

Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Sabrina Passoni Maraviesk

(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

Sabrina Passoni Maraviesk
(Organizadora)

Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Dr^a Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) | |
|---|---|
| E82 | Estudos interdisciplinares: ciências exatas e da terra e engenharias / Organizadora Sabrina Passoni Maraviesk. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-57-4 DOI 10.22533/at.ed.574181510 1. Ciências exatas e da terra. 2. Engenharia. I. Maraviesk, Sabrina Passoni. CDD 507 |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 | |

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Estudos Interdisciplinares Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, e neste volume, em seus 18 capítulos, apresenta uma diversidade de estudos realizados nas diversas áreas das ciências exatas, da terra e das engenharias.

As Ciências Exatas e da Terra englobam diversas áreas como: a Física, a Matemática, Probabilidade e Estatística, a Química, a Ciência da Computação, a Astronomia, a Geociências e a Oceanografia. Estas áreas têm o importante papel de fornecer a base do conhecimento para as Engenharias e por este motivo, as Ciências Exatas e da Terra, englobam alguns dos campos mais promissores em pesquisas na Ciência, Tecnologia e Inovação.

Atualmente existem mais de trinta opções de formação acadêmica em Engenharia. E as mais comuns dentre elas são: Civil, Elétrica, Agrônoma, Mecânica, Ambiental, Florestal, Sanitária, de Computação, Química, de Alimentos, de Segurança do Trabalho, de Energias, Industrial, Produção, Biomédica, entre tantas outras.

A interdisciplinaridade entre estas áreas é um processo natural e inevitável, pois a formação dos profissionais engenheiros, seja qual for a Engenharia, necessita da relação entre diversas áreas do conhecimento.

O profissional formado em qualquer uma das áreas citadas acima se destaca pela capacidade de saber inovar com base na ciência, utilizando uma ou mais tecnologias. Isso se faz possível se este profissional tiver conhecimento das áreas que envolvam as relações humanas: como gestão, comunicação, liderança, habilidade de trabalho em equipe, empreendedorismo e criatividade. Atualmente não basta apenas ser bom em matemática e física, é preciso ser multi-intelectual.

Este volume é dedicado à interdisciplinaridade nas diversas áreas das Ciências Exatas e da Terra e das Engenharias, pois o mercado atual exige uma revolução tecnológica e cabe a nós pesquisadores, das diversas áreas, buscarmos conhecer as demandas atuais para promover essas inovações de forma interdisciplinar, e não isoladamente. Neste sentido, esta obra foi dividida em cinco áreas: Administração, Agronomia, Engenharia Civil somado à Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Elétrica e Ensino.

Na área de Administração, o leitor identificará a interdisciplinaridade entre gestão e planejamento ambiental de áreas urbanas destacando atividades econômicas que são potenciais poluidores, buscando assim, inovação na área de Engenharia Mecânica para minimizar danos ambientais. E ainda, que para entender o comportamento do consumidor para um determinado produto, neste caso, a carne bovina se faz necessário o conhecimento da área de Alimentos e Produção Industrial.

Na Agronomia, métodos e programas estatísticos são utilizados para mostrar que a população de nematódeos varia com propriedades físicas do solo. Em outro estudo, mostra-se a forte relação da agronomia com os conhecimentos de química quando

trata-se da eficiência de uso de Nitrogênio ou da sua remobilização no cultivo do arroz. Na quantificação da perda de solos de uma bacia Hidrográfica é possível identificar a interdisciplinaridade com a matemática e a geociências.

A interdisciplinaridade na Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo é ainda mais acentuada, principalmente no que diz respeito à utilização da matemática, química, física, geociências, tecnologias, gestão e sustentabilidade. Nos estudos, verifica-se que é possível propor soluções ambientais por meio de estudos alternativos, como por exemplo, o uso do bagaço de cana-de-açúcar incorporado à liga asfáltica de borracha, uso de radar de penetração no solo para análise de revestimentos asfálticos, manejo sustentável das águas pluvias no meio urbano, utilização de ferramentas de análise multicritério na concepção de sistemas de abastecimento de água provinda de corpos hídricos subterrâneos, qualidade da água e otimização dos projetos arquitetônicos e o crescimento populacional, planejamento e drenagem urbana.

Na Engenharia Elétrica questões bastante atuais são abordadas a fim de conduzir os pesquisadores à tecnológicas sustentáveis, como é o caso do uso do hidrogênio como combustível e a reciclagem de placas de circuito.

Por fim, a área de Ensino que, dentre todas é a mais interdisciplinar de todas as outras áreas. Nesta, são abordadas algumas questões como motivação e a importância da metodologia adotada em sala para se trabalhar o ensino-aprendizagem nas engenharias, licenciaturas e tecnologias.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Agrárias, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes, professores e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias promovendo a interdisciplinaridade nas diferentes áreas das Ciências Exatas e da Terra e das Engenharias.

Sabrina Passoni Maravieski

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ANÁLISE DO PERFIL POLUIDOR DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS INSTALADAS NOS MUNICÍPIOS DE MARINGÁ, PAIÇANDU E SARANDI NO PERÍODO DE 2000 A 2015. | |
| <i>Eloah Maria Machado Davantel</i> | |
| <i>Allan Barbeiro Modos</i> | |
| <i>Heloisa Helena da Silva Machado</i> | |
| <i>Júlio César Dainezi de Oliveira</i> | |
| <i>Silvia Luciana Fávaro</i> | |
| <i>Wagner André dos Santos Conceição</i> | |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 15 |
| ATRIBUTOS CONSIDERADOS POR CONSUMIDORES PARA A COMPRA DE CARNE BOVINA – ESTUDO DE CASO COM UNIVERSITÁRIOS DE CAMPO MOURÃO | |
| <i>Valderice Herth Junkes</i> | |
| <i>Andréa Machado Groff</i> | |
| | |
| CAPÍTULO 3 | 24 |
| IMPACTO DOS CUSTOS DE TRANSAÇÃO NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA NAVAL: ESTUDO DE CASO EM UM ESTALEIRO CEARENSE | |
| <i>Carlos David Pedrosa Pinheiro</i> | |
| <i>Priscila Maria Barbosa Gadelha</i> | |
| <i>Maxweel Veras Rodrigues</i> | |
| | |
| CAPÍTULO 4 | 40 |
| AVALIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE NEMATÓIDES DE VIDA LIVRE E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO EM CULTIVO DE ADUBOS VERDES | |
| <i>Erinaldo Gomes Pereira</i> | |
| <i>Amanda Elisa Marega</i> | |
| <i>Nágila Maria Guimarães de Lima Santos</i> | |
| <i>Cássia Pereira Coelho Bucher</i> | |
| <i>Ricardo Luiz Louro Berbara</i> | |
| <i>Luiz Rodrigues Freire</i> | |
| | |
| CAPÍTULO 5 | 48 |
| PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE REMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE MUTANTES DE ARROZ osap18 | |
| <i>Cássia Pereira Coelho Bucher</i> | |
| <i>Erinaldo Gomes Pereira</i> | |
| <i>Andressa Fabiane Faria de Souza</i> | |
| <i>Carlos Alberto Bucher</i> | |
| <i>Manlio Silvestre Fernandes</i> | |
| | |
| CAPÍTULO 6 | 53 |
| QUANTIFICAÇÃO DA PERDA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPÓ UTILIZANDO A EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS | |
| <i>Diogo Yukio Uema</i> | |
| <i>Laine Milene Caraminan</i> | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 7 | 64 |
| ANÁLISE COMPARATIVA DA DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA (DMT) DE UMA MISTURA ASFÁLTICA COM A INCORPORAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DO MÉTODO RICE | |
| <i>Arthur Pereira Neto</i> <i>Allan Barbeiro Modos</i> <i>Jesner Sereni Ildefonso</i> <i>Ronan Yuzo Takeda Violin</i> | |
| CAPÍTULO 8 | 74 |
| LEVANTAMENTO DE SEÇÕES COM EMPREGO DO RADAR DE PENETRAÇÃO (GPR) NA RODOVIA BR-153-ANÁPOLIS-GO | |
| <i>Antonio Lázaro Ferreira Santos</i> <i>Welitom Rodrigues Borges</i> <i>Isabela Resende Almeida</i> <i>Lucas Pereira Gonçalves</i> <i>Rafael Pereira Lima</i> <i>Rafael Araujo Rocha</i> | |
| CAPÍTULO 9 | 82 |
| MANEJO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MEIO URBANO: O CASO DE BRASÍLIA | |
| <i>Tereza Cristina Esmeraldo de Oliveira</i> <i>Maria do Carmo de Lima Bezerra</i> | |
| CAPÍTULO 10 | 96 |
| MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA | |
| <i>Daniel Cordeiro Ferreira</i> | |
| CAPÍTULO 11 | 109 |
| OTIMIZAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO CF40–G1 DO PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO – PAC EXECUTADO PELA COHAPAR | |
| <i>Allan Barbeiro Modos</i> <i>Arthur Pereira Neto</i> <i>Eloah Maria Machado Davantel</i> <i>Heloisa Helena da Silva Machado</i> <i>Berna Valentina Bruit Valderrama</i> <i>Júlio César Dainezi de Oliveira</i> | |
| CAPÍTULO 12 | 122 |
| PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA: CONCEPÇÃO E CENÁRIO ATUAL | |
| <i>Bruna Forestieri Bolonhez</i> <i>Bárbara Lorrayne da Silva Motta</i> <i>Paulo Fernando Soares</i> | |
| CAPÍTULO 13 | 132 |
| QUALIDADE DA ÁGUA NAS TRÊS BACIAS MAIORES (70%) CONTRIBUINTES DA BAÍA DE GUANABARA: GUAPI-MACACU, CACERIBU E IGUAÇU-SARAPUÍ | |
| <i>Ana Carolina Cupolillo Bruno Morena</i> <i>David Neves de Oliveira</i> | |

Herman de Castro Lima Neto
Hélder Martins Silva
Emmanoel Vieira da Silva-Filho
Elisamara Sabadini Santos
Edison Dausacker Bidone

CAPÍTULO 14 150

O HIDROGÊNIO COMO VETOR ENERGÉTICO

Diego Rafael Laurindo
Oswaldo Hideo Ando Junior

CAPÍTULO 15 167

RECICLAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DE METAIS

Maria do Socorro Bezerra da Silva
Raffael Andrade Costa de Melo
André Luis Lopes Moriyama
Carlson Pereira Souza

CAPÍTULO 16 180

ANÁLISE DO PERFIL, MOTIVAÇÃO, SATISFAÇÃO E EXPECTATIVAS DOS ACADÊMICOS DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIANGULO MINEIRO

Vinícius Henrique Vivas
Priscila Pereira Silva
Luciene Alves
Geoffroy Roger Pointer Malpass

CAPÍTULO 17 196

CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL: IMPORTÂNCIA DA APRENDIZAGEM NO CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

Jerry Gleison Salgueiro Fidanza Vasconcelos
Maria de Lourdes Silva Neta
Antônio Cícero do Vale
Erick Dieb Souza

CAPÍTULO 18 207

UMA FORMA LUDICA DE APRENDER

Anna Cristina Barbosa Dias de Carvalho

SOBRE A ORGANIZADORA..... 215

RECICLAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: UM ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DE METAIS

Maria do Socorro Bezerra da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química. Natal – Rio Grande do Norte

Raffael Andrade Costa de Melo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química. Natal – Rio Grande do Norte

André Luis Lopes Moriyama

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química. Natal – Rio Grande do Norte

Carlson Pereira Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química. Natal – Rio Grande do Norte

RESUMO: O lixo eletrônico está se tornando um dos problemas ambientais e sociais mais graves da atualidade e nosso principal intuito é chamar atenção, bem como tomar consciência deste problema. Neste estudo, é exposta uma metodologia para a remoção de metais a partir de Placas de Circuito Impresso (PCI). A tecnologia abordada, leva à minimização de impactos ambientais por recuperar os elementos metálicos de PCI's, o que reduz a exploração de depósitos minerais. A extração dos metais é realizada por processo hidrometalúrgico, seguido por eletrodeposição em uma célula eletroquímica simples, composta

de dois eletrodos (anodo e catodo), ambos de fios de cobre. Neste processo, os metais cobre, estanho e prata, são depositados na forma metálica na superfície do catodo, a partir da aplicação de uma corrente constante entre os eletrodos do reator eletroquímico. Quando esta corrente é aplicada, os íons destes metais, que se encontram dissolvidos na solução lixiviada de metais, são reduzidos na área ativa do catodo. A medida que alguns parâmetros variam, como tempo, densidade de corrente, presença ou não de agitação, há um acúmulo do metal a ser recuperado, ou uma diminuição, demonstrando as condições mais favoráveis para a recuperação destes metais. A remoção do cobre é eficiente em todos os parâmetros estudados, da prata acontece em corrente de 1 A, com agitação e tempo entre 30 minutos e 60 minutos, com o licor original, e do estanho é alcançada em soluções diluídas, sem agitação, corrente de 1,5 A e 60 minutos.

PALAVRAS-CHAVE:

Reciclagem, Hidrometalurgia, Placas de Circuito Impresso, cobre, prata, estanho, eletrodeposição

ABSTRACT: Electronic waste is becoming one of the most serious environmental and social problems of our time and our main intention is to draw attention and to be aware of this problem. In this study, a methodology for the removal of metals from printed circuit boards

(PCI) is exposed. The technology discussed takes to the minimization of environmental impacts by recovering metallic elements of PCI's, which reduces the exploitation of mineral deposits. The extraction of the metals is performed by hydrometallurgical process, followed by electrodeposition in a simple electrochemical cell, composed of two electrodes (anode and cathode), both of copper wires. In this process, the copper, tin and silver metals are deposited in the metallic form on the surface of the cathode, from the application of a constant current between the electrodes of the electrochemical reactor. When this current is applied, the ions of these metals, which are dissolved in the metal leached solution, are reduced in the active area of the cathode. As some parameters vary, such as time, current density, presence or not of agitation, there is an accumulation of the metal to be recovered, or a decrease, demonstrating the most favorable conditions for the recovery of these metals. The removal of copper is efficient in all the studied parameters, silver happens in a current of 1 A, with agitation and time between 30 minutes and 60 minutes, with the original liquor, and the tin is reached in dilute solutions, without agitation, current 1.5 A and 60 minutes.

KEYWORDS: Recycling, Hydrometallurgy, Printed Circuit Boards, copper, silver, tin, electroplating

1 | INTRODUÇÃO

A industrialização e a urbanização rápida, representam no cenário atual uma série de problemas ambientais. Entre eles se destaca, a contaminação por metais pesados, se tornando muito grave devido ao crescimento dramático principalmente na indústria eletrônica nos últimos anos. Com esta demanda, inicia-se numerosos estudos sobre remoção de metal, que levam ao desenvolvimento de várias técnicas, como precipitação, adsorção/biossorção, permuta iônica, dentre outras (CHEN E YU 2000; CHEN et al. 2002). Essas tecnologias são provadas para serem eficazes para remoção de metal, no entanto, elas não conseguem recuperar os metais pesados valiosos que são posteriormente reutilizados, além de custos adicionais com reagentes.

De acordo com Zhang e Forssberg (1998), a sucata eletrônica (Equipamentos Eletroeletrônicos) é comprovadamente digna de reciclagem com base na composição dos materiais. Normalmente, a sucata eletrônica contém metais preciosos como Au, Ag, Pd, metais comuns como Sn, Cu, Al, Fe e não-metais, como plásticos, vidro e cerâmica. Além disso, os componentes reutilizáveis, como chips de computador, são de grande valor. O tratamento atual da sucata eletrônica é direcionado principalmente para a recuperação de energia e metais (Cu, e metais preciosos como Au e Ag). Por métodos hidrometalúrgicos, somente a extração parcial dos metais preciosos pode geralmente ser feita por causa da significativa heterogeneidade e complexidade dos materiais presentes na sucata eletrônica. Neste ponto, o uso da abordagem eletroquímica para recuperar íons metálicos destes resíduos em seu estado metálico é considerado uma técnica eficaz e eficiente, e método relativamente simples e limpo.

Neste estudo, abordaremos a remoção do cobre, prata e estanho, bem como outros metais, com foco na reciclagem de Placas de Circuito Impresso de computadores obsoletos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. São inúmeros os trabalhos realizados para remoção de cobre deste tipo de material, uma quantidade considerável de remoção da prata e número muito pequeno que trata sobre a remoção do estanho. Alguns autores que realizaram o tratamento deste material para extração e remoção destes metais em solução, por métodos semelhantes aos utilizados neste estudo, se destacam por conseguirem resultados significativos.

Segundo Sum (1991), se os metais forem concentrados através de hidrometalurgia (ex. dissolução seletiva, troca iônica ou extração por solvente) eles podem ser eletrodepositados diretamente das soluções aquosas sobre o cátodo. Por exemplo, em uma solução de sulfato contendo, cobre e níquel, pode-se eletrodepositar o metal cobre, deixando o níquel em solução (SUM, 1991).

Gouveia, (2014) - apresentou um novo processo para a produção de cobre a partir do pó concentrado de placa de circuito impresso (PCI). A agitação e o aumento de temperatura favoreceram a recuperação do cobre, tendo a agitação demonstrado ser o parâmetro mais importante para aumentar a eficiência da recuperação de cobre a partir de PCIs. A 25 °C, obteve-se uma recuperação aparente de cobre de 96% após 15h de eletrólise a uma velocidade de agitação de 415 rpm, enquanto a 40 °C e sem agitação a recuperação foi de apenas 90%. Park e Fray (2009), recuperaram os metais preciosos de Placas de Circuito Impresso utilizando como meio lixiviante a água régia. Não houve a lixiviação da prata neste meio reacional. A quantidade precipitada foi de 93 % em peso do paládio. Uma extração líquido-líquido com tolueno foi utilizada para extrair o ouro seletivamente. E adicionou-se dodecanotiol e solução de borohidrido de sódio para formar nanopartículas de ouro. O ouro extraído foi cerca de 97 % em peso. No presente estudo, a porcentagem de prata lixiviada usando este mesmo meio reacional foi acima de 70%, não sendo necessário outros reagentes para a eficácia na recuperação da prata e de outros metais de interesse econômico e ambiental. Lee (2003), recuperou cobre, estanho e chumbo das soluções nítricas usadas na gravação da Placa de Circuito Impresso e a regeneração desta solução. Extração com solventes, decapagem, eletrodeposição, precipitação e cimentação foram realizadas. O metal puro de cobre foi obtido por eletrólise e os íons de estanho foram precipitados ajustando o pH da solução com o Pb (OH). Metal de chumbo com pureza de 99% foi obtido por cimentação com pó de ferro.

Veit et al., (2006) utilizaram a eletrodeposição para recuperar o cobre presente nas PCI's. Processamento mecânico (cominuição, separações granulométrica, magnética e eletrostática) foram utilizados para concentrar a maior parte do metal em única fração, que após lixiviado, foi eletrodepositado, obtendo um percentual de recuperação de 98% na maioria dos casos.

A recuperação do cobre, um processo indubitavelmente mais explorado e estudado do que a recuperação de outros metais, a bibliografia atualmente existente

já tem praticamente cobertas todas as alternativas existentes, e as aplicações industriais atualmente existentes estão já bastante otimizadas, não dando margem para o aparecimento de novos processos, apenas o melhoramento de alguns. Para Gouveia (2014), é interessante abordar a recuperação de outros metais, como o estudo de metais do grupo da platina, prata e estanho, uma vez que possuem também elevado valor de mercado e podem ser encontrados, em diferentes quantidades, que não são desprezáveis, nas Placas de Circuito Impresso. A abordagem deste estudo é justamente a remoção de metais destes licores, contemplando principalmente a remoção de estanho e prata, dentre outros metais, por processos de eletrodeposição utilizando eletrodos de cobre e fazendo uso de uma rota hidrometalúrgica, como etapa inicial do processo de remoção, que permite solubilizar os metais com um meio lixiviante (água régia) de forma a otimizar a sua recuperação em formas valorizáveis, econômicas e ambientais.

2 | PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI'S)

As placas de circuito impresso utilizadas neste estudo, foram fornecidas pelo Departamento de Material e Patrimônio (DMP/UFRN), responsável pelos computadores obsoletos de toda Universidade Federal do Rio Grande do Norte. São computadores que não são mais utilizados e que são descartados e recolhidos pelo DMP. As placas referentes a esses computadores são de vários fabricantes, não tendo distinção de marca e ano. Os resíduos das placas de circuito impresso foram primeiro submetidos às operações de separação, desmontagem, fragmentação, classificação e amostragem, realizadas por (MEDEIROS 2015; MELO 2017).

O pó obtido das placas, composto por vários metais de diferentes concentrações, foram dissolvidos em água régia. Ao término da lixiviação, o sistema foi filtrado, e o licor lixiviado contendo todos os metais dissolvidos foram aplicados no processo de eletrodeposição. As condições operacionais analisadas no processo de remoção de metais por eletrodeposição foram as seguintes: densidade de corrente, variação de tempo e com e sem agitação mecânica. As análises da remoção de metais foram realizadas com o licor original, em seguida o licor foi diluído em água destilada em proporção de 1:3 e utilizado novamente no processo eletroquímico. A tabela 1 apresenta as condições operacionais aplicadas ao processo eletroquímico, tanto para a solução real, quanto para a solução diluída.

| Corrente (A) | Agitação (550 RPM) | Tempo (min.) |
|--------------|--------------------|--------------|
| 0,5 | Com | 15 a 120 |
| | Sem | |
| 1,0 | Com | 15 a 120 |
| | Sem | |

Tabela 1. Condições operacionais aplicadas ao processo eletroquímico

As análises químicas realizadas para comprovar a eficácia do processo foram realizadas por Espectroscopia de Fluorescência de Raio-X.

Por ser um resíduo de difícil reciclagem, devido a sua complexidade e heterogeneidade de metais, o meio lixiviante (água régia) aqui utilizado, foi altamente eficiente, mostrando resultados de rendimento para o cobre de 100 % a 80°C, sendo, portanto, este um lixiviante muito eficaz para este metal. Para a maioria dos metais, este lixiviante se mostrou ser de grande eficiência, como para o ferro, o estanho e o chumbo com rendimentos acima de 70 %. Titânio, cálcio, cromo, zinco e o níquel obtiveram rendimentos semelhantes ao do cobre, acima de 95%. Quanto à prata, também se obteve um bom rendimento, acima dos 70% para uma lixiviação a 80°C.

Obtendo-se estes resultados, na etapa de eletrodeposição, foi possível remover estes íons na sua forma metálica. A figura 1 mostra a célula eletroquímica usada no processo eletroquímico.

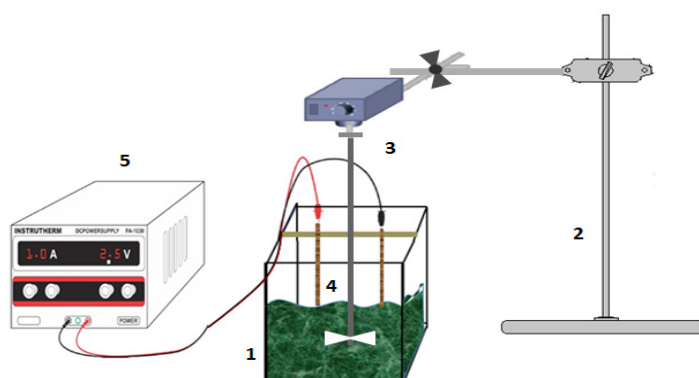


Figura 1 - Célula eletroquímica. 1) reator eletroquímico, 2) suporte, 3) agitador mecânico, 4) eletrodos de cobre, 5) fonte de alimentação.

3 | PROCESSO ELETROQUÍMICO

Foram realizados ensaios com variações de corrente 0,5 A - 1 A - 1,5 A e variações de tempo 15, 30, 60, 90 e 120 minutos não sequenciais, ou seja, após realizar cada ensaio, as alíquotas colhidas durante o processo, o pó depositado nos catodos e o cátodo foram enviadas para análise química por análise de Fluorescência de Raio-X (FRX) e outro processo era iniciado com uma nova solução. Em todas as análises por FRX, uma varredura de todos os elementos da tabela periódica foi realizada. O depósito de metais no catodo, nas soluções diluídas, foram analisados por Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo MEV – FEG.

4 | CONDIÇÕES OPERACIONAIS: DENSIDADE DE CORRENTE E DO TEMPO DE DEPOSIÇÃO

Em todos os processos eletroquímicos, a densidade de corrente é o parâmetro mais importante para controlar a taxa de reação dentro do reator eletroquímico. A densidade de corrente, neste caso, determina a taxa de produção dos íons Cu^{2+} liberados pelo ânodo. As densidades de corrente 0,11 – 0,22 e 0,33 A/cm², apresenta respectivamente os valores de corrente de 0,5 – 1 e 1,5 A.

Em 60 minutos do processo de deposição, verificou-se que o aumento da densidade de corrente leva a uma menor eficiência de corrente, afetando assim a quantidade do depósito de prata no cátodo. Para Horkan (1981), um aumento na densidade de corrente leva ao aumento do excesso de energia catódica, aumentando a ativação das reações na superfície do eletrodo, o que, por sua vez, provoca um aumento do teor de algumas espécies e uma diminuição do no teor de outros, o que de fato é verificado no presente estudo.

O processo de eletrodeposição com agitação mecânica contínua, apresentam melhores taxas de deposição, em todas as densidades de corrente, um resultado satisfatório foi apresentado quando o processo operou em densidade de 0,22 A/cm² e 60 minutos, atingindo uma concentração de 7, 15% de deposição de prata, para as outras densidades de corrente 0, 11 e 0,33A/cm², obteve-se 1,5% e 2,5% respectivamente. Para a reação eletroquímica sem agitação contínua, verifica-se que, na deposição do metal quando a corrente aplicada foi de 1,5 A, a massa da mesma foi inferior a 1%. Para as correntes de 0,5 e 1,0 A, ambas sem agitação, obteve-se uma deposição da prata de 2,3% e 3,6% respectivamente.

Definida a corrente que apresentou resultados mais significativos, foi necessário a otimização do tempo de deposição da prata no processo. O tempo deposição variou em tempos de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos e a densidade de corrente foi mantida constante de 0,22 A/cm². A figura 2 apresenta taxas de deposição para os dois processos, com e sem agitação mecânica com tempos variados.

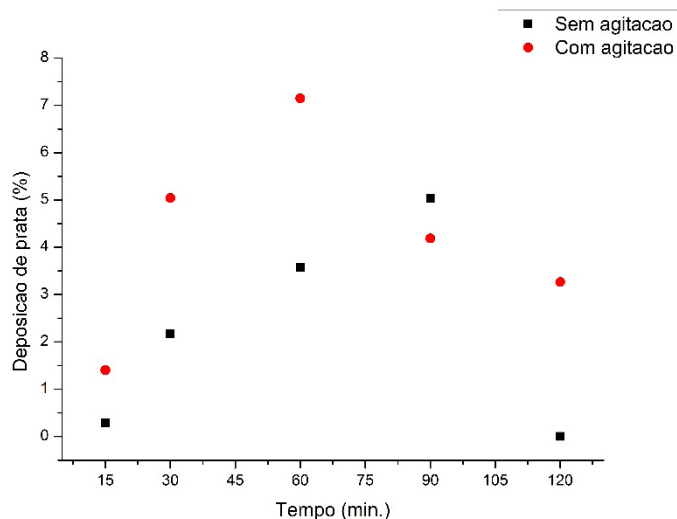


Figura 2 - Eletrodeposição da Prata para diferentes tempos, com agitação e sem agitação mecânica.

O processo sem agitação apresenta taxas de deposições variáveis nos tempos de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos, sendo 0,28%, 2,2%, 3,6%, 5,0% e 0%, respectivamente. O valor de 0% no tempo de 120 minutos ocorreu pelo o fato do ânodo, após 100 minutos do processo, ser completamente oxidado, neste momento não houve mais um equilíbrio na transferência de cargas na solução, uma vez que o ânodo não estava mais em contato com a solução impossibilitando a passagem da corrente e todo o depósito do catodo caiu em solução e voltou a dissolver-se.

No processo com agitação, a deposição da prata se mostra de forma significativa, apresentando taxas de remoção acima de 1% em todos os tempos analisados, sendo 1,4% - 5,0% - 7,2% - 4,2% e 3,3% respectivamente para os tempos estudados em ordem crescente, como mostrado para o processo sem agitação. Os tempos de 15 e 120 minutos apresentam comportamentos distintos em relação à deposição de prata, sendo que no processo sem agitação houve comportamentos inesperados em 120 minutos, prejudicando a deposição da prata. Em ambos os processos a taxa de deposição da prata em 15 minutos foi baixa, se mostrando insignificante no processo sem agitação mecânica, para a eletrodeposição no tempo de 120 minutos e com agitação consegue-se taxas de remoção acima de 3%. A agitação da solução tem um efeito significativo para ambos os casos estudados (análise da densidade de corrente e variações de tempo), favorecendo à deposição de prata, assim como de cobre e outros metais, no catodo. O tempo entre 30 e 60 minutos para este processo, seria suficiente para consideráveis remoções de prata desta solução. Para as reações com agitação, nos tempos acima citados, apresentam uma remoção da prata em solução de aproximadamente 60% para ambos.

Mesmo já identificada a valiosa remoção da prata, existem outros metais que por ventura também tem afinidade pelo eletrodo utilizado e se depositaram junto com ela, dentre eles o cobre, outros metais, como o zinco, alumínio e cálcio apresentaram

pequenos depósitos em tempos específicos, no entanto foram bem abaixo de 1 e não estão mostrados na tabela. A tabela 2 mostra a concentração de cada elemento em todos os tempos de processo, sendo 15, 30, 60, 90 e 120 minutos operando com corrente constante.

| Metais | Tempo (minutos) | | | | | |
|-----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 15 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| | % | c.a./s.a. | c.a./s.a. | c.a./s.a. | c.a./s.a. | c.a./s.a. |
| Cu | 40.71 | 98.28/99.12 | 92.64/97.10 | 92.65/94.74 | 94.31/94.81 | 95.82/99.26 |
| Al | 0.601 | 0.00/0.231 | 0.36/0.39 | 0.00/0.36 | 0.44/0.14 | 0.53/0.39 |
| Ag | 1,539 | 1.46/0.284 | 5.04/2.17 | 7.35/3.58 | 4.19/5.04 | 3.55/0.00 |

Tabela 2 - Concentração de metais presentes no catodo.

Na tabela 2, o tempo 0 corresponde a solução inicial (lícor lixiviado), e as abreviações c.a. e s.a. correspondem aos parâmetros estudados, com agitação e sem agitação, respectivamente. A deposição dos metais foi realizada em corrente constante, enquanto que a voltagem diminuía ao longo do processo, o que pode ser explicado à variação de metais que aderiram a superfície do cátodo.

5 | ELETRODEPOSIÇÃO COM O LIXIVIADO DILUÍDO

Esta etapa foi realizada seguindo os mesmos parâmetros anteriormente citados para a solução sem diluição. As soluções lixiviada de metais foram diluídas com água destilada em proporções de 1:3 e 1:7, com o objetivo de verificar a remoção de metais no lixiviado adicionando água destilada em sua composição.

6 | SOLUÇÃO DILUIÇÃO DE 1:3

O mesmo arranjo na célula, apresentado na figura1, com dois eletrodos de cobre, se manteve, e as densidades de corrente foram as mesmas já descritas. Nestes ensaios não foram analisados tempos maiores que 60 minutos, visto que este tempo já é removido quantidades consideráveis de metais, como verificado para a prata, cobre e alumínio, porém foram realizadas reações com agitação e sem agitação. A figura 3 apresenta a evolução do processo na célula eletroquímica em aproximadamente 30 minutos de reação para uma diluição de 1:3, sem agitação mecânica e 1,5 A de corrente aplicada.

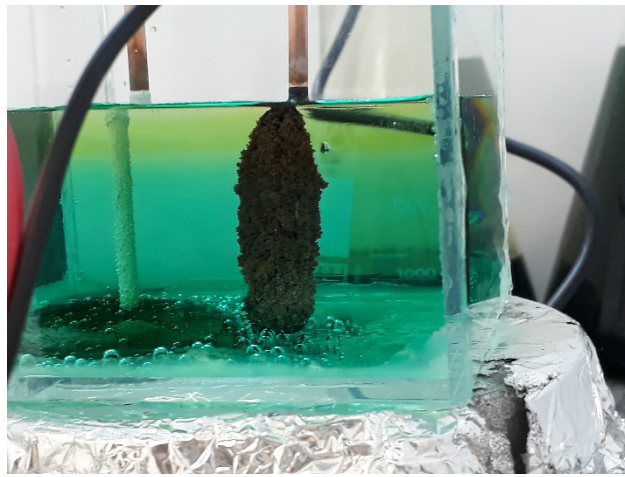


Figura 3 - Célula eletroquímica com uma reação em andamento

Verifica-se uma diferença da coloração, que vai evoluindo ao decorrer da reação e se divide em três fases. A coloração de cima é amarelada, a do meio continua verde clara, e a de baixo um azul escuro. No anodo, mesmo com a perda de massa, é depositada uma fina camada branca, a qual está associada ao cloreto de sódio identificado pela análise química. No catodo, uma camada de metais é depositada. Essa camada branca se formando no anodo, é observada logo nos primeiros minutos de reação, e parte dela caia na solução à medida que a reação se processava, e outra permanece aderida ao anodo, mesmo após o desligamento da fonte. No fim do processo, não foi possível analisa-lo separadamente, pois se dissolve facilmente na solução. No entanto, a camada de pó branco que ainda fica depositada no anodo foi analisada, comprovando ser um composto de cloreto de sódio.

Em todas as reações, ao finalizar os processos, com e sem agitação, os eletrodos são retirados, e levados para secar na estufa á 60°C por meia hora. Após, os eletrodos são retirados da estufa e pesados para verificar o ganho de massa dos metais. O depósito é removido facilmente balançando a parte com o depósito dentro de um endorf, e encaminhados para a análise química por FRX e MEV-FEG – EDS. Ao iniciar outro processo, novos eletrodos são utilizados. Os depósitos dos catodos analisados por FRX estão apresentados na tabela 3, para o processo com e sem agitação.

| Elementos | 0,5 A | 1,0 A | 1,5 A |
|-----------|------------------|------------------|-----------------|
| | % c.a. / s.a. | % c.a. / s.a. | % c.a / s.a. |
| Cu | 94,458 / 53,355 | 94,099 / 78,543 | 88,397 / 67,152 |
| Cl | 3,435 / 21,18 | 4,250 / 6,743 | 9,079 / 3,881 |
| Na | 0,000 / 9,765 | 0,000 / 0,000 | 1,593 / 0,000 |
| Ca | 0,000 / 1,042 | 0,000 / 0,000 | 0,331 / 0,000 |
| Pb | 0,194 / 0,572 | 0,194 / 1,600 | 0,103 / 1,731 |
| Ag | 3,191 / 0,391 | 1,398 / 0,990 | 1,571 / 0,764 |
| Al | 0,301 / 0,768 | 0,190 / 0,309 | 0,450 / 0,183 |

| | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
| Fe | 0,000 / 0,274 | 0,000 / 0,000 | 0,000 / 0,000 |
| Sn | 0,000 / 12,552 | 0,000 / 11,993 | 0,000 / 26,288 |

Tabela 3 - Composição dos depósitos do catodo para o processo com agitação (c.a.) e sem agitação (s.a.)

A composição dos depósitos no catodo para o processo com agitação, apresenta uma elevada concentração de cobre, seguida do cloro e da prata. Apesar do estanho está em grande quantidade na solução, não foi verificada nenhuma taxa de deposição do mesmo neste processo com agitação, estando todo ele ainda presente na solução. Na composição dos depósitos do processo sem agitação é obtida altas taxas de remoção para o estanho, seguido do cobre, cloro, prata, alumínio e chumbo. Sódio, cálcio, ferro e níquel só são depositados para a corrente de 0,5 A. além disso, outras frações de metais, como pode ser verificado na tabela 3, também estão aderidas a superfície do eletrodo. O processo sem agitação favorece a deposição do estanho. As alíquotas colhidas ao final do processo e analisadas por FRX, apresenta uma diminuição na concentração de todos os elementos que estavam presentes na solução no início do processo, como é verificado na tabela 4. A tabela 4 mostra a concentração de metais ao final de cada processo, em todas as correntes estudada e sem agitação mecânica.

| Metais | Solução inicial | 0,5 A | 1,0 A | 1,5 A |
|-----------|-----------------|--------|---------|---------|
| Cu | 40,711 | 61,939 | 59,0955 | 61,2985 |
| Cl | 24,904 | 21,834 | 28,37 | 24,2705 |
| Na | 3,638 | 1,91 | 5,3395 | 8,5405 |
| Sn | 17,265 | 6,717 | 2,766 | 2,789 |
| Ca | 7,326 | 4,126 | 2,4135 | 1,501 |
| Ag | 1,539 | 0,409 | 0,4305 | 0,441 |
| Pb | 1,966 | 0,997 | 0,416 | 0,416 |
| Fe | 1,195 | 0,867 | 0,51 | 0,375 |
| Ni | 0,209 | 0,176 | 0,082 | 0,06 |
| Si | 0,314 | 0,341 | 0,117 | 0,075 |
| Cr | 0,179 | 0,117 | 0,057 | 0,0415 |
| Al | 0,601 | 0,496 | 0,37 | 0,1695 |
| Ti | 0,154 | 0,071 | 0,033 | 0,0225 |

Tabela 4 - Concentração de metais ao final de cada processo sem agitação.

Pela análise química, pode-se afirmar que há prováveis formação de cloreto de sódio, assim como cloreto de prata, pois durante o processo, pós branco que estavam sendo depositados no anodo caíam na solução, e eram bem solúveis, características dos compostos contendo cloretos. Ao final do processo, ainda encontra-se uma considerável porcentagem de estanho em todas as correntes aplicadas, principalmente para a corrente de 0,5 A. Isso significa, que a corrente foi baixa, minimizando a geração de íons para a solução, assim como o transporte de íons para o catodo.

A morfologia dos depósitos mostra características semelhantes de acordo

com os parâmetros estudados, com agitação e sem agitação. As estruturas dos metais depositados no catodo, para o processo com agitação, formam aglomerados semelhantes a flores. Essa estrutura é mais visível para as correntes de 1,0 e 1,5 A. o metal de maior concentração nestes depósitos é o cobre, e em toda a área analisada por MEV, as características permanecem, confirmando que a morfologia formada deve-se ao cobre. Para o processo sem agitação, a morfologia é visivelmente interessante, formada por estruturas semelhantes a folhas de uma samambaia, em alguns pontos perfeitamente estruturadas. A morfologia do cobre metálico exibe uma estrutura mais angular mostrada na figura 4.

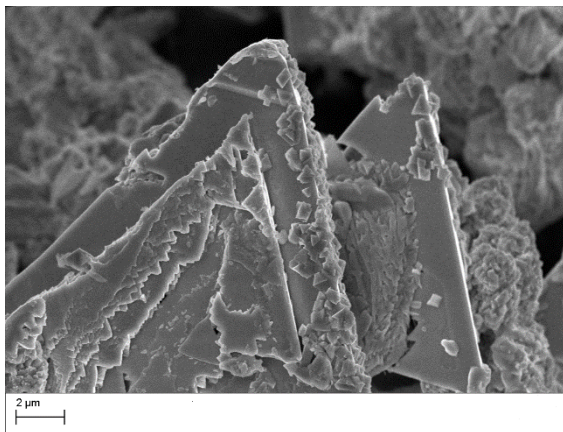


Figura 4 - Estrutura angular do cobre sólido, sem agitação e corrente de 1,5 A.

Dos metais base presente no depósito do catodo, o cobre é o mais depositado, por causa do seu alto potencial em relação ao hidrogênio. Além do cobre, o sódio, níquel, estanho, zinco e metais preciosos também podem ser recuperados desta maneira.

Nas morfologias dos processos, sem agitação mecânica, não foi identificado a estrutura do estanho, podendo este está formando uma liga Cu-Sn, como formatos esféricos, ou uma liga Pb-Sn. Outras estruturas foram identificadas, como do chumbo, apresentando estruturas em forma de bastão e óxido de cobre, apresentando estrutura em forma de cubo, e estão apresentadas na figura 5 e 6.

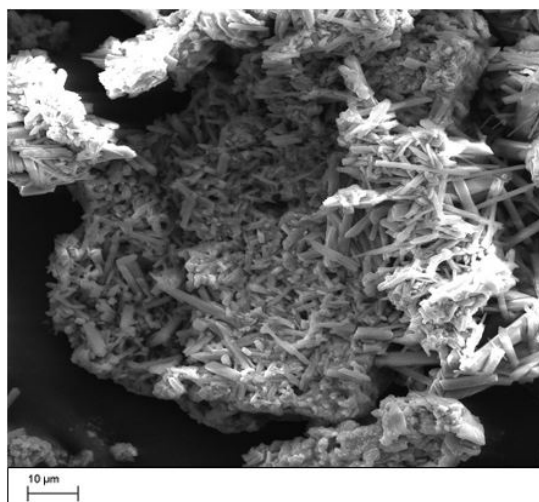


Figura 5 – Morfologia do chumbo metálico.

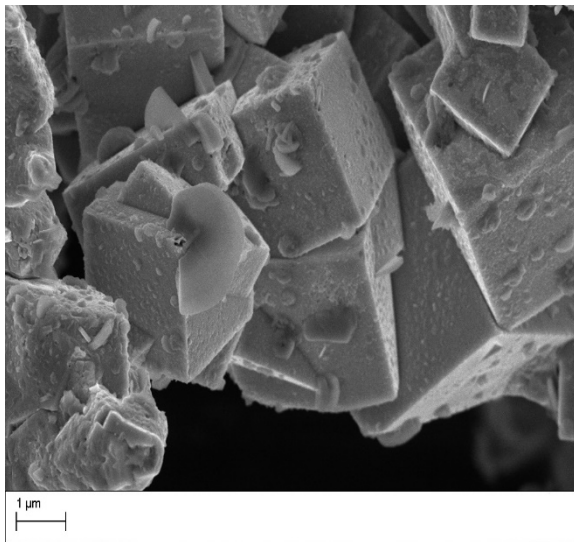


Figura 6 – Morfologia do óxido de cobre.

As estruturas, características do cobre, são formadas de acordo com cada parâmetro estudado. Um exemplo é o cobre metálico, que apresenta uma estrutura angular quando o processo é mantido sem agitação, verificado nas morfologias dos depósitos das soluções diluídas de 1:3. Nas morfologias dos depósitos no processo com agitação, o cobre se mostra em uma estrutura quadrada, um cubo, característico de óxido de cobre.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo desenvolvido neste estudo mostrou-se uma alternativa viável e permitiu recuperar cobre, estanho e prata das PCI's, através de uma tecnologia relativamente simples, sem problemas ambientais e também sem muitos gastos energéticos relacionados a outros processos.

Os parâmetros com agitação e sem agitação, indicaram que no processo com agitação, a eficiência na recuperação da prata foi eficiente, tendo uma melhor deposição na densidade de corrente de $0,22 \text{ A/cm}^2$ com valores superiores a 50% de remoção e demonstrando ser um parâmetro muito importante na recuperação de prata de Placas de Circuito Impresso.

Nas soluções diluídas, os processos sem agitação favoreceram a remoção de estanho com taxas de remoção acima de 70 % e em alguns casos chegando a aproximadamente 100%.

A recuperação de estanho e de cobre nos precipitados a partir de licores lixiviados de Placas de Circuito Impresso (PCI), atingiram valores significativos na maior parte dos parâmetros estudados neste sistema.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior (CAPES) e pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Laboratório de Materiais Nanoestruturados e Reatores Catalíticos (LMNRC), muito grata.

REFERÊNCIAS

Chen, J.P., Hong, L., Wu, S.N., Wang, L. Elucidation of interactions between metal ions and Ca-alginate based ion exchange resin by spectroscopic analysis and modeling simulation. **Langmuir** 18, 9413–9421, 2002.

GOUVEIA, A. R. **Recuperação de metais de Placas de Circuito Impresso por via hidrometalúrgica**.2014. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

JP Chen, H. Yu. Elimination of synthetic wastewater by crystallization in a fluidized bed reactor. **Journal. Environ. Sci. Saúde, Parte A - Tóxico / Perigo. Substâncias e Ambiente**. Eng. A, 35, pp. 817- 835, 2000.

LEE, M. S., AHN, J. G., AHN, J. W. Recovery of copper, tin and lead from the spent nitric etching solutions of printed circuit board and regeneration of the etching solution. **Hydrometallurgy**. V. 70, p. 23-29, 2003.

MEDEIROS, N.M. **Caracterização e Separação Física de Placas de Circuito Impresso de Computadores Obsoletos**.2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

MELO, R. A. C. **Estudo da lixiviação de placas de circuito impresso de computadores desktops obsoletos da UFRN**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

PARK Y.J., FRAY D.J. Recovery of High purity Precious Metals from Printed Circuit Boards. **Journal of Hazardous Materials**. V. 164, p. 1152-1158, 2009.

SUM, E. Y. L. The recovery of metals from electronic scrap. **JOM**, V. 43, p. 53-61, 1991.

VEIT, H. M., BERNARDES, A. M., FERREIRA, J. Z., TENÓRIO, J. A. S., Malfatti, C. F. Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy, **Journal of Hazardous Materials**, V. 137, p. 1704-1709, 2006.

ZHANG, S., FORSSBERG, E. Mechanical recycling of electronics scrap - The current status and prospects. **Waste Management and Research**, V.16, p.119–128, 1998.

SOBRE A ORGANIZADORA

SABRINA PASSONI MARAVIESK Possui graduação em Licenciatura em Física e Mestrado em Ciências/ Física, ambos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Atualmente é doutoranda na área de Ensino de Ciências nas Engenharias e Tecnologias pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. É também professora adjunta do Centro de Ensino Superior de Campos Gerais na cidade de Ponta Grossa. Ministra as disciplinas de: Mecânica dos Fluidos, Fenômenos de Transporte, Mecânica Aplicada, Eletricidade e Magnetismo, Física Atômica e Nuclear, Física da Ressonância Magnética Nuclear, Física das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes e Física e Instrumentação Aplicada a Engenharia Biomédica; nos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Civil, Tecnologia em Radiologia, Pós -Graduação em Segurança do Trabalho e Imagenologia. Já atuou como professora de Ensino Médio em escolas pública e particular ministrando aulas de Física e Robótica.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-57-4



9 788585 107574