <http://dx.doi.org/10.1037/cpb0000076>.

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY MODELING IN SUCROENERGETIC MILLS STEAM GENERATION CENTERS

Data de aceite: 01/04/2022

Henrique Senna

Universidade Federal do Espírito Santo,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
<http://lattes.cnpq.br/3539101412115226>

Roque Machado de Senna

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do
Sudeste de Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0701611581056779>

ABSTRACT – The energy generation by the sugar-energy sector occurs simultaneously in the modalities: process heat, mechanical energy, electric energy for own consumption and excess, predominantly from sugarcane bagasse. It is intended the technological and economic aspects systemic approach, in order to contribute to the bioenergy definitive insertion, coming from the sugar-energy sector, as a great relevance complementary alternative, to support the Brazilian energy matrix. Considering that the 68 bar and 100 bar units yield were modeled at 38.97% and 42.80%, no doubt the steam generator system replacement could be an extreme importance procedure from the technical and economical view point, for increasing efficiency and, consequently, raising the revenues with the surplus electric energy generation, in the 25.63% to order 86,499 MWh / crop, equivalent to 15.57 million Reais, to a MWh traded at CCEE / ANEEL at R\$ 180.00, corresponding to a R\$ 15.57 million value to be added, for a 212.80 tons sugarcane bagasse processing.

KEYWORDS: Sugarcane mill modeling. Steam Generation Center. 68 bar and 100 bar Boilers. Steam Boiler Efficiency. Cogeneration.

1 | INTRODUCTION

Up until the 1970s, large hydroelectric plants were predominant due to the generating electricity low cost production due to the excellent scale factor that had a huge impact on the generating energy cost, and also due to the prohibition policies lack to the environmental impacts resulting from their activity (SANTOS, 2014).

The electric energy generation, surplus in the sugar and alcohol sector, predominantly exported to the National Interconnected System (SIN), had its discussion started a long time ago, however, even so, the quantities produced are far below their real production and export capacity (SANTOS, 2014).

On the other hand, a significant advantage for the sugar and alcohol industry associated with bioelectricity is the constant financial contribution guarantee from the energy commercialization, as opposed to the cane production seasonality to which they are subject (EPE, 2013). The electric power purchase by the sugar and alcohol plants was almost extinct when the Steam Generator (GV) operating pressure exceeded the 22bar (2.2MPa) at 300°C mark. In this technological generation, by 21Bar; 2.1

MPa to 22 Bar; 2.2 MPa, which occurred, predominantly, around the 80s, the GV efficiency did not allow to sell surplus electric power, but with amount the bagasse by 0 to 10%, it did not have enough biomass, to generate such electric energy surpluses. At that time, the sugar and ethanol mills maintained an energy balance for almost 15 years, producing and consuming for each ground cane ton, electric energy 12 kWh, mechanical energy 15 kWh and thermal energy 330 kWh in 550 kg of steam per tonne (SOSA ARNAO, 2007).

With the 45Bar (4.5 MPa) Steam Generator (GV) system introduction, which is now intermediate efficiency considered, it was possible to obtain bagasse leftovers, in quantities sufficient to supply this GV, as well as to produce electric energy, with significant commercial value. Today are considered modern, 65 Bar (6.5MPa) and 100 Bar (10 MPa) the order SG systems (SOSA ARNAO, 2007; SOUZA & AZEVEDO, 2006).

The electricity excesses are exported to the Brazilian Interconnected Electric System (SIN) by contracts used and prepared by the Brazilian Electric Energy Trading Chamber and supervised on the Brazilian Electric Energy Agency (CCEE / ANEEL), which has the electric power purchase intermediation role and sale, among the actors. The biomass plants can market their surplus to electricity distribution concessionaires for free and special electricity consumers, in accordance with Brazilian Decree N° 6,048/2007 (EPE, 2013; SOUZA & AZEVEDO, 2006; OLIVEIRA, 2013).

This work objective is to model two the existing system stands for steam generators operating at 68 bar, 510 ° C and 100 bars at 510 ° C, respectively, where their design drawings are adapted for modeling and, according to the operation reality, using real industrial data. It is the authors intention with this auxiliary study elaboration to the Productive System in the investment and technical decision making, through this technological way.

2 | METHODOLOGY

2.1 Traditional Rankine Cycle with GV-CTR-68bar

The traditional Rankine Cycle (CTR), as can be seen in figure (01), is the most widely used model to evaluate the industrial unit efficiency generating bioenergy, since this CTR is a realistic and practical model, that is in opposition to the idealized Carnot cycle. Some care should be taken when evaluating a CTR, such as energy efficiency reduction, and maintenance costs, when care with turbine feeding do not observe saturated steam, with high liquid content associated with their flowout taking into account turbine blades erosion possibility (SMITH, 2007).

In order to improve the CTR performance, after the condensation stage, it is necessary to focus on the need to completely condensate the vapor, and with this, to facilitate the saturated liquid adiabatic pumping to the boiler. It has also proved important to overheat the steam, the constant pressure in the GV, in order to increase its average temperature, the heat transfer to steam. All of these steps make it possible to increase CTR efficiency. Another

interesting procedure to increase the CTR efficiency is to insert a second heating stage for the turbine, thereby maintaining the superheated steam, raising the average turbine feed temperature, and concomitantly lowering the turbine rejected heat average temperature. Such measures make it possible to increase the CTR efficiency (SMITH, 2007).

The CTR's operating curve is shown in figure (2), where the entropy (S) on the horizontal axis, and on the vertical axis the temperature (T). When considering the areas involved it is possible to evaluate the work developed - by the heat transferred to the fluid. The following is a (01) to (08) analytical model equations based on steam tables in VAN WYLEN (2003), an applicable model for the CTR average efficiency determination [η_t (%)], as a the various phases consequence that occur, based on the first one and the thermodynamics second law, where kinetic and potential energy variations are neglected as well as the various heat losses in the various facilities equipment.

$$\eta_i (\%) = w_{liq} / q_h \quad \text{the traditional Rankine cycle yield} \quad (01)$$

$$w_{liq} = w_t - w_b \quad \text{the network = the turbine work - the pump work} \quad (02)$$

$$q_h = h_3 - h_2 \quad \text{heat supplied, boiler = enthalpy outlet-enthalpy input} \quad (03)$$

$$h_2 = h_1 + f v \cdot dp \quad \text{he boiler inlet enthalpy} \quad (04)$$

$$w_b = v \cdot (p_2 - p_1) \quad \text{the pump work + specific volume. } \Delta \text{pressure} \quad (05)$$

$$h_4 = h_{L4} + x_4 \cdot h_{LV4} \quad \text{the turbine output enthalpy} \quad (06)$$

$$w_t = h_3 - h_4 \quad \text{the turbine work=the enthalpy input-the enthalpy output} \quad (07)$$

$$S_4 = S_3 = S_{L4} + x_4 \cdot S_{LV4} \quad \text{the entropy in (3) and (4) are equal, then the title } x_4 \text{ is determined, based on the steam tables} \quad (08)$$

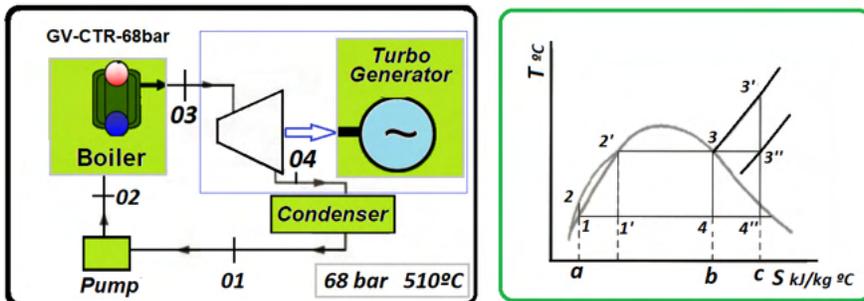


Figure 01 and 02: The traditional Rankine cycle and Entropy & Temperature Curve.

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

The GV-CTR-68bar used as a base is basically two aquatubber boilers composed, two steam turbines, operating 68 bar, 6.8 MPa, 510 ° C, as shown in figure (01), for the modeling purposes, the thermodynamic parameters, were based on available steam tables (VAN WYLEN, 2003), as well as on the data used by Abreu (2015), where the sugarcane bagasse was has considered contain 50% humidity, and 7,200 kJ / kgc (kilogram of cane) lower calorific value (CIP), the 275 kg per tonne cane bagasse content, and in addition

two condensers operating in 0.1 bar (10 kPa), two pumps used to transport the water and pressurizing the boilers. The total bagasse consumption is 212.80 tb / h, with the boiler's operation in 5,853 hours per harvest.

GV-CTR-68bar, used as a basis in this model, with simplifications, is located in the Quirinópolis, Goiás State Municipality, and is an Independent Producer and Electric Energy Self-Producer, located in the Southeast / Center-West energy submarket. It has two aquatubber boilers, each one with a 250 tons / hour flow, with two Generator Units, in a 40MW each simple thermal cycle, installed capacity totaling 80MW, authorized to operate by Ordinance No. 123 / MME / BRASIL / 2007, with the conventional energy generation concession, with the 50 MW for generation Distribution System use contract - MUSD. The internal contract plant energy consumption is 8 MW in the Peak position, 8 MW for out the tip.

2.2 Regenerative Rankine Cycle and Mixing Heater-GV-CRRAM-100bar

In this section, the methodology for the efficiency determination in the Regenerative Rankine Cycle with Mixing Heater (CRRAM), is shown in figure (03), and figure (04). In this CRRAM the steam enters the turbine through the stage (5). After expansion is extracted to the (6) state, and the steam remainder continues the expansion in the turbine to the (7) stage, and is then brought to the condenser, and from there, to make the mixture with the steam extracted from the turbine. Since the steam extracted amount is only sufficient to convert the condensate into fully saturated liquid in (3) stage, as soon as it leaves the mixing heater. At this stage end the saturated liquid is pumped to the boiler pressure (4) stage, and then the average temperature at which the fluid is supplied rises (VAN WYLEN, 2003).

The CRRAM operating curve is shown in figure (04), with the entropy (S) on the horizontal axis, and the temperature (T) on the vertical axis. When considering the areas involved it is not possible to accurately assess the heat transferred to the fluid by the work developed, since the steam part is diverted to the water heater.

In the following table, we will analyze, in an analytical way, based on steam tables (VAN WYLEN, 2003), a (09) to (20) analytical model equations to determine the CRRAM average efficiency [η_t (%)], as the several phases consequence that occur.

$$\eta_t (\%) = w_{liq} / q_h \quad \text{the CRRAM yield} \quad (09)$$

$$w_{liq} = w_t - (1 - m_t) \cdot w_{b1} - w_{b2} \quad \text{the cycle network} \quad (10)$$

$$w_{b1} = h_2 - h_1 = \int v \cdot dp \quad \text{the pump work 1} \quad (11)$$

$$h_2 = h_1 - w_{b1} \quad \text{the enthalpy 2} \quad (12)$$

$$w_{b2} = h_4 - h_3 = \int v \cdot dp \quad \text{the work pump 2} \quad (13)$$

$$\int v_{43} \cdot dp = v_{43} \cdot (p_4 - p_3) \quad \text{the pump work = the specific volume. } \Delta \text{pressure} \quad (14)$$

$$S_5 = S_6 = S_{L6} + x_{6'} \cdot S_{L'6} \quad \text{the entropy in 5 and 6 are equal} \quad (15)$$

$$h_6 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \quad \text{the enthalpy in 6} \quad (16)$$

$$S_5 = S_7 = S_{L7} + x_7 \cdot S_{LV7} \quad \text{the entropy in 5 and 7 are equal} \quad (17)$$

$$h_7 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \quad \text{the enthalpy at 7} \quad (18)$$

$$h_3 = m_1 \cdot h_6 + (1 - m_1) \cdot h_2 \quad \text{the determination fraction } m_1 \quad (19)$$

$$w_{in} = (h_5 - h_6) + (1 - m_1) \cdot (h_6 - h_7) \quad \text{the enthalpy input - the extraction output enthalpy ...} \quad (20)$$

+ input enthalpy- the enthalpy output, complementary to extraction

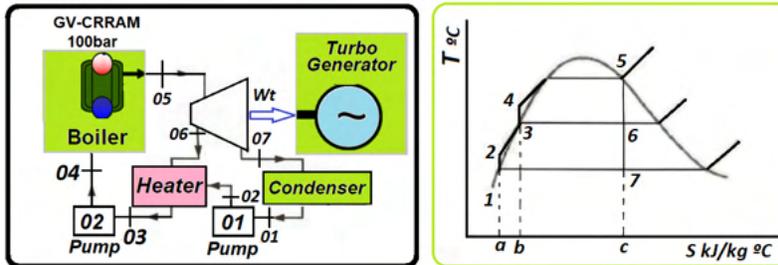


Figure 03 and 04: Regenerative Rankine Cycle with Mixing Heater and Entropy & Temperature Curve.

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Traditional Rankine Cycle in 68 bar Sucrenergic Steam Generator (GV-CTR68bar)

The thermal efficiency determination, as a base factor for the electric power production, by thermoelectric plants powered by sugarcane biomass was determined for a sugarcane industry standard, here called GV-CTR-68bar, as shown in figure (05).

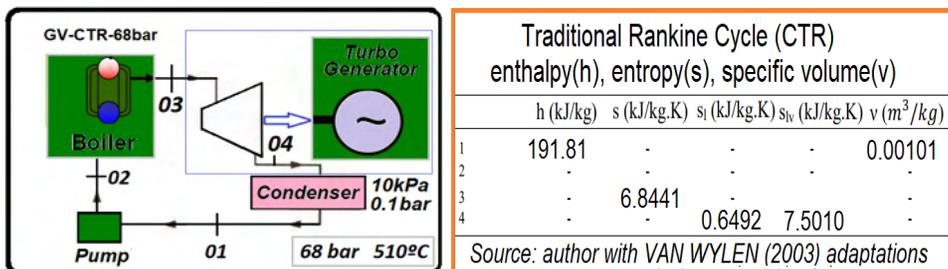


Figure 05 and 06: the GV-CTR-68bar adopted model.

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

The thermal efficiency determination, as a base factor for the electric power production, by thermoelectric plants powered by sugarcane biomass was determined for a sugarcane industry standard, here called GV-CTR-68bar, as shown in figure (05).

$$w_{liq}/q_h = 1,261.92/3,238.13 = 38.97\% \quad (21)$$

$$w_{liq} = w_t \cdot w_b = 1,268.69 \cdot 0.677 = 1,261.92 \text{ kJ/kg} \quad (22)$$

$$q_h = h_3 - h_2 = 3,436.70 - 198.57 \text{ kJ/kg} \quad (23)$$

$$h_2 = h_1 + \int v \cdot dp = 198.57 \text{ kJ/kg} \quad (24)$$

$$w_b = v \cdot (p_2 - p_1) = 6.77 \text{ kJ/kg} \quad (25)$$

$$h_4 = h_{L4} + x_4 \cdot h_{LV4} = 2,168.01 \text{ kJ/kg} \quad (26)$$

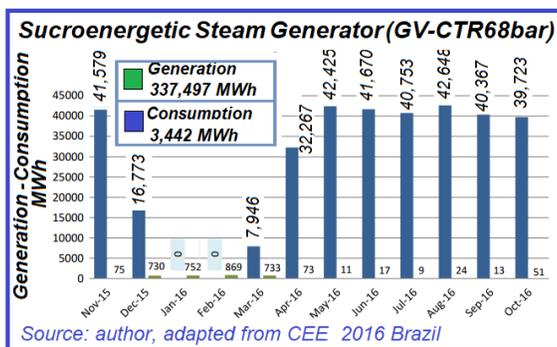
$$w_t = h_3 - h_4 = 1,268.69 \text{ kJ/kg} \quad (27)$$

$$S_4 = S_3 = S_{L4} + x_4 \cdot S_{LV4} = 6.8441 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (28)$$

$$x_4 = 0.8259 \quad (29)$$

The GV-CTR-68bar, used as a basis in this model, with simplifications, had a performance in the excess electricity exported / imported in the SIN, the 2016 harvest, as shown in figure 07.

Figure 07 Electricity Excess exported / imported in SIN, 2016 harvest GV-CTR-68bar, LT 138 kV / UTE Boa Vista - SE Quirinópolis - GO.



The UTE Boa Vista energy consumption is, as from 2017, under a free contracting regime, belonging to Group A, Subgroup A2, Blue Rate Modality, with the seasonality benefit. It has a 38.9 MW Physical Guarantee for the year 2016. (DE ABREU, 2015; CCEE, 2016).

3.2 Regenerative Rankine Cycle with 100 bar Sucroenergetic Plant Steam Generator and Mixer Heater (GV-CRRAM 100bar)

Shows up in the figure (08), the GV-CRRAM system 100 bar simplified structure, and figure (09), the parameters obtained from the steam tables, to obtain the theoretical efficiency, as shown in equations (28) to (40). Shows up in the figure 10 the excess electricity exported and imported balance in the SIN, 2016 harvest, by the UTE Boa Vista, whose is GV-CRR 100 bar generation system, which supplies the 138 kV (138 kV) electricity transmission line from UTE Boa Vista up to Electrical Substation (SE) Quirinópolis – GO (DE ABREU, 2015; CCEE, 2016).

The thermal efficiency improvement, shown in equations (19) and (28) from 38.97%

to 42.80%, was the base factor for the increase in the surplus electric energy production, as shown in figure (10). It is observed that despite a seemingly low 2.756% efficiency increase $[(1.4280 / 1.3897 - 1) \cdot 100]$, an enormous surplus energy amount was generated, in the 86,499 MWh amount, representing 25.63%, reflecting the efficiency improvement that affects all the biomass used, and the surplus electric energy generation, occurs only after meeting the energy Plant demands.

The total annual generation, after updating to GV-CRRR 100 bar, resulted in 434,868 MWh, and considering net generation, including own consumption and the basic grid losses, resulted in 423,996 MWh. In order to adjust the new generation configuration due to this net generation increase, an amount to 9.87 MW in the Physical Guarantee was added to the existing 38.9 MW, totaling 48.77 MW. The proposed changes did not significantly affect the unit's own electricity consumption, and for this reason it was not considered for modeling purposes. It is important to note that UTE Boa Vista will use the same biomass amounts in the current steam generator.

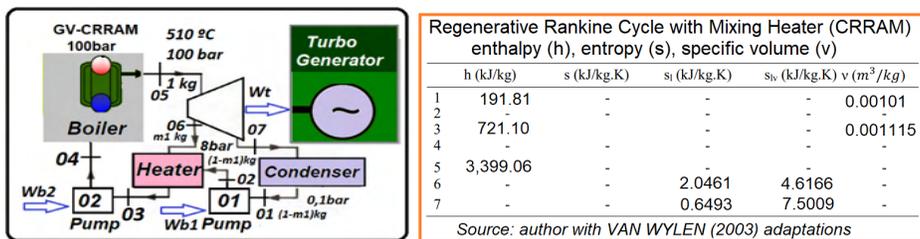


Figure 08 and 09 the GV-CRRAM 100bar, and values extracted from the steam tables.

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

For the Rankine Thermal Cycle GV-CRRAM modality the efficiency calculation, as described in (2.2), was found the value of η_t (%) = 42.80%, being:

$$\eta_t (\%) = w_{liq} / q_h \quad 1,141.76 / 2,667.70 = 42.80 \% \quad (30)$$

$$w_{liq} = w_{1-} \cdot (1 - m_1) \cdot w_{b1-} - w_{b2} \quad 1,141.76 \text{ kJ/kg} \quad (31)$$

$$w_{b1} = h_2 - h_1 = \int v \cdot dp \quad 0.00101(800 - 10) = 0.80 \text{ kJ/kg} \quad (32)$$

$$w_{b2} = h_4 - h_3 = \int v \cdot dp \quad 0.001115(10,000 - 800) = 10.26 \text{ kJ/kg} \quad (33)$$

$$h_4 = h_3 - w_{b2} \quad 721.10 - (-10.26) = 731.36 \text{ kJ/kg} \quad (34)$$

$$S_5 = S_6 = S_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \quad 6.6284 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (35)$$

$$h_6 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \quad 721.10 + 0.9832(2048) = 2,734.69 \text{ kJ/kg} \quad (36)$$

$$S_5 = S_7 = S_{L7} + x_7 \cdot S_{LV7} \quad 6,6284 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (37)$$

$$h_7 = h_{L7} + x_7 \cdot S_{LV7} \quad 191.81 + 0.8051(2392.80) = 2,118.25 \text{ kJ/kg} \quad (38)$$

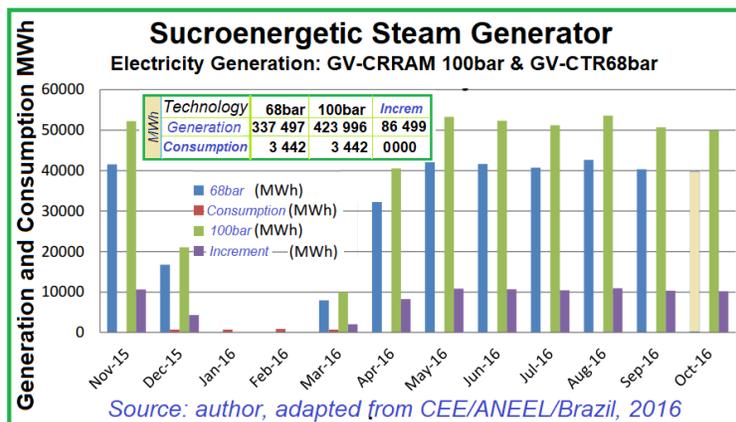
$$h_3 = m_1 \cdot h_6 + (1 - m_1) \cdot h_2 \quad m_1 = 0.2079 \quad (39)$$

$$w_{t_1} = \frac{(h_5 - h_6) \cdot (1 - m_1)}{(h_6 - h_7)} = 1,152.65 \text{ kJ/kg} \quad (40)$$

$$x_6 = 0.9832 \quad (41)$$

$$x_7 = 0.8051 \quad (42)$$

Figure (10) Annual balance, Electric Energy Surplus exported / imported in SIN, GV-CTR-68bar & GV-CTR100bar, 2016 harvest, 138 kV LT / UTE Boa Vista - Quirinópolis - GO.



4 | CONCLUSIONS

Considering the technical aspects, the steam generator modernization is an extreme importance requirement, as shown in the model presented for the GV-CTR-68bar system by GV-CTR100bar system, where an 2.756% efficiency increase the electricity surplus amount was 25.63%, or 86,499 MWh / harvest, equivalent to R\$ 15.57 million, for the MWh sold at CCEE at R\$ 180.00 / MWh. The biomass amount for the system operation was 212.80 ton / h (sugarcane bagasse tons per hour). The 68 bar and 100 bars units' yields were modeled with 38.97% and 42.80% efficiency. When assessing the economic and financial aspects, other issues can be considered, such as the necessary cost for the appropriate substitutions, according to the different technologies systems, since more current technologies may have non-linear costs for substitution and, therefore, the analysis should be taking this question into account.

REFERENCES

ANEEL/EPE-DPG-SGB-BIOS; **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto NT-02-2016** Data: 16 de setembro de 2016.

DE ABREU, D. I. P. **Memorial Descritivo UTE Boa Vista - Central Geradora Termelétrica**. Nukleon. Piracicaba, p. 16. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, PDE, 2022, **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013.

OLIVEIRA, C. A., **Cogeração a partir do Bagaço da Cana de Açúcar: Histórico, Situação Atual e Perspectivas para o Setor. Monografia**, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucroenergético MTA, 2013, Sertãozinho, SP.

SANTOS, R. D. D. **O Uso da Biomassa da Cana de Açúcar para Cogeração e Produção de Energia Elétrica: Análise Termodinâmica, Termo-econômica e Econômica**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. 7^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SOSA ARNAO, J. H, **Caldeiras Aquatubulares de Bagaço – Estudo do Sistema de Recuperação e Energia**, Tese de Doutorado, Unicamp, 2007.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F., **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas**, Rev. Econ. Sociol. Rural vol.44 n°.2 Brasília, 2006, ISSN 0103-2003.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO **Protocolo de Kyoto e co-geração no meio rural: configuração institucional e organizacional e perspectivas**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. *Proceedings online...*, P. F. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200036&lng=en&nrm=abn>. Acess on: 18 Mar. 2017.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentals of Thermodynamics**. 6. ed. [S.l.]: Wiley, 2003.

NECRÓPOLIS BRASILEÑAS (CEMENTERIOS): IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES GENERADOS POR LOS RESIDUOS DE LAS ACTIVIDADES DEL CEMENTERIO Y LA AMENAZA INMINENTE PARA LA SALUD PÚBLICA

Data de aceite: 01/04/2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

PhD in Chemistry from the Federal University
of Uberlândia

Post-doctorate in Chemistry at the Federal
University of Uberlândia

<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

Valdinei de Oliveira Santos

Specialist in Environmental Education, by the
Institute of Education and Higher Education in
Samambaia

Teacher at Dom Eliseu State School – Unai/MG

<http://lattes.cnpq.br/5877647086852971>

<http://orcid.org/0000-0002-3400-0143>

RESUMEN: Los primeros cementerios se construyeron bajo tierra o al pie de los templos religiosos por ser considerados lugares sagrados, a partir del siglo XVIII, con el advenimiento de enfermedades como el cólera y la peste bubónica, surgió la necesidad de crear necrópolis alejadas de zonas urbanas. Sin embargo, la falta de planificación urbana y de interés público provocó una nueva centralización de los cementerios debido a la ausencia de planificación urbana en los municipios brasileños. Desde la creación de la primera legislación, Resolución n° Consciente de que la mayoría de los cementerios en los municipios brasileños existen desde hace más de 60 años, el gobierno municipal debe adoptar medidas paliativas para minimizar la generación de residuos y la adopción de prácticas funerarias

con menor riesgo de contaminación ambiental. Ante ello, numerosos estudios señalan a las necrópolis como un lugar de enorme potencial de contaminación ambiental por los residuos que generan, que pueden ser: *i)* líquidos (necrocero y agua para limpieza de tumbas); *ii)* sólidos (velas, flores artificiales y naturales, materiales de construcción, huesos, etc.) y gaseosos (desprendimiento de gases por actividades de putrefacción cadavérica). En ese contexto, este trabajo tuvo como objetivo revisar el estado del arte sobre el tema en los últimos cuatro años (2018-2021) y presentar algunas sugerencias para acciones mitigadoras, tales como: *i)* una mejor gestión de los residuos; *ii)* monitoreo de la calidad del agua y del suelo; *iii)* implantar crematorios en los cementerios existentes; y *iv)* construcción de nuevos cementerios de acuerdo con la legislación vigente. La literatura actual señala las actividades de los cementerios como un gran problema de salud pública que demanda la necesidad de tratar con mayor responsabilidad las actividades de los cementerios y la necesidad de reformular la legislación y establecer políticas públicas dirigidas a las actividades de los cementerios.

PALABRAS CLAVE: Crematorios, necrochorum, necrópolis, contaminación ambiental y salud pública.

BRAZILIAN NECROPOLIS (CEMETERIES): POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACTS GENERATED BY WASTE FROM CEMETERIAL ACTIVITIES AND THE IMPENDING THREAT TO PUBLIC HEALTH

ABSTRACT: The first cemeteries were built underground or at the bottom of religious temples because they were considered sacred places, from the 18th century onwards, with the advent of diseases such as cholera and the bubonic plague, there was a need to create necropolises away from urban areas. . However, the lack of urban planning and public interest caused a new centralization of cemeteries due to the absence of urban planning in Brazilian municipalities. From the creation of the first legislation, Resolution no. Aware that most cemeteries in Brazilian municipalities have existed for more than 60 years, palliative measures should be adopted by the municipal government in order to minimize the generation of waste and the adoption of funeral practices with less risk of environmental contamination. In view of this, numerous studies point to necropolises as a place of enormous potential for environmental pollution due to their generated waste, which can be: *i*) liquids (necrochorum and water for cleaning graves); *ii*) solid (candles, artificial and natural flowers, construction materials, bones, etc.) and gaseous (gas release from cadaveric putrefaction activities). In this context, this work aimed to review the state of the art on the subject in the last four years (2018-2021) and present some suggestions for mitigating actions, such as: *i*) better waste management; *ii*) monitoring of water and soil quality; *iii*) implant crematoria in existing cemeteries; and *iv*) construction of new cemeteries in accordance with current legislation. Current literature points out cemetery activities as a huge public health problem that demands the need to treat cemetery activities with greater responsibility and the need to reformulate legislation and establish public policies aimed at cemetery activities.

KEYWORDS: Crematoria, necrochorume, necropolis, environmental pollution and public health.

1 | INTRODUCTION AND JUSTIFICATION

In Brazil, basic sanitation works (water and sewage treatment, garbage collection, sweeping of places and public roads, sanitary landfills and cemeteries) have always been ignored and/or left aside under the slogan “work underground does not win”. vote, because nobody sees” associated with society’s view that if the garbage is not in the house itself, it can be and/or be discarded anywhere and in any way. The combination of these ways of looking at the chronic problem of sanitation in Brazil means that political representatives do not approve public policies to improve and increase the efficiency of basic sanitation services (CAUDURO; MULLER; RICARDO, 2019; FERNANDES, 2021; SILVA et al. al., 2021; SOUZA; CAVALCANTE, 2020). In this context, cemetery activities are the least understood by both the population and government officials due to the lack of scientific dissemination by the mass media. In addition, the religious issue in relation to the cult and the belief that the body is a temple that hosts the soul created by the superior deity and/or that can be reconstituted at any time by the deity contributes greatly to the maintenance of mismanagement and necropolises (BORDA et al., 2020; FEITOSA; CAMPOS; BANDEIRA,

2020; SILVA, et al., 2021). It is known that necropolises constitute a source with enormous potential for environmental impact that can result in public health problems, since almost 70% of diseases are transmitted through the ingestion of contaminated water (LONGATTI; SANTOS; PERON, 2020; NOBRE; CALIXTO, 2019). Although there is already legislation (CONAMA Resolution 368 of 2006) which establishes the obligation of environmental licensing for works aimed at the construction of new cemeteries, the political interest of not generating burdens with this activity and under the allegation of the lack of specialist professionals to design a project that is ecologically more sustainable and does not pose risks to both public health and the environment (FERREIRA; AQUINO; CORDEIRO, 2020; NASCIMENTO; SENHORAS; FALCÃO, 2018; RAIOL; OLIVA, 2019).

The literature presents numerous works (BORDA et al., 2020; COSTA; SILVA; ANTUNES, 2020; HERRERA et al., 2021; LONGATTI; SANTOS; PERON, 2020; SILVA, F. et al., 2021) that present studies of cases in municipalities in all regions of the country, which show the dimension of the problem faced within the municipalities, which further procasts a problem that only increases with the passage of time. Among the studies reported, there are: *i*) breeding sites for the proliferation of the *Aedes Aegypti* mosquito, responsible for the transmission of dengue, zika and chikungunya (NASCIMENTO; SENHORAS; FALCÃO, 2018); *ii*) generation of numerous solid wastes (flowers, candles, construction materials, bones, vegetables from pruning and weeding, abandoned graves, among others) (NASCIMENTO; SENHORAS; FALCÃO, 2018; SOUZA; CAVALCANTE, 2020); *iii*) liquid waste (necrochorum, wastewater from the cleaning of tombs and access roads inside the necropolis) (ARAÚJO et al., 2020; FERREIRA et al., 2021; XAVIER et al., 2018); *iv*) leaching of heavy metals, toxic substances, organic compounds, increased concentration of nitrogen and phosphorus, among others (SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018; SILVA et al., 2021); *v*) release of cadaveric gases [hydrogen sulphide (H_2S), mercaptans, methane gas (CH_4) among others] from inside damaged tombs or during the removal of mortal remains (FERREIRA et al., 2021; LINS, E.; LINS, A.; LINS, C., 2019); *vi*) breeding of insects capable of proliferating diseases (flies, mosquitoes and cockroaches), venomous animals (spiders and scorpions), rodents (mice), birds (pigeons, vultures and others) and microorganisms with pathogenic properties (viruses and bacteria) (MOREIRA et al., 2021; SILVA et al., 2021).

In the recent literature (2017-2021), no work was found that addressed the issue at the national level, that showed the maintenance and/or increase of the problem even in the face of the most current legislation (CONAMA Resolution 368 of 2006) and that presented the main problems triggered in the social and environmental scope due to the negligence of municipal public managers throughout the national territory. In addition, this work intends to contribute to reduce the existing gap in relation to the different aspects that are involved in cemetery activities.

The present work aims to present and discuss the main problems generated by the lack and/or mismanagement of cemetery activities, highlighting the social, cultural,

environmental and public health aspects that can be generated by the inefficiency of the management of necropolises.

2 | ORIGIN AND HISTORY OF CEMETERIES

The terminology of the word cemetery has its origin from the Greek word “*koumeterian*” which means “where I sleep”. From the origin of Christianity, the term was replaced and came to be called “post-mortem resting place”, which assigns meaning to places and spaces destined to bury deceased people, corpses, which means “flesh given to worms” (COSTA; SILVA; ANTUNES, 2020; FERREIRA; AQUINO; CORDEIRO, 2020; NOBRE; CALIXTO, 2019). Depending on the municipality and region, the name cemetery receives other denominations, such as: sheep, holy field, necropolis and sepulchry. In addition, it receives some nicknames: the city of feet together or the famous last address (ARAÚJO et al., 2020; BAUM et al., 2020; FEITOSA; CAMPOS; BANDEIRA, 2020; SOUZA; CAVALCANTE, 2020).

The act of burial has been taking place for millennia, as it is characterized as an act of keeping the living closer to their loved ones who have died. In the Neolithic period (from 10,000 to 3,000 a. C.) corpses were placed in natural caves and closed with a rock. However, in the Christian period there are two biblical accounts of the use of the cave as a tomb. The first in the Gospel of John chapter 11 and verses 38 to 45 is the account that Jesus went to the place where the body of Lazarus was and raised it. The second, in chapter 20 and verses 1 to 10, refers to the burial and resurrection of Christ himself also in a cave (FERREIRA et al., 2021; MOREIRA et al., 2021; SILVA et al., 2021).

In the Middle Ages (from the 5th to the 15th century) the dead were thrown/left/abandoned in open places which caused the spread of many pathogenic microorganisms from the bodies. In the 18th century, from the knowledge of various diseases such as cholera and bubonic plague, cemeteries emerged as an alternative to move the dead away from the living, providing a better quality of life in urban centers. However, this practice will reveal that cemeteries are places with enormous potential for pollution and that they need to evaluate future areas, based on technical studies that assess the: *i*) geographic aspects (location, soil type, water table depth and slope of the terrain); *ii*) social (type of burial, construction of residences around the cemetery area); *iii*) environmental (form of burial, water and soil contamination, generation and disposal of solid waste) and; *iv*) cultural and religious (the generation of waste, breeding sites for the *Aedes Aegypti* mosquito, establishment of crematoria for final disposal of cadaveric remains and cemeteries only with cremation) (FERREIRA; AQUINO; CORDEIRO, 2020; SOUZA; CAVALCANTE, 2020). This work will be limited to presenting and discussing social and environmental aspects in the national context.

3 | SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS AROUND A CEMETERIAL ACTIVITY

In Brazil, a mostly Christian country, people do not evaluate death from the perspective of a natural process of the condition of their own existence, implying the generation of affective bonds that prevent many people from understanding the process of death and nourishing hope under the belief that one day everyone will be resurrected “bringing life to one who has already died and decayed” which is based on two in the Gospel of John: the resurrection of Lazarus and of Christ himself. In this sense, many people venerate their dead ones through the construction and maintenance of tombs, periodic visits and the national holiday dedicated to the veneration of the dead (day of the dead) destined, essentially, for this purpose.

3.1 Social aspects: social inequality within a cemetery

Brazil constitutes a country where social inequality is structural and institutional in any segment of society, like a cemetery in which inequality is seen by the graves or by the way of burying someone. During the pandemic period (2020-2021) in Brazil this can be observed by different media that alerted or denounced the neglect with the bodies of people who died due to the worsening of the COVID-19.

In the state of São Paulo and especially in the city of São Paulo and a wider region, the Vila Formosa cemetery is the largest necropolis in Latin America both in terms of number of buried bodies (more than 1.5 million) and in size (763175 m²), being used for burials, mainly of people from the poorest classes (C, D and E) as shown in Figure 1.



Figure 1: Aerial view of the Vila Formosa cemetery in the city of São Paulo/SP.

Source: Authors' collection (2022).

The Vila Formosa cemetery, during the pandemic, opened shallow graves close to the ground and without any preparation to receive those killed by COVID-19. However, the bodies were thrown into a ditch opened by tractors and buried by earth or placed close to the ground and covered by earth, as shown in Figure 2.



Figure 2: forms of burial at the Vila Formosa cemetery in the City of São Paulo before, during and after the pandemic period in Brazil.

Source: Authors' collection (2022).

These and other images were featured on the front page of the renowned American newspaper The Washington Post, gaining recognition both in Brazil and abroad. The Vila Formosa cemetery is already the second largest cemetery in the world, second only to the Islamic necropolis Wadi-us Salaam in Iraq, which has more than five million people buried and has been in existence for 1400 years (NOBRE; CALIXTO, 2019; OLIVEIRA, 2019). Cemetery activities constitute a “public service”, within the scope of municipalities, where social inequality is most often seen, which manifests itself in various ways within a cemetery, such as: *i*) type of grave (inhumation or tombstone); *ii*) the style and size of the tomb; *iii*) the location of the pit; *iv*) whether or not it is cleaned with due frequency, among others. Therefore, cemeteries are a “portrait” of the worst ills within a city and are characterized as a favela (NASCIMENTO; SENHORAS; FALCÃO, 2018; RAIOL; OLIVA,

2019; SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018). Upon completing a period of ten years from the date of burial, the exhumation of bodies and the transfer of mortal remains to drawers takes place, as shown in Figure 3 of the Vila Formosa cemetery.



Figure 3: process of exhuming remains buried more than 10 years ago; (b) drawers intended to receive the mortal remains at the Vila Formosa cemetery in São Paulo.

Source: Authors' collection (2022).

Others can be seen as a cemetery area and with high visibility that can cause environmental problems from other areas of relevance that can be generated as the potential for environmental impact that can constitute such environments in future public health problems.

3.2 Environmental aspects: sources of contamination, interference with solid and liquid waste and the real threat to the public health of the population

In Brazil, despite the existence of legislation (CONAMA Resolution 368 of 2006) that recognizes the numerous environmental impacts arising from cemetery activities and, consequently, requires environmental licensing based on Environmental Impact Studies (EIA) and Environmental Impact Report (RIMA) for the construction of new ventures for this purpose (FERREIRA; AQUINO; CORDEIRO, 2020; NASCIMENTO; SENHORA; FALCÃO, 2018; RAIOL; OLIVA, 2019). However, the lack of interest by the municipal public power both in improving the operating conditions of existing cemeteries, as well as in the construction of new ventures in line with current legislation and that have a good solid waste management plan. In addition, cemetery activities are not treated with due importance in relation to the enormous potential for environmental impact, constituting one of the main sources of contamination in urban perimeters in cities and which acts silently and almost imperceptibly by society, which can cause: *i)* the diversity of solid, liquid and gaseous waste; *ii)* the release of microorganisms with pathogenic potential that reach subsoil waters; *iii)*

the production of necrochorume; *iv*) the release of toxic and heavy metals from bodies in a state of putrefaction and; *v*) leaching of organic and inorganic substances that reach groundwater, among others (CECCONELLO; CENTENO; SIQUEIRA, 2019; FERNANDES, 2021; MOREIRA et al., 2021; SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018).

Chemical pollution starts from the decomposition of corpses by microorganisms present in the body itself, as well as others generated by the anaerobic environment established by the graves in the form of shallow open pits and without proper soil waterproofing, in disagreement with the legislation in force (CONAMA Resolution No. 368 of 2006). Once the decomposition process is initiated, substances with a strong unpleasant odor are produced, namely the amines cadaverine and putrescine. The first comes from the decarboxylation reaction of lysine by the action of the decarboxylase enzyme. Putrescine, on the other hand, is generated by the decarboxylation of the non-essential amino acid ornithine and produced by the body itself from arginine, according to the reactions shown in Figure 4.

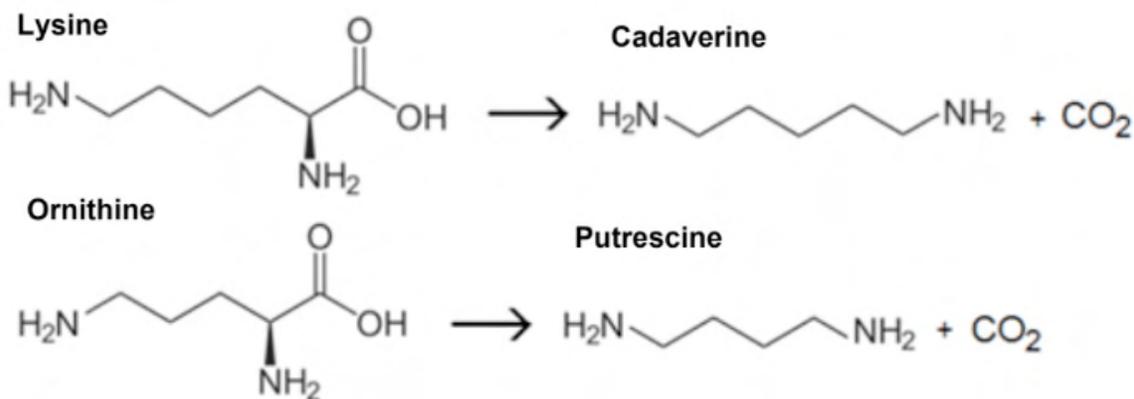


Figure 4: production of cadaverine and putrescine amines from amino acids. Lysine and Ornithine.

Source: Authors' collection (2022).

According to the decarboxylation of the amino acids Lysine and Ornithine that produce, respectively, the amines Cadaverine and Putrescine that have amine groups (-NH₂) at the end of both molecules. These groups are responsible for the nauseating and unpleasant odor exhaled by the tombs and which are commonly felt in the carcasses of dead animals. In living organisms, the presence of these amines in higher concentration may be indicative of failures in the metabolism of amino acids (FERREIRA et al., 2021; LONGATTI; SANTOS; PERON, 2021; NASCIMENTO; SAM, 2022).

Toxic and heavy metals (density ≥ 5.0 g/mL), in the ionic form, generate greater concern due to their high mobility in soil and in surface and groundwater due to the soil

leaching process, with ions being most commonly found: Cd^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} and Fe^{6+} , Al^{3+} and Zn^{2+} . In addition, metals have the property of accumulating along the entire food chain and are present in high concentrations as humans occupy the penultimate trophic level of any food chain, making corpses one of the largest sources of contamination by metal ions (ARAÚJO et al., 2020; LINS, E.; LINS, A.; LINS, C., 2019; RAIOL; OLIVA, 2019; SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018). Other substances of an inorganic nature are found in concentrations above that established by legislation, both in surface and underground waters, as well as in the soil nearby and inside the cemeteries, among the substances we can highlight: *i*) ions from salts present in cadavers (Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , NO_3^-), which can influence electrical conductivity, alkalinity and soil hardness in underground and surface waters; *ii*) increase in the concentration of nitrogen and phosphorus, resulting from the decomposition of amino acids and proteins, which can cause an increase in nutrients in the soil and the proliferation of undesirable plant species and the eutrophication of aquatic bodies that can harm the entire aquatic biota; *iii*) generation of substances that intensify odor in cemeteries such as H_2S (hydrogen sulphide), CH_4 (methane gas) and CO_2 (carbon dioxide) (NACIMENTO; SENHORAS; FALCÃO, 2018; RAIOL; OLIVA, 2019; SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018).

The necrochorume is a slurry, viscous, cloudy, grayish-brown liquid, with acrid and fetid odors; consisting of 60% water, 30% mineral salts and 10% degradable organic substances. In addition, it is a liquid with a density greater than that of water (1.23 g/mL) and has a high Biochemical Oxygen Demand (BOD) from cadaveric decomposition (ARAÚJO et al., 2020; BAUM et al., 2020; FERREIRA; AQUINO; CORDEIRO, 2020; LONGATTI; SANTOS; PERON, 2020; OLIVEIRA, 2019). This liquid is produced from the process of putrefaction of corpses and, mainly, during the first year of burial and presents numerous microorganisms, such as: bacteria that degrade organic matter (heterotrophic bacteria), proteins (proteolytic bacteria), of lipids (lipolytic bacteria) and those excreted by corpses, including: *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella e Citrobacter*, *Streptococcus faecalis*; *Clostridium perfringes e Clostridium welchii* (CECCONELLO; CENTENO; SIQUEIRA, 2019; COSTA; SILVA; ANTUNES, 2020; FERREIRA et al., 2021; MOREIRA et al., 2021; SILVA et al., 2021).

Solid waste constitutes the largest composition of waste generated in cemetery activities, including: *i*) leaves and tree branches; *ii*) candles and artificial plants; *iii*) remains of construction materials; *iv*) fragments of clothing, objects and bones of corpses during the exhumation of bodies, among others. These wastes are collected and sent for final disposal in areas that are mostly unsuitable for disposal, such as dumps or nearby urban locations. The remains are disposed of in ditches or ossuaries that occupy increasingly larger spaces in the cemetery perimeter, since there are no crematoria in almost all of the numerous necropolises present in Brazilian municipalities (ARAÚJO et al., 2020; FEITOSA; CAMPOS; BANDEIRA, 2020; NOBRE; CALIXTO, 2019; SILVA; CAMPOS; CUNHA, 2018).

Given this context, there is a need to implement actions that minimize the numerous environmental impacts to the soil and surface and groundwater that are responsible for the transmission of more than 70% of disease transmitters through the water environment and cause numerous diseases that afflict the health of the population. . The need to create public policies aimed at improving the infrastructure of cemeteries with financial support from state and federal governments. In addition, the implementation of crematoria that can be built and managed through a consortium between municipalities, especially those with smaller populations and lower revenue.

4 | CONCLUSIONS

Cemetery activities implemented and managed in all Brazilian municipalities urgently need to be treated as a public policy project aimed at sanitation and public health, since the necropolises have a high environmental impact capacity.

The municipal public power needs to assume responsibility for the implementation of palliative actions in order to minimize the conditions that favor the environmental impact. In addition, the new cemeteries need to be built respecting the technical criteria and the environmental legislation in force at the time of the implementation of new projects aimed at this purpose.

The Ministry of the Environment, through CONAMA, needs to propose to the National Congress the reformulation of the legislation in force (Resolution no. 368 of 2006) in order to establish more rigorous criteria and broader and more diversified studies in order to implement areas destined for cemetery activities.

Municipal managers need to create committees in order to establish a solid waste management plan from necropolises in accordance with the National Solid Waste Policy (PNRS) implemented by Law No. 12,305 of 08/02/2010. In addition, the creation of an inter-municipal consortium in order to build a crematorium for common use, in order to contribute to the reduction of bones exhumed or disposed in the drawers. Municipalities need to create environmental awareness actions in order to show the population that certain practices of worship and veneration of the tomb can directly or indirectly impact negatively on public health.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, T. M. et al. Factors associated with soil contamination: Decomposition, treatment of corpses and funerary materials. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p.18145-18157, 2020. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n6-213>

BAUM, C. A. et al. Influence of cemeteries on groundwater contamination by phenolic compounds. **Journal of Environmental Sciences**, v. 14, n. 3, p. 39-48, 2020. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v14i.6211>

BORDA, W. F. et al. Environmental analysis of the area of a necropolis in Frederico Westphalen – RS. **Environmental Monographs Magazine**, v. 19, e10, 2020. <https://doi.org/10.5902/2236130843074>

CAUDURO, F.; MULLER, C. R.; RICARDO, G. S. The problem of Brazilian cemeteries and the environment – Case Studies. **Holos Environment**, v. 19, n.4, p. 515-527, 2019. <http://dx.doi.org/10.1495/holos.v.19i4.12341>

CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N.; SIQUEIRA, T. M. The necropolises and their environmental impacts: A case study of the São Lucas cemetery, Pelotas/RS. **Environmental Management and Sustainability Magazine**, v. 8, n.4, p. 110-130, 2019.

COSTA, L. A.; SILVA, P. A.; ANTUNES, P. A. Analysis of cemetery activity on water quality in Presidente Prudente-SP. **Geosul**, v. 35, n. 76, p. 298-325, 2020. <http://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p298>

FEITOSA, J. F. F.; CAMPOS, T. I. L.; BANDEIRA, J. S. Environmental management of cemeteries: a literature review and research suggestion. **Santa Catarina Environmental Act**, v. 17, n.1, 2020. <https://dx.doi.org/10.24021/raac.v17i1.5333>

FERNANDES, D. A. Public policies and their adequacy to environmental law aimed at cemeteries. **Law Magazine**, v.13, n.3, 2021. <https://doi.org/10.3236.1/2021130313284>

FERREIRA, A. S.; AQUINO, R. M.; CORDEIRO, J. Characterization of the public vertical bioinsurance cemetery located in the municipality of Santa Bárbara (Minas Gerais). **Research, Society and Development**, v.9, n.3, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2427>

FERREIRA, T. C. et al. Analysis of impacts and damage potential of the composition and percolation of necrochorume in the soil. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.3, p. 25094-25112, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-287>

HERRERA, A. E. et al. Parasitological analysis of feces and soil samples from a cemetery in a city in the interior of the state of São Paulo. **Prospectus**, v. 3, n. 2, p. 98-108, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5834313>

LINS, E. A. M.; LINS, A. S. B. M.; LINS, C. M.M. S. Negative environmental impacts generated by cemetery: Case Study. **International Journal of Advanced Science and Research**, v. 4, p. 16-19, 2019.

LONGATTI, C. A.; SANTOS, G. B.; PERON, K. C. Solutions for the environmentally correct disposal of necrochorume. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.4,p.18377- 18348, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-127>

MOREIRA, M. L et al. Environmental management in cemeteries: a case study in two cemeteries in the city of Pelotas (RS). **Magazine in Agribusiness and Environment**, v.14, Supl.2, 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.2.e9137>

NASCIMENTO, F. L.; SENHORAS, E. M. Comparative environmental analysis of urban cemeteries and sanitary landfills. **BOCA Newsletter**, v. 9, n. 25, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5832139>

NASCIMENTO, F. L.; SENHORAS, E. M.; FALCÃO, M. T. Necroples and the environmental impacts: municipal public cemetery, Boa Vista –RR. **Baru**, v. 4, n. 2, p. 236-256, 2018. <https://doi.org/10.18224/baru.v4i2.687>

NOBRE, M. D. S.; CALIXTO, A. I. The perception of the residents of Bairro do Socorro about the cemetery and its implications for sustainability. **Brazilian Journal of Scientific Management**, v.10, n.1, p.101-116, 2019. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-684X.2019.001.0009>

OLIVEIRA, C. S. Sustainability in the complexity of horizontal cemeteries – the role of critical environmental education. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 6, p. 808-1839, 2019.

RAIOL, P. D.; OLIVA, P. C. Environmental study of the Vila de São Joaquim do Ituquara cemetery (Pará, Brazil). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 30193-30207, 2019. <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n12-150>

SILVA, F. C. et al. Analysis of Trace Metals in Unsaturated Zone in Cemetery Soils. **Ibero-American Journal of Humanities, Sciences and Education**, v. 7, n.5, 2021. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i5.1172>

SILVA, M. B. S. et al. Vulnerability and socio-environmental implications: A case study in the Cemitério do Tapanã, Belém -PA. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.4, p. 39923-39932, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-450>

SILVA, R. B. P.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Potential for soil contamination resulting from cemetery activity. **Ibero-American Journal of Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018002.0001>

SILVA, R. B. P. et al. Physical and chemical attributes of soils in cemeteries in the Amazon, Brazil. **Valore Magazine**, v. 6, e-6004, 2021.

SOUZA, M. R. R.; CAVALCANTE, K. L. Study of compliance with environmental legislation in a cemetery in the city of Senhor do Bonfim-BA. **Id on Live Multidisciplinary and Psychology Journal**, v. 14, n.50, p. 1-13. <https://doi.org/10.14295/online.v14i50.2403>

XAVIER, F. V. et al. Use of vertical electrical sounding integrated with chemical and microbiological analyzes in the preliminary diagnosis of soil and groundwater contamination in the municipal cemetery of the city of Rio Claro (SP). **Environmental Sanitary Engineering**, v. 23, n.2, p. 333-344, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522018152375>

PEDRA-POMES COMO ADSORVENTE PARA METAIS PESADOS PRESENTES EM EFLUENTES GALVÂNICOS: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/04/2022

Gabriela Raspante de Oliveira

Sandra Matias Damasceno

RESUMO: Metais pesados oriundos do processo de galvanoplastia geram impacto de longo prazo no ambiente e oferecem riscos potenciais à saúde. Alguns desses metais ocorrem no ambiente provenientes de diferentes atividades naturais e antropogênicas. O processo de galvanoplastia é responsável pelo descarte de metais como cromo, níquel e zinco e outros resíduos do processo em meios aquosos. O processo de adsorção tem se mostrado eficiente, simples e barato para o tratamento de águas contaminadas por metais pesados. A pedra-pomes apresenta propriedades como alta área superficial, alta porosidade e grupos superficiais que a tornam um adsorvente atraente e promissor para metais pesados como cromo, níquel e zinco. O objetivo desse estudo foi a revisão na literatura científica sobre a pedra-pomes como adsorvente para metais pesados em efluentes galvânicos.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção; pedra-pomes; galvanoplastia; metais pesados; púmice.

1 | INTRODUÇÃO

A atividade industrial é responsável por grande parte da emissão de poluentes que alteram negativamente as características dos corpos d'água receptores. Íons metálicos

são exemplos de contaminantes gerados em processos industriais, como galvanoplastia, curtimento de couro, preservação de madeira, produção de tintas, refino de petróleo (Khezami e Capart, 2005).

Os metais lançados inadequadamente no ambiente atingem facilmente as fontes de abastecimento para as cidades como os lençóis freáticos, rios e reservatórios e, apesar da sua importância como micro e macronutrientes essenciais, em quantidades adequadas para as rotas metabólicas, seu excesso causa uma série de problemas fisiológicos por serem bioacumulativos (Salgado, 2013).

Diferentes sistemas de tratamento de efluentes – físicos, químicos e/ou biológicos - objetivam o cumprimento das normas ambientais vigentes de modo a reduzir ou eliminar os contaminantes antes de seu descarte (Ortiz, 2000). O processo de adsorção tem sido aplicado no tratamento de diferentes tipos de efluentes pois é um método simples, de baixo custo e oferece bons resultados na remoção de contaminantes, dependendo do material usado como adsorvente.

A pedra-pomes, por suas características estruturais e baixo custo é um adsorvente promissor na remoção de contaminantes de efluentes industriais, como íons metálicos. A pedra-pomes ou púmice é uma rocha originária de campos vulcânicos, abundante em países da Europa, América Central, Sudeste Asiático

e África Oriental (Khandaker e Hossaim, 2004). É finamente porosa com bolhas de ar e, conseqüentemente, tem alta área superficial. Quimicamente, a pedra-pomes é uma zeólita natural, um mineral félsico de composição química variável. Geralmente ácida, rica em sílica e alumínio, apresenta grupos hidroxila e íons mono e polivalentes que permitem ligações com compostos orgânicos e inorgânicos.

O objetivo desse estudo foi a revisão na literatura científica sobre a pedra-pomes como adsorvente para metais pesados – cromo, níquel e zinco -, em efluentes industriais, e os fatores que afetam a eficiência do processo.

2 | REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Processo de galvanoplastia ou eletrodeposição

O processo de galvanoplastia consiste em banhos químicos com a deposição de camadas metálicas sob materiais ferrosos com o objetivo de aumentar a resistência à corrosão, proteger quanto ao manuseio e atrito, promover maior longevidade e embelezamento aos objetos de interesse como tubos, utensílios domésticos, grelhas, arremates mecânicos; pode ser aplicado também em materiais não-condutores como plásticos e porcelanas. Para as superfícies não-metálicas, primeiro se deposita uma camada condutora para em seguida submeter a peça ao processo de galvanização (Giurlani, 2018).

O banho de proteção galvânica é uma sequência de tratamentos químicos com espécies químicas como zinco, cobre, níquel, cádmio, cromo, ácido bórico e chumbo em meio aquoso, seguidos por lavagens a cada etapa, gerando por efluentes com cor e turbidez alteradas e tóxicos (Vaz et al., 2010). As etapas desse processo estão esquematizadas na Figura 1.

Para melhor eficiência na deposição metálica, as peças devem ter superfície lisa e homogênea, isenta de óleos e graxas, óxidos, ou quaisquer impurezas e falhas. Para isso as peças passam por um pré-tratamento químico e/ou mecânico. O tratamento mecânico envolve etapas como esmerilhamento, lixamento, polimento etc., gerando rejeitos sólidos (Buzzoni, 1991). No tratamento químico, as peças são submetidas a desengraxes alcalinos, com solventes orgânicos contendo hidróxido, carbonato de sódio, fosfato de sódio e sabão. (Cabral e Mannheimer, 1979). A etapa posterior a esse processo é chamada de decapagem, onde as peças são imergidas em soluções ácidas como ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico e ácido fluorídrico que removem carbonatos, sulfetos, silicatos e a oxidação presente na superfície. Após essas etapas, o objeto está preparado para o recobrimento por eletrodeposição (Moreira, 2010).

Como visto no esquema da Figura 1, as etapas de pré-tratamento químico, recobrimento e lavagem geram maior volume de resíduos em forma de névoas, sólidos e efluentes líquidos. Nas etapas de desengraxe, decapagem e eletrodeposição são utilizados ácidos, solventes orgânicos, cianeto, íons e sais metálicos que se perdem durante o

processo e são lançados ao ambiente.

O processo de eletrodeposição ou galvanoplastia compreende o revestimento de um material (substrato) por uma fina camada metálica por meio de corrente elétrica. Esse processo modifica as características do produto conferindo-lhe maior durabilidade, resistência às intempéries e proteção contra a corrosão. O processo funciona usando quatro componentes principais: (1) o ânodo, o eletrodo de carga positiva, é o metal que forma o revestimento; (2) o cátodo, ou eletrodo negativo, é o material a ser revestido ou substrato; (3) a solução eletrolítica que contém um ou mais sais metálicos e, (4) a fonte de alimentação que fornece a corrente aplicada ao ânodo, gerando eletricidade ao sistema (Figura 2) (Gentil, 2012).

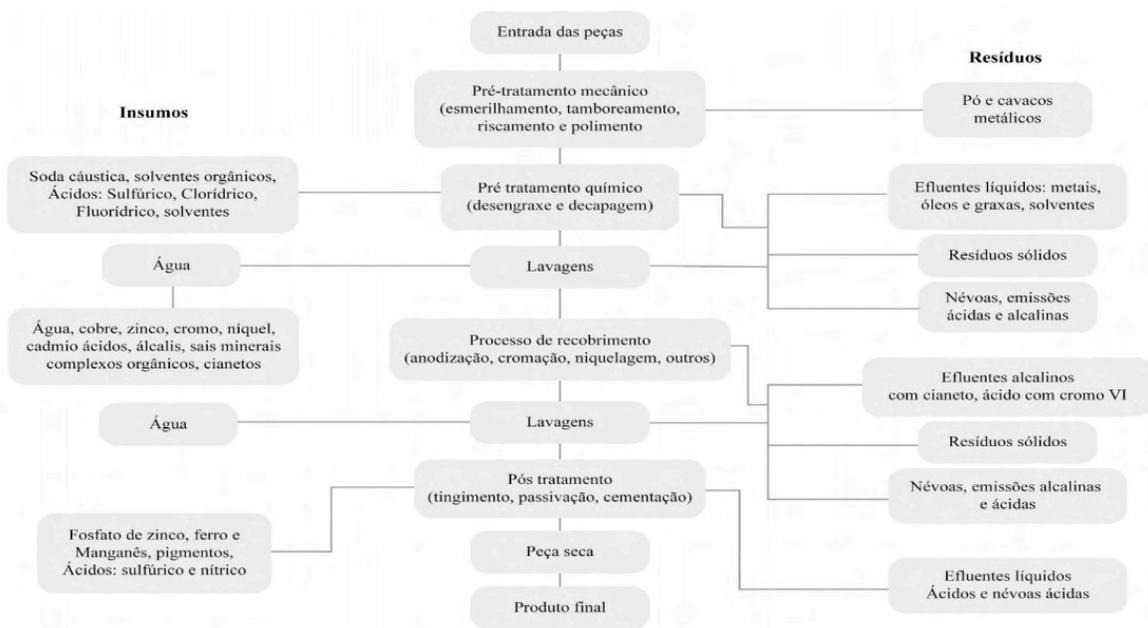


Figura 1. Principais etapas envolvidas no processo galvanização eletrolítica.

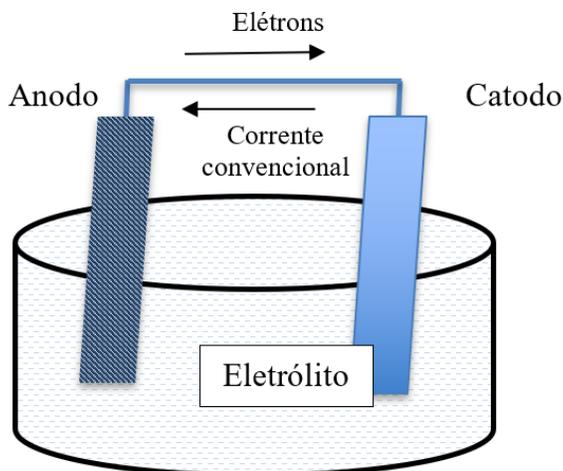
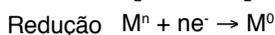
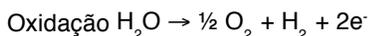


Figura 2. Esquema de célula eletrolítica.

Segundo Gentil (2012), quando a diferença de potencial elétrico dos íons em solução é maior do que o potencial do substrato, ocorre a transferência desses íons metálicos para a peça. Cada eletrodo possui seu potencial e a diferença entre eles é chamada de força eletromotriz (energia da pilha). Nos casos em que há duas lâminas de diferentes metais, é provável que seus potenciais elétricos sejam diferentes, e, que quando ligadas por um condutor metálico, ocorra a passagem espontânea de elétrons da lâmina de maior potencial, formando uma pilha galvânica. As reações redox seguem as seguintes equações:



2.2 PRESENÇA DE METAIS DO PROCESSO DE GALVANOPLASTIA NOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os efluentes industriais líquidos são rejeitos de água com a incorporação de resíduos (cargas) ou energias, durante as perdas no processo, que alteram suas características físicas, químicas e sensoriais para uma alta toxicidade. Nas indústrias, o uso da água possui uma infinidade de aplicações como limpeza de tubulações e equipamentos, resfriamento, incorporação de produtos, características inerentes à atividade industrial, além do consumo humano e sanitário (Giordano, 2004).

Diversos metais pesados como Cd, Ni, Zn, Cu, Pt, Cr, Hg são comumente encontrados em efluentes industriais de atividades químicas como galvanoplastia, têxteis, fabricação de baterias, metalúrgicas e siderúrgicas etc., requerendo um tratamento especial de modo a adequar-se aos parâmetros ambientais estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). As condições para lançamento de um efluente em um corpo receptor

devem obedecer a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA que estabelece valores de pH, temperatura, vazão, Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e quantifica a presença permissível de compostos orgânicos e inorgânicos. A Tabela 1 mostra os limites permitidos de matéria inorgânica em efluentes industriais de modo a evitar a poluição ou contaminação de águas superficiais ou subterrâneas (CONAMA, 2011).

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (não se aplica para o lançamento em água salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr ⁶⁺
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr ³⁺
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoretos total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag

Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn

Tabela 1. Limites permissíveis de matéria inorgânica em corpos d'água receptores.

Fonte: CONAMA, 2011. Adaptado.

Os metais lançados inadequadamente no ambiente atingem facilmente as fontes de abastecimento para as cidades como os lençóis freáticos, rios e reservatórios e, apesar da sua importância como micro e macronutrientes essenciais, em quantidades adequadas, para as rotas metabólicas, seu excesso causa uma série de problemas fisiológicos por serem bioacumulativos (Salgado, 2013).

2.2.1 Cromo

O cromo trivalente é um micronutriente essencial para vida humana e está presente no metabolismo de lipídios e proteínas. Apesar de não ser bioacumulativo, a alta concentração do metal é muito tóxica para plantas e animais, penetrando rapidamente as células humanas comprometendo fígado, rins, derme e com alta capacidade carcinogênica (INAP, 2013).

Esse metal é utilizado em processos de eletrodeposição conferindo características protetoras aos substratos onde é aplicado. Seus principais compostos são encontrados em formas trivalentes (óxido crômico e sulfato crômico) e hexavalentes (trióxido crômico e ácido crômico), insolúvel e solúvel em água, respectivamente (INAP, 2013). As formas hexavalentes são mais tóxica devido à sua solubilidade e mobilidade.

Segundo a Resolução CONAMA n.º 430/2011, os limites aceitáveis de cromo em seus estados de oxidação são: 0,1 mg/L para o cromo hexavalente e 1,0 mg/L para o cromo trivalente (Tabela 1).

2.2.2 Níquel

Altas concentrações de níquel no ambiente causam efeitos tóxicos à biota e, principalmente, às populações humanas, comprometendo os pulmões, causando problemas dermatológicos e carcinogênicos. Por apresentar alta nocividade à biota e à saúde humana, o limite permissível de níquel é de 2,0 g/l, de acordo com as normas das legislações vigentes, requerendo, portanto, tratamento anterior ao seu descarte (conama, 2011).

Devido a características como alta resistência à corrosão, ao desgaste e à abrasão, ductilidade, lubrificidade, soldabilidade, condutividade elétrica e dureza, o níquel é utilizado em diversos setores industriais (McKean, 2011; Loto, 2016).

Há diferentes tipos de eletrodeposição de níquel, como: revestimentos de liga, revestimentos de compósitos não eletrolíticos e revestimentos metálicos (Zhang et al., 2008).

Sulfato de níquel é utilizado como fonte de íons de níquel nos banhos galvânicos por ser encontrado comercialmente com bom grau de pureza, ser mais estável nas condições do processo, menos corrosivo, e mais barato em relação aos outros sais (Loto, 2016).

2.2.3 Zinco

O zinco é um dos elementos essenciais para saúde humana e atua no sistema imunológico, no crescimento etc. (Santos e fonseca, 2012). Esse metal também é constituinte de proteínas e co-fatores enzimáticos em mais de 300 reações bioquímicas, e participa de expressões de dna (cruz e soares, 2011). Entretanto, por ser bioacumulativo, apresenta alta toxicidade aos humanos, causando vômito, diarreia, náusea, efeitos gastrintestinais etc., Quando expostos a altas concentrações. Para a vida aquática é potencialmente letal a peixes e algas. Devido a esses problemas, é necessário tratamento anterior ao seu descarte, que, pela regulamentação conama 430/2011, tem limite permissível de lançamento igual a 5,0 mg/l (conama, 2011).

O zinco é comumente utilizado na indústria galvânica em revestimentos que conferem proteção anticorrosiva às peças e quando, em descartes incorretos em corpos d'água, se acumula majoritariamente de forma residual em sedimentos, embora possa ser solubilizado pela formação de complexos de zinco.

Diferentes banhos de zinco podem ser utilizados: banhos de cloreto de zinco, banhos ácidos e alcalinos e banhos cianídricos. Os banhos mais utilizados em processos contínuos são a base de sulfato e cloreto sem aditivos, pois são estáveis, eficientes e menos agressivos. (Panossian, 1999).

2.3 Adsorção como tratamento de efluentes contaminados por metais

Apesar da alta eficiência dos processos convencionais de tratamento de efluentes, eles requerem muitas etapas ou etapas complexas, tornando suas aplicabilidades menos viáveis em comparação a métodos mais simples que não utilizam grande quantidade de energia externa ou alta concentração de agentes químicos para extração/redução de contaminantes de um meio.

O tratamento de efluentes por adsorção tem sido amplamente estudado sobre diferentes sistemas adsorventes e condições operacionais com bons resultados, simplicidade de operação e custos relativamente baixos.

Durante esse processo, as moléculas presentes na fase líquida são espontaneamente atraídas por forças atrativas na superfície do sólido adsorvente, gerando um aumento da concentração de metais na sua interface. Do ponto de vista termodinâmico, a adsorção é um processo espontâneo, por outro lado, a substância adsorvida se encontra

em um grau de organização maior do que a não adsorvida, ou seja, há uma diminuição na entropia do sistema. Observando que $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, tem-se que a adsorção é um processo exotérmico e o calor despreendido é chamado de calor de adsorção (Sing, et al., 1985). Essa operação é dependente de fatores como temperatura, pH, pressão, área superficial e propriedades físicas do adsorvato (Ruthven, 1984).

O processo de adsorção em batelada é o mais simples e consiste em colocar em contato as massas de adsorvente e líquido durante um tempo até que o adsorvato (contaminante) migre para a superfície do adsorvente.

No processo de adsorção em leito fixo, o fluxo é bombeado ou escoado constantemente por colunas (leito) preenchidas pelo material adsorvente. Essa corrente fluida é passada pelas colunas até que ocorra sua saturação. Nesse sistema, o material adsorvente pode sofrer desgaste e partículas do material podem ser arrastadas para a saída (Boaventura, et al., 2007).

A adsorção se divide em dois tipos: a adsorção física/fisissorção, em que as moléculas do adsorbato são atraídas através de forças de Van der Waals, e permite o processo ser reversível pois não ocorre ligações químicas e a sobreposição de camadas de adsorbato. Nesse processo, a parte adsorvida não penetra dentro da superfície do adsorvente, mas permanece envolta ao sólido. Desse modo quanto maior a superfície externa maior será a quantidade de moléculas adsorvidas (Ruthven, 1984). Por outro lado, na quimissorção, há ligações químicas muito específicas e fortes provenientes das trocas de elétrons entre o adsorvente e adsorbato, isso significa que, nem todas as moléculas presentes no fluídos serão capazes de se atrair pelos sítios ativos do sólido e somente uma monocamada será adsorvida (Ruthven, 1984).

Para uma boa condição de adsorção, as cargas devem ser opostas, assim ocorre uma melhor interação eletrostática. A temperatura influencia a viscosidade do efluente e consequentemente a taxa de difusão do adsorbato para dentro dos poros do sólido, que com isso, aumenta ou diminui a velocidade de reação. Outras relações como tamanho de partícula, tipo e localização de grupos funcionais também influem na velocidade e eficiência do tratamento por adsorção (Nghah & Hanafiah, 2008).

2.3.1 Pedra-pomes como adsorvente para íons cromo, níquel e zinco de efluentes galvânicos

A pedra-pomes ou púmice é uma rocha vítrea e sílica, composta majoritariamente por sílica (SiO_2). É um material vesicular escoriáceo (poroso) originado do escapamento de gases da lava em sua etapa de resfriamento, podendo, resumidamente, ser descrito como espuma vulcânica congelada (Chaves, 2007). De acordo com o Resumo de Commodities Naturais (2020), o mineral tem ocorrência em países como Estados Unidos, Chile, Equador, França, Espanha, Indonésia entre outros, e estima-se que a produção em 2019 foi de 18 milhões de toneladas do mineral para importação e exportação.

A pedra-pomes apresenta composição química variável, consistindo em SiO_2 (60–75%), Al_2O_3 (13–17%), $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ (7–8%), Fe_2O_3 (1–3%), CaO (1–2%) e baixa quantidade de TiO_2 e SO_3 . A dureza (escala Mohr) está entre 5,5 e 6,0 e seu pH em torno de 7 (Grasser, & Minke, 1990). O diâmetro médio dos microporos do grão de púmice é inferior a $5\mu\text{m}$, podendo variar em textura, forma e tamanho (Rigano, 2007). A granulação geralmente fina é resultado da liberação de gases durante o resfriamento da lava. É constituída de estruturas tetraédricas formando vesículas cilíndricas que possuem alinhamento subparalelo que conferem texturas sedosas, fibrosas ou porosas ao mineral. Devido às suas propriedades, disponibilidade e baixo custo, a pedra-pomes mostra-se como um adsorvente alternativo para tratamento de efluentes industriais. Na literatura científica são encontrados trabalhos sobre o uso de pedra-pomes como adsorvente para metais de efluentes industriais com bons resultados.

Indah et al. (2018) investigaram o potencial de adsorção e regeneração da púmice na remoção de cromo e obtiveram remoção de 2,226 mg de cromo por grama de adsorvente, em pH 3, com 0,3 g/L de adsorvente e uma hora de contato. Em pH baixos, a superfície do adsorvente é protonada, favorecendo a atração eletrostática dos ânions cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) em solução aquosa. Os autores também observaram o efeito da concentração de adsorvente e do adsorvato nos resultados obtidos.

Um resíduo da extração de sílica de uma mistura de pedra-pomes e *lapillus* (fragmento vulcânico com um diâmetro entre 4 e 32 mm) foi testado como adsorvente para uma série de íons metálicos, entre eles Ni^{2+} , Zn^{2+} e Cr^{3+} , em soluções sintéticas contendo entre 100 e 600 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dos respectivos íons (Cataflamo, et al., 2006). Após uma hora de contato entre adsorvente e as soluções contendo íons metálicos, os autores observaram que o resíduo foi capaz de adsorver 0,5 e 1,5 $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ de íons Ni^{2+} e Zn^{2+} , respectivamente. Nas condições do estudo, não houve adsorção de íons Cr^{3+} . Analisando os valores de pH das soluções antes e depois do experimento de adsorção, observa-se que o pH das soluções era de 3 para os íons Cr^{3+} e 5,3 e 5,7 para os íons Zn^{2+} e Ni^{2+} , respectivamente. Em soluções ácidas ($\text{pH} < 4$), os íons Cr^{3+} são hidrolisados e sua adsorção não ocorre.

A remoção de cromo diminui à medida que a concentração de adsorvente no meio aumenta, isto porque ele tende a se aglomerar diminuindo a superfície de contato. Quanto maior a concentração de cromo na solução, maior é sua remoção devido à maior força motriz que supera a resistência de transferência de íons de cromo entre as fases aquosa e sólida resultando em uma maior disponibilidade de íons metálicos para colisão entre os sítios ativos da pedra-pomes.

Pedra-pomes modificada com brometo de cetrimônio (HDTM.Br), um surfactante catiônico, mostrou capacidade de adsorção de cromo de 96,22 % em pH 3, com tempo de contato de 120 minutos e 1 g/L de adsorvente. O tratamento com HDTM.Br em pH 3, gerou mais poros na superfície da pedra-pomes, principalmente poros pequenos. Os autores desse estudo concluíram que o pH teve especial influência no processo de remoção de

íons cromo. Íons de cromo em soluções com o pH menor que o ponto de carga zero (PCZ) do adsorvente, são prontamente adsorvidos na superfície positivamente carregada do adsorvente. (Eslami et al., 2019).

O experimento realizado por Indah et al. (2019) para remoção de zinco de efluentes contaminados utilizou pedra-pomes tratada por soluções de HCl e aquecidas a temperatura de 300 °C. Os resultados mostraram eficiência de 74,46 % para extração do metal em pH 6 com tempo de contato de 15 minutos e 3 g/L de adsorvente. Esses tratamentos físico-químicos conferem melhora na adsorção, pois alteram a composição química e porosidade do adsorvente. O tratamento em alta temperatura propiciou maior número de poros abertos aumentando superfície de contato. O tratamento ácido dissolve as impurezas presentes nos poros e enriquece a superfície do adsorvente com grupos ácidos negativos que se complexam de maneira mais estável por apresentarem cargas opostas.

A adsorção de níquel utilizando rochas vulcânicas foi investigada por Alemeyehu & Lennartz (2010). Escória e pedra-pomes, ambas obtidas de cones vulcânicos da Etiópia, apresentaram capacidade máxima de adsorção de níquel de 85,7% e 88,9%, respectivamente, em pH 5 durante o período de 24h. A retenção de níquel na pedra-pomes independe do tamanho das partículas, pois a distribuição e tamanho dos poros são mais significativos em comparação a área superficial. Por outro lado, a retenção dos íons na escória se mostra mais eficiente quando em particulados pequenos resultando em maior área superficial. A baixa retenção de metal em pH baixo sugere que os grupos funcionais (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3) na superfície do adsorvente encontram-se protonados, esses prótons competem pelos mesmos sítios ativos que o níquel, enquanto em meio alcalino ocorre a precipitação do metal.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura micro porosa e composição da pedra-pomes conferem eficiência nos processos adsorptivos. Sua composição majoritária de sílica, alumínio, ferro e grupos hidroxila são responsáveis pela presença de cargas negativas na superfície que é compensada por cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Ba^{2+}), dependendo de sua composição, que são trocados por íons metálicos em solução, atraídos eletrostaticamente pela carga negativa do mineral. A pedra-pomes ocorre na natureza em quantidade suficiente para ser considerada um recurso mineral viável para reduzir os impactos ambientais causados por compostos orgânicos e inorgânicos emitidos pelas indústrias químicas. Sua alta seletividade de troca, resistência física e química, disponibilidade, baixo custo, potencial de regeneração, passibilidade de reuso e excelente afinidade com meio ambiente a torna uma excelente alternativa de material adsorvedor.

Os estudos citados para remoção de cromo, níquel e zinco em efluentes líquidos mostram que pH, concentração, temperatura e natureza do soluto influem sobre a

capacidade de extração. A adsorção em pH baixo favorece a extração dos metais, pois é capaz de dissolver as impurezas contidas na superfície dos poros e aumenta a superfície de contato. Para extração de níquel é desejável que o pH seja 6, assim não há competição pelos mesmos sítios de ligação entre os prótons em excesso com os íons de níquel, o que ocorre em pH muito baixo. A adsorção de íons de cromo é favorecida em pH 3, pois a hidrólise dos íons cromo resulta em cromatos de carga negativa que são atraídos eletrostaticamente pela superfície protonada.

A concentração de adsorvente e íons em solução por sua vez, também influi na adsorção e eficiência do processo. Uma baixa concentração de íons significa maior adsorção uma vez que todos os íons serão adsorvidos, mas quando a relação entre concentração de íons disponíveis e número de sítios aumenta, haverá uma adsorção mais rápida, contudo não haverá sítios disponíveis o suficiente para ligação, diminuindo então a eficiência do processo. A retenção do metal diminui à medida que a concentração de adsorvente no meio aumenta, pois ele tende a se aglomerar fazendo com que a superfície de contato diminua.

O tratamento térmico influi no volume de poros pois remove a água contida nos espaços cristalinos, e se mostra eficiente para abertura de mais cavidades tratadas a 300 °C e 450 °C porém temperaturas acima de 600 °C danificam a estrutura que prejudica a adsorção. Desse modo as condições ótimas para adsorção de cada metal foram estabelecidas em pH 3, 0,3 g/L de adsorvente resultando em adsorção de 2,226 mg de cromo por grama de adsorvente; pedra-pomes modificada com brometo de cetrimônio (HDTM.Br), a pH 3, 1 g/L de adsorvente apresentou 96,22 % de eficiência também para cromo; o tratamento térmico a 300°C, em pH 6, com 3 g/L de adsorvente apresentou retenção de 74,66 % para níquel enquanto que pH 5 foi a melhor faixa para adsorção de zinco encontrada marcando 88,9 % de eficiência.

Concluindo, a contaminação de águas residuais por metais pesados é um dos maiores problemas ambientais. A necessidade de reduzir os contaminantes a níveis estipulados pela legislação investiga a busca por métodos mais baratos e menos agressivos ao meio ambiente. Tecnologias convencionais de tratamento como precipitação química, eletrocoagulação e ultrafiltrações, apesar de apresentarem boa eficiência, resultam em subprodutos indesejados e elevado custo de aplicação. Os estudos citados nesta revisão mostraram que a pedra-pomes é material adsorvedor potencial para íons dos metais pesados cromo, níquel e zinco presentes em efluentes industriais, podendo reduzi-los aos limites aceitáveis. Assim, esse trabalho mostrou que, sob condições operacionais adequadas (pH, concentração de íons, quantidade de adsorvente), a capacidade e aplicabilidade da pedra-pomes como adsorvente é uma alternativa simples e sustentável de tratamento de efluentes líquidos originados da indústria galvânica.

REFERÊNCIAS

ALEMAYEHU, E.; LENNARTZ, B. Adsorptive removal of nickel from water using volcanic rocks. **Applied Geochemistry**, v. 25, n. 10, p. 1596-1602, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES- ABTS. **Curso básico de galvanoplastia para encarregados e supervisores**. 4ª ed. São Paulo: ABTS, 1986.

BOAVENTURA, R.; VILAR, V.; LOUREIRO, J., BOTELHO, C. Continuous biosorption of Pb/Cd in fixed-bed column using algae *Gelidium* and granulated agar extraction algal waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, p. 1173-1182, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM. Produto 16, Minério de Zinco. Relatório Técnico 25. Brasília: 2010.

BUZZONI, H.A. **Galvanoplastia**. 2ª ed. São Paulo: Ícone Editora, 1991.

CABRAL, E. R., MANNHEIMER, W. A. **Galvanização: sua aplicação em equipamento elétrico**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1979, p. 120-129.

CATALFAMO, P.; ARRIGO, I. PRIMERANO, P. et al. Efficiency of a zeolitized pumice waste as a low-cost heavy metals adsorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 134, n. 1-3, p. 140-143, 2006.

CHAVES, G. N. **Petrografia macroscópica das rochas ígneas sedimentares e metamórficas**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007, p. 206-211.

CONAMA. Resolução n. 454, de 1 de novembro de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materiaisdragadoemaguasjurisdicionaisbrasil.pdf>. Acesso em 04 fev. 2021.

CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

ESLAMI, F. et al. Optimization of chromium (VI) adsorption by novel nano-pumice modified by cationic surfactant from aqueous media using the response surface method: isotherm and kinetic studies. **Desalination and Water Treatment**, v. 177, p. 139-151, 2019.

GIORDANO, G. et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p.7, 2004.

GIURLANI, W., ZANGARI, G., GAMBINOSSI, F., PASSAPONTI, M., SALVIETTI, E., DI BENEDETTO, F. & INNOCENTI, M. Electroplating for decorative applications: recent trends in research and development. **Coatings**, v. 8, n. 8), p. 260, 2018.

GENTIL, V. Corrosão. 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

GRASSER, K., & MINKE, G. Building with pumice. F. Vieweg, 1990.

INAP. **Treatment of Sulphate in Mine Effluents**. International Network for Acid Prevention, 2013.

INDAH, S. et al. Adsorption and Regeneration of Indonesian Natural Pumice for Total Chromium Removal from Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, v. 2, n. 2, p. 30-37, 2018.

INDAH, S. et al. **Modification of natural pumice by physical and chemical treatments for removal of zinc ions from aqueous solution.** In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2019.

KHEZAMI, L.; CAPART, R. Removal of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbons: kinetic and equilibrium studies. *Journal Hazard Material*, v. 31, n. 123, p. 223-31.

KHANDAKER, M.; HOSSAIM, A. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete, *Cement Concrete Res.* v. 34, n. 2, p. 283–291.

LOTO, C. A. Electroless nickel plating—a review. *Silicon*, v. 8, n. 2, p. 177-186, 2016.

MCKEAN, B.A. Naturally-occurring, micro-nutrient nickel fundamental in ammonia conversion. **Nickel – the magazine devoted to nickel and its applications**, v. 26, n. 2, 2011.

MOREIRA, D. N. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NASCIMENTO, V. A. et al. **Estudo sobre a remoção de metais pesados em efluentes.** 2019.

NGAH, W. S. W.; HANAFIAH, M. A. K. M. Biosorption of copper ions from dilute aqueous solutions on base treated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaves powder: kinetics, isotherm, and biosorption mechanisms. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, v. 20, n. 10, p. 1168- 1176, 2008.

OLIVEIRA, H. Chromium as an environmental pollutant: insights on induced plant toxicity. *Journal of Botany*, 1–8, 2012.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} e Cd^{2+} , em solução.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2000.

PANOSSIAN, Z. Banho de níquel tipo Watts: função dos principais constituintes. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n. 74, p. 32-38, 1995.

RIGANO, G. **Studio dell'efficienza di Barriere Permeabili Reattive per la bonifica di acquiferi contaminati da metalli pesanti.** Tese de Doutorado. Università Mediterranea di Reggio Calabria, 2007.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption & Adsorption Process.** New York: John Wiley & Sons, 1984.

SALGADO, P. E. T. **Fundamentos de toxicologia.** 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2003.

SANTOS, C.; FONSECA, J. **Zinco: fisiopatologia, clínica e nutrição.** Hospital Garcia de Orta, EPE–Grupo de Estudo de Nutrição Entérica–GENE, 2012.

VAZ, L. G. L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45–54, 2010.

YAVUZ, M.; GODE, F.; PEHLIVAN, E.; OZMERT, S.; SHARMA, Y. C. An economic removal of Cu^{2+} and Cr^{3+} on the new adsorbents: pumice and polyacrylonitrile/pumice composite, **Chemistry Engineering Journal**, v. 137, n. 3, p. 453–461, 2008.

ZHANG, S., HAN, K., & CHENG, L. The effect of SiC particles added in electroless Ni–P plating solution on the properties of composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, v. 202, n. 12, p. 2807-2812, 2008.

CATALISADOR FENTON BIMETÁLICO DE COBALTO E FERRO SUPORTADO EM ZEOLITA NATURAL PARA REMOÇÃO DE POLUENTES EM MEIO AQUOSO

Data de aceite: 01/04/2022

Data de submissão: 22/03/2022

Ramiro Picoli Nippes

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/6778980188605524>

Paula Derksen Macruz

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/5257385347804148>

Cauã Souza Silva

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<https://orcid.org/0000-0001-7130-7235>

Aline Domingues Gomes

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/6241863660560621>

Camila Pereira Giroto

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/3444781214744713>

Thaísa Frossard Coslop

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/7515260724440278>

Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Química.
Maringá-Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/1552509852504841>

RESUMO: O objetivo desse estudo foi preparar e caracterizar um novo catalisador Fenton bimetálico com ferro e cobalto suportados na zeolita natural clinoptilolita, para degradação de poluentes emergentes em meio aquoso por meio da reação de Fenton. O catalisador foi preparado por meio de uma impregnação úmida e caracterizado pelas técnicas de DRX e MEV. A eficiência do catalisador foi avaliada em regime batelada na degradação do corante têxtil azul reativo 250. Os resultados alcançados apontaram uma degradação do corante de aproximadamente 80% em 120 minutos nas condições experimentais: $[\text{Catalisador}]_0 = 1 \text{ g L}^{-1}$, $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 200 \text{ mg L}^{-1}$, $[\text{contaminante}]_0 = 10 \text{ mg L}^{-1}$ e pH neutro. O que demonstra o potencial do material em sistemas Fenton para remoção de poluentes em meio aquoso.

PALAVRAS-CHAVES: Tratamento de efluente; catalise heterogênea; corante; descoloração.

CATALYST FENTON BIMETALLIC COBALTO AND IRON SUPPORTED ONTO NATURAL ZEOLITE FOR REMOVAL OF POLLUTANTS IN AQUEOUS MEDIA

ABSTRACT – The objective of this study was to prepare and characterize a new bimetallic Fenton catalyst with iron and cobalt supported on natural zeolite clinoptilolite, for the degradation

of emerging pollutants in aqueous media through the Fenton reaction. The catalyst was prepared by wet impregnation and characterized by XRD and SEM techniques. The catalyst efficiency was evaluated in batch mode in the degradation of the reactive blue textile dye 250. The results obtained indicated a dye degradation of approximately 80% in 120 minutes under the experimental conditions: $[\text{Catalyst}]_0 = 1 \text{ g L}^{-1}$, $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 200 \text{ mg L}^{-1}$, $[\text{contaminant}]_0 = 10 \text{ mg L}^{-1}$ and neutral pH. This demonstrates the potential of the material in Fenton systems to remove pollutants in aqueous media.

KEYWORDS: Wastewater treatment; heterogeneous catalysis; dye; discoloration.

1 | INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes persistentes em matrizes aquáticas é uma problemática urgente, que tem despertado atenção cada vez maior da comunidade científica (Hojjati-Najafabadi et al., 2022). Nesse sentido, o desenvolvimento de processos eficientes, e de baixo-custo é de extrema importância para a eliminação desses compostos perigosos e manutenção das matrizes ambientais. Dentre as tecnologias disponíveis, os processos oxidativos avançados (POAs) são bem vistos, devido a sua capacidade de mineralização de diferentes contaminantes.

Dentre os POAs, as reações do tipo Fenton ou Foto-Fenton, que, envolvem a oxidação de espécies férricas (Fe (II) para Fe (III), por exemplo) em peróxido de hidrogênio para a formação de espécies oxidativas poderosas, é uma alternativa vantajosa, devido ao custo baixo e não exige altas temperaturas e pressões para ocorrer. Contudo, quando o processo ocorre em uma só fase (líquida) há o surgimento de lamas de ferro, um subproduto que também é tóxico (Rache et al., 2014). Assim, a utilização de catalisadores sólidos é uma estratégia adequada para contornar esse problema. Dessa forma, diversos materiais tem sido usados como suporte para espécies metálicas, para aplicação em sistemas Fenton heterogêneo, como argila (Feng et al., 2003), materiais a base de carbono (Dantas et al., 2006) e zeolitas (Neamțu et al., 2004).

As zeolitas merecem destaque, devido as suas características apreciáveis, como, porosidade, capacidade de trocas iônicas e atividade catalítica elevada (Rahimi et al., 2021), que as credenciam para uso como suporte de catalisadores. Entre as zeolitas disponíveis, as naturais apresentam potencial, pois além da características texturais importantes, também possuem grande disponibilidade e custo relativamente baixo (Agustina et al., 2022). A zeolita natural do tipo clinoptilonita (Mortazavi et al., 2021) é um material de interesse, pois trata-se da zeolita mais abundante no mundo (Jia Wen et al., 2018), o que lhe confere grande disponibilidade e baixo-custo. Além disso, a zeolita clinoptilolita pode ser utilizada na sua forma *in natura*, sem a necessidade de modificações profundas em suas características. Estudos existentes já utilizaram a zeolita clinoptilolita *in natura* para aplicações em adsorção (Coslop et al., 2021), e como suporte para catalisadores (da Silva et al., 2021), (Vocciante et al., 2018).

Nesse mesmo contexto dos processos Fenton, a elaboração de catalisadores sólidos bimetálicos tem se mostrado uma técnica promissora, para aperfeiçoar o desempenho catalítico do catalisador Fenton à base de ferro na remoção de poluentes (Tian et al., 2020). Dentre as espécies metálicas investigadas, podemos citar, o cobre (Tang & Wang, 2020) (Mansoori et al., 2021), níquel (Wu et al., 2021) e alumínio (Nguyen et al., 2020). Além desses, a utilização de cobalto também tem sido investigado e apresentado potencial significativo para aplicação em sistemas Fenton (Junfeng Wen et al., 2021), (J. Li et al., 2019) e (X. Li et al., 2015).

Dessa forma, o objetivo desse estudo é preparar e caracterizar um novo catalisador Fenton bimetálico com ferro e cobalto suportados na zeólita natural clinoptilolita, para degradação de poluentes emergentes em meio aquoso por meio da reação de Fenton. A eficiência do catalisador foi avaliada em regime batelada na degradação do corante têxtil azul reativo 250.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A Zeólita natural Clinoptilolita (CP) foi fornecida pela empresa Celta Brasil localizada em Vila Jovina – Cotia/SP. A CP é composta principalmente por SiO_2 e Al_2O_3 . Antes dos testes experimentais, a zeólita foi lavada com água deionizada, seca em estufa e peneirada (0,4-1,0 mm). $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ e H_2O_2 (30%) da marca Dinâmica. Os testes foram realizados com água deionizada.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparo do catalisador bimetálico

O catalisador foi preparado por meio de um processo de impregnação úmida. Inicialmente quantidades adequadas dos nitratos (5% de Fe e Co) foram diluídas em água e em seguida adicionados a zeólita CP. A mistura permaneceu sob agitação intensa por 24 horas. Após esse período a solução foi aquecida em um evaporador rotativo com vácuo até a secagem completa do material. O sólido obtido foi submetido a um tratamento térmico em forno Mufla a 200°C durante 2 horas.

2.2.2 Caracterização do catalisador bimetálico

O catalisador foi caracterizado por meio da difração de raios-x em um aparelho Shimadzu XRD 6000, utilizando cobre como fonte de irradiação ($K\alpha$ 15.406 Å). A velocidade de varredura foi de 2° por minuto com passo de 0,02°, voltagem de 40 kV e corrente elétrica de 30 mA na faixa de 5-85° (2 θ). A morfologia do material foi observada em um microscópio

eletrônico de varredura da FEI Company, modelo Quanta-250, usando aceleração de feixe de 20 kV. As amostras foram metalizadas com ouro utilizando o equipamento de revestimento metálico Sputter Coater Emitech, modelo K450.

2.2.3 Testes reacionais

A atividade catalítica do material foi avaliada na degradação do corante têxtil azul reativo. Os testes foram conduzidos em regime descontinuo em um reator de vidro com capacidade de 250 ml equipado com agitador magnético. Soluções de corante de 250 ml com concentrações de 10 mg L⁻¹ foram utilizadas juntamente com 1 g L⁻¹ de catalisador. A concentração de H₂O₂ empregada foi de 200 mg L⁻¹. Os testes foram realizados em temperatura ambiente e sem ajuste do pH da solução. O acompanhamento das reações foi realizado por meio da retirada de alíquotas de 2,5 ml. As amostras foram filtradas com membranas de 0,22 μm (Millipore) para separação do catalisador. A eficiência do processo foi medida em termos de porcentagem (%) utilizando espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu – modelo UV-1800), em λ = 617 nm.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do catalisador bimetalico

Na Figura 1 é possível visualizar as micrografias dos materiais. Para a zeolita CP pura é possível observar uma superfície heterogênea com partículas de diferentes tamanhos e com aspecto que pode ser comparado com partículas de rocha. Para o catalisador contendo os dois metais de transição, pode-se afirmar, que não ocorreram modificações significativas na morfologia da zeolita, após o processo de incorporação do cobalto e do ferro. A coloração branca em alguns pontos pode ser associada com a presença das espécies metálicas na superfície da zeolita CP.

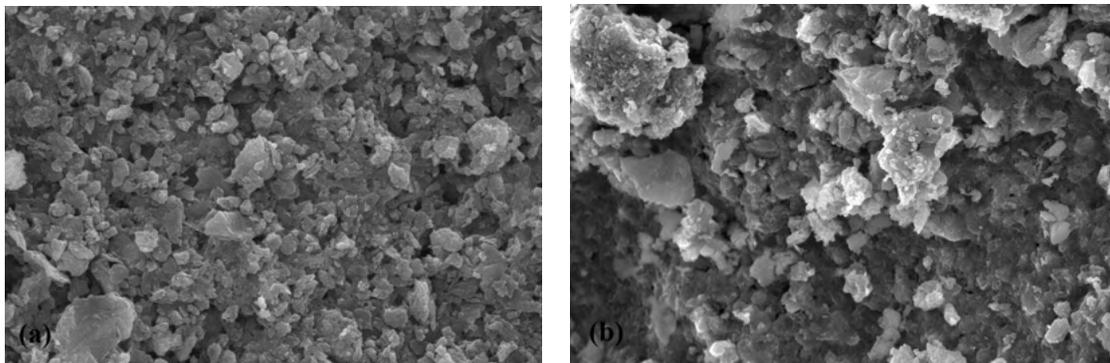


Figura 1 – Micrografias da zeolita CP (a) e do catalisador bimetalico (b).

Os padrões DRX da zeólita natural clinoptilolita pura e suportada com cobalto e ferro podem ser visualizados na Figura 2. Os picos mais significativos em $2\theta = 9,8^\circ$, $11,1^\circ$, $22^\circ,3$, $22,7^\circ$, $26,0^\circ$, $28,1^\circ$, $30,0^\circ$ e $32,0^\circ$ foram atribuídos a fase cristal monocíclica da clinoptilolita, correspondente a ficha JCPDS nº 00-025-1349. Para a amostra de Co-Fe/CP, observa-se a redução e desaparecimento de alguns picos de difração, o que confirma que as nanopartículas de cobalto e ferro foram infiltradas na camada lamelar da clinoptilolita. O pico em $2\theta = 20,19^\circ$ e em $2\theta = 36,96^\circ$ são fortemente atribuídos a presença do cobalto e ferro, respectivamente, na amostra de zeólita suportada.

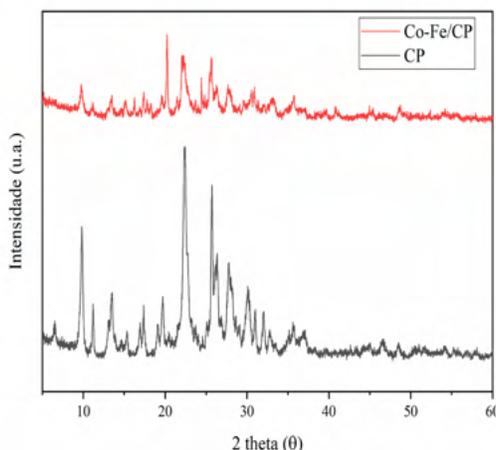


Figura 2 – Difratograma da zeólita CP e do catalisador Fenton bimetálico.

3.2 Testes reacionais

Na Figura 3 estão presentes os resultados dos testes reacionais. Primeiramente, foi avaliado a contribuição do processo de adsorção no processo de degradação do corante. Foi constatado a remoção de cerca de 5% após 120 minutos de adsorção. O que indica uma contribuição pouco significativa desse processo. Da mesma forma, o uso individual do H_2O_2 resultou em uma degradação discreta de aproximadamente 10% do corante no mesmo período de tempo. No entanto, quando o sistema Fenton heterogêneo ($H_2O_2 + Co-Fe/CP$) foi estabelecido a degradação do corante aumentou consideravelmente. Em apenas 15 minutos de reação, a degradação já atingiu cerca de 42% e após 120 minutos a degradação foi de 80%. Esse resultado está associado com a ocorrência da reação Fenton em que as espécies metálicas, presentes na superfície da zeólita CP, promovem a decomposição catalítica do H_2O_2 presente em solução, promovendo a geração de radicais hidroxila OH com alto poder oxidativo. O resultado obtido, confirma o potencial catalítico

do catalisador Fenton produzido nesse trabalho e a eficiência da zeolita CP como suporte para catalisadores.

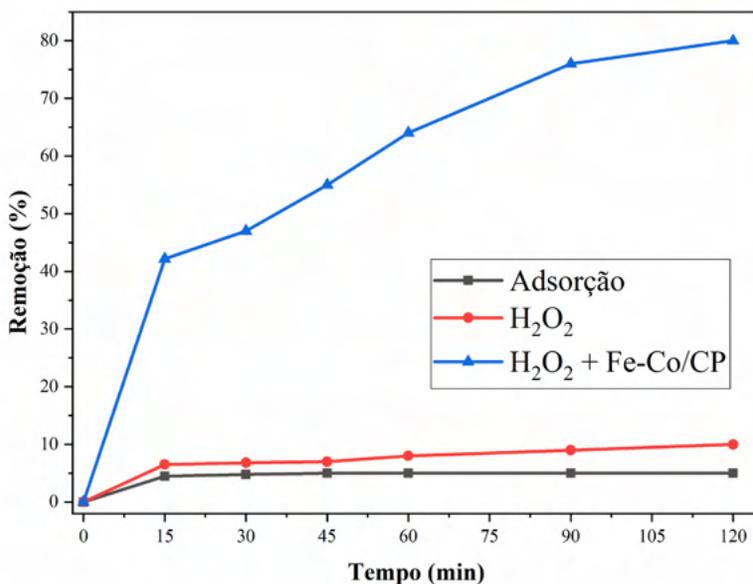


Figura 3 – Resultados da eficiência do catalisador na remoção do corante azul reativo 250 em meio aquoso.

4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados nesse estudo, pode-se concluir, que um novo catalisador Fenton bimetalico de ferro e cobalto, suportado em zeolita natural clinoptilolita, foi sintetizado e caracterizado com sucesso. As técnicas de caracterização foram adequadas para conhecer características importantes do material. O catalisador foi eficiente na remoção do corante têxtil azul reativo 250 atingindo 80% de degradação em 120 minutos de reação, demonstrando o potencial do catalisador em reações Fenton.

REFERÊNCIAS

Agustina, T. E., Anakotta, A. R., Widhaningtyas, H., & Gayatri, R. (2022). The effect of weight ratio of ZnO and natural zeolite on the performance of ZnO-natural zeolite nanocomposites for synthetic dyes degradation. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.01.284>.

Coslop, T. F., Nippes, R. P., Bergamasco, R., & Scaliante, M. H. N. O. (2021). Evaluation of diazepam adsorption in aqueous media using low-cost and natural zeolite: equilibrium and kinetics. *Environmental Science and Pollution Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17452-z>.

- da Silva, P. L., Nippes, R. P., Macruz, P. D., Hegeto, F. L., & Olsen Scaliante, M. H. N. (2021). Photocatalytic degradation of hydroxychloroquine using ZnO supported on clinoptilolite zeolite. *Water Science and Technology*, *84*(3), 763–776. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.265>.
- Dantas, T. L. P., Mendonça, V. P., José, H. J., Rodrigues, A. E., & Moreira, R. F. P. M. (2006). Treatment of textile wastewater by heterogeneous Fenton process using a new composite Fe₂O₃/carbon. *Chemical Engineering Journal*, *118*(1–2), 77–82. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2006.01.016>.
- Feng, J., Hu, X., Yue, P. L., Zhu, H. Y., & Lu, G. Q. (2003). A novel laponite clay-based Fe nanocomposite and its photo-catalytic activity in photo-assisted degradation of Orange II. *Chemical Engineering Science*, *58*(3–6), 679–685. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(02\)00595-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(02)00595-X).
- Hojjati-Najafabadi, A., Mansoorianfar, M., Liang, T., Shahin, K., & Karimi-Maleh, H. (2022). A review on magnetic sensors for monitoring of hazardous pollutants in water resources. *Science of The Total Environment*, *824*, 153844. <https://doi.org/10.1016/J.SCIOTENV.2022.153844>.
- Li, J., Li, X., Han, J., Meng, F., Jiang, J., Li, J., Xu, C., & Li, Y. (2019). Mesoporous bimetallic Fe/Co as highly active heterogeneous Fenton catalyst for the degradation of tetracycline hydrochlorides. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52013-y>.
- Li, X., Liu, J., Rykov, A. I., Han, H., Jin, C., Liu, X., & Wang, J. (2015). Excellent photo-Fenton catalysts of Fe–Co Prussian blue analogues and their reaction mechanism study. *Applied Catalysis B: Environmental*, *179*, 196–205. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2015.05.033>.
- Mansoori, S., Davarnejad, R., Ozumchelouei, E. J., & Ismail, A. F. (2021). Activated biochar supported iron-copper oxide bimetallic catalyst for degradation of ciprofloxacin via photo-assisted electro-Fenton process: A mild pH condition. *Journal of Water Process Engineering*, *39*, 101888. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2020.101888>.
- Mortazavi, N., Bahadori, M., Marandi, A., Tangestaninejad, S., Moghadam, M., Mirkhani, V., & Mohammadpoor-Baltork, I. (2021). Enhancement of CO₂ adsorption on natural zeolite, modified clinoptilolite with cations, amines and ionic liquids. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *22*, 100495. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2021.100495>.
- Neamțu, M., Zaharia, C., Catrinescu, C., Yediler, A., Macoveanu, M., & Kettrup, A. (2004). Fe-exchanged Y zeolite as catalyst for wet peroxide oxidation of reactive azo dye Procion Marine H-EXL. *Applied Catalysis B: Environmental*, *48*(4), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2003.11.005>.
- Nguyen, H. T. T., Dinh, V. P., Phan, Q. A. N., Tran, V. A., Doan, V. D., Lee, T., & Nguyen, T. D. (2020). Bimetallic Al/Fe Metal-Organic Framework for highly efficient photo-Fenton degradation of rhodamine B under visible light irradiation. *Materials Letters*, *279*, 128482. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2020.128482>.
- Rache, M. L., García, A. R., Zea, H. R., Silva, A. M. T., Madeira, L. M., & Ramírez, J. H. (2014). Azo-dye orange II degradation by the heterogeneous Fenton-like process using a zeolite Y-Fe catalyst—Kinetics with a model based on the Fermi's equation. *Applied Catalysis B: Environmental*, *146*, 192–200. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2013.04.028>.
- Rahimi, E., Nazari, F., Javadi, T., Samadi, S., & Teixeira da Silva, J. A. (2021). Potassium-enriched clinoptilolite zeolite mitigates the adverse impacts of salinity stress in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) by increasing silicon absorption and improving the K/Na ratio. *Journal of Environmental Management*, *285*, 112142. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112142>.

- Sun, Y., Yang, Z., Tian, P., Sheng, Y., Xu, J., & Han, Y. F. (2019). Oxidative degradation of nitrobenzene by a Fenton-like reaction with Fe-Cu bimetallic catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, *244*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2018.11.009>.
- Tang, J., & Wang, J. (2020). Iron-copper bimetallic metal-organic frameworks for efficient Fenton-like degradation of sulfamethoxazole under mild conditions. *Chemosphere*, *241*, 125002. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.125002>.
- Tian, Y., He, X., Zhou, H., Tian, X., Nie, Y., Zhou, Z., Yang, C., & Li, Y. (2020). Efficient fenton-like degradation of ofloxacin over bimetallic Fe–Cu@Sepiolite composite. *Chemosphere*, *257*, 127209. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127209>.
- Vocciante, M., De Folly D'Auris, A., Finocchi, A., Tagliabue, M., Bellettato, M., Ferrucci, A., Reverberi, A. P., & Ferro, S. (2018). Adsorption of ammonium on clinoptilolite in presence of competing cations: Investigation on groundwater remediation. *Journal of Cleaner Production*, *198*, 480–487. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.025>.
- Wen, Jia, Dong, H., & Zeng, G. (2018). Application of zeolite in removing salinity/sodicity from wastewater: A review of mechanisms, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, *197*, 1435–1446. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.270>.
- Wen, Junfeng, Liu, X., Liu, L., Ma, X., Fakhri, A., & Gupta, V. K. (2021). Bimetal cobalt-Iron based organic frameworks with coordinated sites as synergistic catalyst for fenton catalysis study and antibacterial efficiency. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *610*, 125683. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125683>.
- Wu, Q., Siddique, M. S., & Yu, W. (2021). Iron-nickel bimetallic metal-organic frameworks as bifunctional Fenton-like catalysts for enhanced adsorption and degradation of organic contaminants under visible light: Kinetics and mechanistic studies. *Journal of Hazardous Materials*, *401*, 123261. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.123261>

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Technician in Chemistry from the Professional College of Uberlândia (2008), Bachelor of Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2010), Degree in Chemistry from the University of Uberaba (2011) and in Biological Sciences from the Faculdade Única (2021). Specialist in Teaching Methodology of Chemistry and Teaching in Higher Education at Faculdade JK Serrana in Brasília (2012), specialist in Teaching Science and Mathematics at Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Master in Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2015), with emphasis on development of bioadsorbent to remove As (V), Sb (III) and Se (IV) ions in different aquatic matrices. PhD in Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2018), with emphasis on Advanced Oxidative Processes [heterogeneous photocatalysis ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ and $\text{TiO}_2/\text{Solar}$) and $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ for removal of contaminants of emerging concern (CEC) in different aquatic matrices. She carried out her first Post-Doctoral internship (from May 2019 to June 2021) at the Federal University of Uberlândia with an emphasis on the application of new oxidizing agents using solar radiation to remove CEC in effluents from a sewage treatment plant. He is currently carrying out his second Postdoctoral Internship (July 2021 - current) at UFU in the same line of research. Degree in Physics at Faculdade Única (September 2021 to November 2022). He has 11 years of experience as a chemistry technician at the Federal Institute of Goiás, having acted as responsible for the analysis of physical-chemical and biological parameters of water and effluents from a sewage treatment plant. It operates in the following lines of research: (i) Development of new methodologies for the treatment and recovery of chemical waste generated in the laboratories of teaching and research institutions; (ii) CEC monitoring studies; (iii) Development of new advanced technologies for CEC removal in different aquatic matrices; (iv) Study and development of new bioadsorbents for environmental remediation of CEC in different aquatic matrices; (vi) Environmental Education and; (vii) literacy and scientific processes in the area of Science of Nature, especially biology and chemistry.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 44, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 62

Adsorvato 51, 52

B

Bioacumulativos 44, 49

Bioenergy 23, 24

Biota 40, 49

C

Cadaveric putrefaction activities 33

Cemeteries 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43

Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA) 47

Corante azul reativo 250 63

Crematoria 33, 35, 40, 41

D

Demanda biológica de oxigênio (DBO) 48

E

Efluentes galvânicos 44, 51

Efluentes industriais 44, 45, 47, 52, 54, 55

Electric energy 23, 24, 26, 29, 30

Ensino-aprendizagem 17, 18

Ensino de química 15

Environmental contamination 33

Escoamento laminar 2, 6, 7, 10, 12

Escoamento turbulento 1, 2, 12

F

Fenton 2, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65

Fluidodinâmica 1, 2, 6

Foto-fenton 59

Funeral practices 33

G

Galvanoplastia 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57

L

Lata de aerossol 8, 9, 10, 11, 12

Lúdico 15, 16, 22

M

Mechanical energy 23, 24

Meio ambiente 1, 18, 47, 53, 54, 55

Metais pesados 1, 44, 45, 47, 54, 56

Micronutriente 49

Mineralização 59

N

Necrochorum 32, 33, 34

Necropolises 33, 34, 35, 40, 41, 42

Número de reynolds 1, 5, 14

P

Poluentes 44, 58, 60

Processo de galvanoplastia 44, 45, 47

Processos Oxidativos Avançados (POAs) 59

Q

Quimúsica 15

R

Recurso didático 15, 17, 18, 19, 21

S

Simulação computacional 6, 8, 10, 13

Sugarcane bagasse 2, 23, 25, 30

T

Torneira bico alta 6

Torneiras 1, 2, 4

Z

Zeolita 58, 59, 60, 61, 62, 63

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING 2

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING 2


Ano 2022