

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-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



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



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

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).

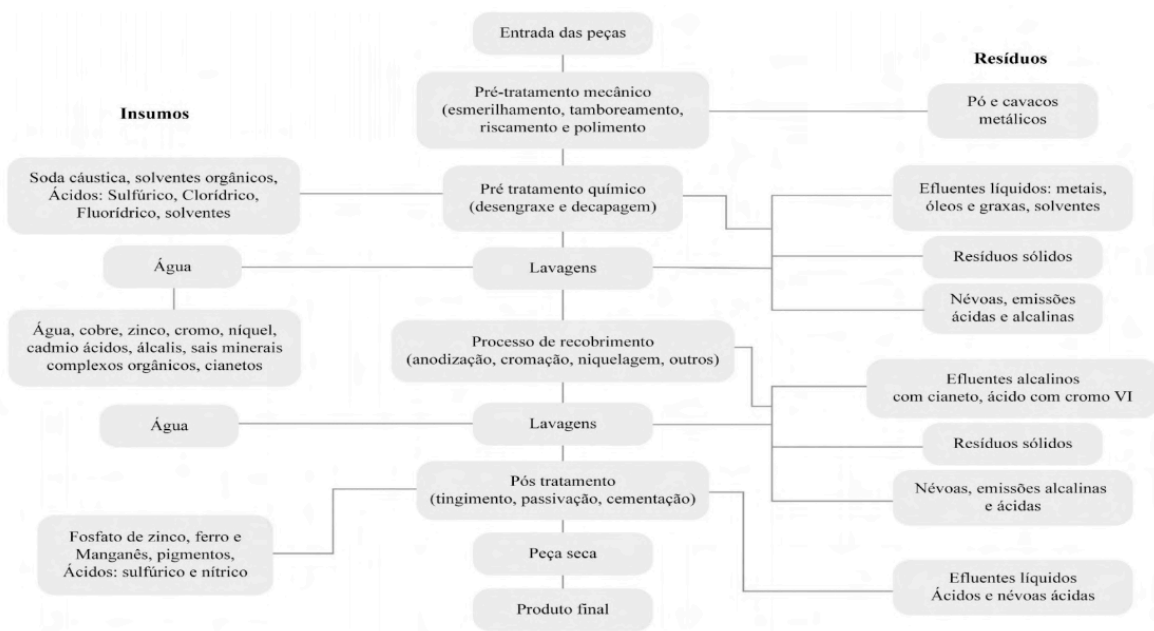


Figura 1. Principais etapas envolvidas no processo galvanização eletrolítica.

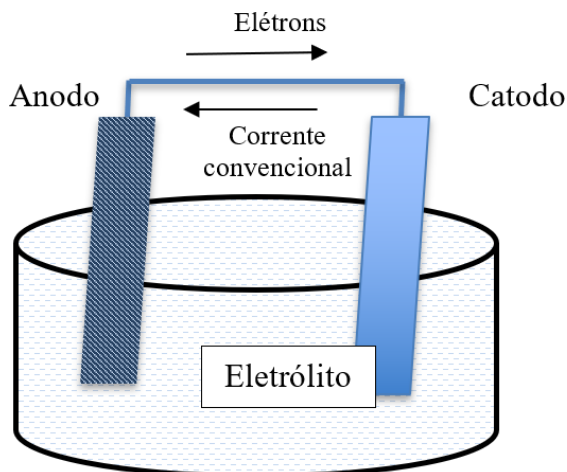
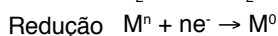
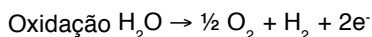


Figura 2. Esquema de célula eletrolítica.

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
Fluoretto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 g/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.

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