



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Departamento de Química

Bacharelado em Química Tecnológica

Larissa Fernanda Menezes Alves Vieira

Relatório de Estágio Curricular Supervisionado

**Estudo da Biolixiviação como Método de Recuperação de Metais de Resíduos
Eletroeletrônicos**

Belo Horizonte

2023



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Departamento de Química

Bacharelado em Química Tecnológica

Relatório Final Estágio Curricular Obrigatório

**Estudo da Biolixiviação como Método de Recuperação de Metais de Resíduos
Eletroeletrônicos**

Larissa Fernanda Menezes Alves Vieira

Estagiária

Esther Maria Ferreira Lucas

Orientadora

Belo Horizonte

2023

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Departamento de Química

Bacharelado em Química Tecnológica

Relatório Final Estágio Curricular Obrigatório

Estudo da Biolixiviação como Método de Recuperação de Metais de Resíduos Eletroeletrônicos

Larissa Fernanda Menezes Alves Vieira

DECLARAÇÃO

Eu Matheus Carvalho Faria da Silva, como supervisor do estágio obrigatório, estou ciente deste relatório de estágio supervisionado, redigido pela estagiário(a) Larissa Fernanda Menezes Alves Vieira, e concordo com as informações descritas, confirmo a sua veracidade e aprovo o mesmo.

**RECICLI Indústria e Comércio e
Empreendimentos Ltda.
CNPJ: 27.672.767/0001-13**

Matheus de Carvalho Faria da Silva

Matheus Carvalho Faria da Silva

Supervisora de Estágio

Belo Horizonte

2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4. PARTE EXPERIMENTAL.....	10
4.1. Vidrarias.....	10
4.2. Equipamentos.....	10
4.3. Reagentes.....	10
4.4. Metodologia.....	10
4.4.1. Pré-tratamento dos materiais.....	10
4.4.2. Cultivo dos microrganismos.....	11
4.4.3. Biolixiviação.....	13
5. RESULTADOS.....	14
5.1. Cominuição e separação dos materiais.....	14
5.2. Cultivo de microrganismos.....	15
5.3. Resultados esperados para a biolixiviação.....	16
6. CONCLUSÕES.....	17
7. REFERÊNCIAS.....	18

PREFÁCIO

O projeto de estágio selecionado, intitulado inicialmente "Estudo da Biolixiviação como Método de Recuperação de Metais de Baterias de veículos elétricos do tipo NCM (Níquel-Cobalto-Manganês)", tinha como objetivo estudar a lixiviação de baterias de veículos elétricos. No entanto, devido a dificuldades relacionadas à entrega da bateria, o presente relatório aborda sobre a biolixiviação de resíduos eletroeletrônicos, também um projeto da empresa. É importante ressaltar que esse projeto não foi finalizado, portanto, não foram obtidos resultados conclusivos. Além disso, muitas informações não puderam ser abordadas devido ao sigilo da empresa, como os microrganismos escolhidos, parâmetros avaliados e resultados obtidos.

1. INTRODUÇÃO

O presente estágio foi desenvolvido na empresa RECICLI com parceria com o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) localizado no campus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O foco da empresa é o desenvolvimento de tecnologias de sustentabilidade ambiental. Dentre as principais atividades, destaca-se o desenvolvimento de tecnologias voltadas à separação e recuperação de metais provenientes do processo de resíduos de equipamentos eletrônicos, rejeitos de mineração, baterias, entre outros. (RECICLI, 2023)

A RECICLI é uma empresa startup cujas atividades são focadas em tecnologias de sustentabilidade ambiental, tendo como principal pilar o desenvolvimento sustentável, visando a conservação dos ecossistemas, responsabilidade social e a economia. A empresa foi fundada em 2017, tendo sua sede em Aracaju-SE e equipes posicionadas em Salvador-BA e Belo Horizonte-MG, porém suas pesquisas científicas foram iniciadas em 2005 pela coordenação e orientação do atual diretor executivo. (RECICLI, 2023)

A empresa participa da iniciativa FIEMG Lab, com o propósito de conectar a startup com indústrias, buscando soluções inovadoras para os desafios da indústria. Dessa maneira, a empresa foi selecionada entre as 10 melhores startups no FIEMG Lab 4.0 2021. (RECICLI, 2023)

Em parceria com o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), a empresa é capaz de realizar os ensaios laboratoriais utilizando os laboratórios disponíveis do CDTN, principalmente os laboratórios de Radiobiologia e de Tecnologia Mineral.

Devido ao uso excessivo de eletroeletrônicos e a constante substituição destes produtos por causa da obsolescência programada, a troca de carros a combustão por elétricos, tendo as baterias como um resíduo futuro, e a grande quantidade de resíduos gerados pela indústria de mineração, tais produtos quando descartados se tornaram uma problemática atual, em virtude de seu volume, composição química e falta de políticas para o controle da poluição. É importante caracterizar esse resíduo, buscar aproveitá-lo para possíveis fins benéficos, não apenas tratá-lo como lixo, é encontrar o destino certo para cada tipo de resíduo, sempre voltado para a sustentabilidade ambiental. (UTIMURA, 2020)

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é validar uma tecnologia inovadora por meio de diversos processos e análises laboratoriais para a recuperação de metais de resíduos eletroeletrônicos. O intuito é estudar a viabilidade desse processo em relação às tecnologias já utilizadas na indústria, bem como analisar as perspectivas de sua aplicação em escala industrial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No mundo atual, devido aos avanços tecnológicos, observam-se graves consequências do aumento do consumo de equipamentos eletroeletrônicos. Devido ao mau funcionamento e a obsolescência, surgem problemas relacionados com disposição de resíduos sólidos e o manejo inadequado (PORTO et al, 2018)

Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos são qualquer tipo de material que esteja danificado, obsoleto ou tenha chegado ao fim de sua vida útil, por exemplo, computadores, baterias e eletrodomésticos (YAMANE, 2012). Esses produtos são compostos principalmente por metais, plásticos, materiais cerâmicos e aditivos, cujas proporções variam de acordo com a particularidade de cada equipamento(UTIMURA, 2020).

A destinação final desses resíduos é a incineração ou aterro sanitário, o processo de incineração resulta em significativa redução de volume, mas produz corrente gasosa tóxica ao meio ambiente, e o aterramento desse material em células contamina o solo devido à presença de metais pesados. Os processos de reciclagem disponíveis atualmente envolvem rotas com altas temperaturas e uso de reagentes tóxicos ao meio ambiente, como as rotas pirotúrgicas e hidrometalúrgicas (YAMANE, 2012).

A solução para esses destinos é a aplicação da logística reversa, onde os produtos em fim de vida devem ser recolhidos para reaproveitamento ou destinação adequada, processo que é de responsabilidade de todos (DEMAJOROVIC et al., 2012). Sendo assim, a logística reversa é um conjunto de ações que viabilizem a coleta e a restituição dos resíduos sólidos nos setor produtivo (PORTO et al, 2018). Portanto, os equipamentos eletrônicos devem ser caracterizados para análise do seu potencial, principalmente para extração de materiais que possam ser utilizados na produção de novos produtos (UTIMURA, 2020).

As rotas de recuperação envolvem a técnica de solubilização dos metais utilizados ácidos ou bases carregando os metais presentes no sólido para a solução. O uso de microrganismos para produção das substâncias lixiviantes pode ser uma alternativa viável (SANTANA, 2016).

A rota biohidrometalúrgica é o método que envolve a solubilização de metais pela ação de microrganismos. Essa abordagem baseia-se na interação físico-química entre o microrganismo e o substrato e também na bioquímica desses seres (UTIMURA, 2020) (YAMANE, 2012). No Brasil, diversos estudos têm sido conduzidos em universidades e instituições de pesquisa, como na Fundação Centro Tecnológica de Minas Gerais (URENHA, 1991).

Inicialmente empregada em escala industrial para extração de ouro, cobre, níquel, cobalto e urânio em minérios, a biolixiviação está sendo estudada para aplicação em fontes secundárias como resíduos e rejeitos de mineração. Ilyas et al (2007) demonstraram a recuperação de metais de sucata eletrônica por meio de bactérias termofílicas. A biolixiviação pode ser aplicada aos resíduos eletroeletrônicos devido à sua baixa necessidade de investimento para instalação, menor consumo de reagentes e de recursos energéticos, além de emitir menos gases tóxicos, como dióxido de carbono (TUNCUK et al., 2012) (ANAYA-GARZON, 2021).

Variados microrganismos, como fungos e bactérias, podem ser aplicados como autótrofos, heterótrofos, mesófilos, termófilos, mas o grupo de quimiolitotróficas acidófilos destaca-se para a extração de metais, estes microrganismos oxidam sulfetos metálicos para obtenção de energia e utilizam como fonte de carbono o gás carbônico, por meio da oxidação de substâncias produzem os ácidos que atuarão na lixiviação dos metais (ANAYA-GARZON, 2021) (JI et al, 2022).

Nessa perspectiva, o procedimento experimental para biolixiviação dos resíduos sulfetados, forma que são normalmente encontrados, pode ser realizado pelo mecanismo direto, ou seja, microrganismos produzem as enzimas que irão oxidar os sulfetos na solução com o contato físico, aderência por meio de uma interação eletrostática, dos microrganismos com o mineral, ou pelo mecanismo indireto, sem o contato direto, o microrganismo possui papel catalítico e o processo é realizado por espécies químicas oxidadas que oxidam o material, como por exemplo, o íon ferro são produzidos pelos microrganismos e dissolvem o material sulfetado (YAMANE, 2012).

A biolixiviação pode ser influenciada por vários fatores físico-químicos e microbiológicos. A figura 1 correlaciona fatores e os parâmetros que podem afetar a biolixiviação. É necessário o fornecimento das condições ótimas para obtenção do bom crescimento e a ocorrência de mudanças bruscas desses fatores podem causar a inativação do inóculo e a inviabilização do processo (YAMANE, 2012).

Figura 1 - Fatores e parâmetros que afetam a biolixiviação

Fator	Parâmetro
Parâmetros físico-químicos	pH
	Temperatura
	Potencial oxirredução
	Disponibilidade de oxigênio
	Disponibilidade de dióxido de carbono
	Transferência de massa
	Disponibilidade de nutrientes
	Concentração de ion férrico
	Tensão superficial
Parâmetros microbiológicos	Presença de inibidores
	Diversidade microbiológica
	Densidade populacional
	Atividade microbiana
	Distribuição espacial dos microrganismos
	Tolerância aos metais
	Habilidade de adaptação dos microrganismos
Propriedades do minério residuo a ser lixiviado	Tipo de minério residuo
	Composição do minério residuo
	Tamanho das partículas
	Área de superfície
	Porosidade
	Hidrofobicidade
	Interações galvânicas
Tipo de processo	Densidade da polpa
	Agitação
	Geometria da pilha

Fonte: Yamane, 2012

A sequência experimental da biolixiviação de resíduos eletroeletrônicos inclui três fases principais: pré-tratamento, beneficiamento e biolixiviação. A primeira fase do estudo, relativa ao pré-tratamento, diz a respeito aos procedimentos de desmontagem e separação dos componentes. Em seguida, há o uso de processos mecânicos e físicos para o beneficiamento do produto, por meio de etapas de redução de tamanho, classificação granulométrica e separação de materiais de acordo com as características físico-químicas. Posteriormente, é aplicado técnicas de separação, como a técnica de sistemas aquosos bifásicos (SAB), e de precipitação para a recuperando os metais de interesse. (UTIMURA, 2020)

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Vidrarias

Aparato filtrante tipo Nalgene 0,22 um; Balão volumétrico de fundo redondo 500 mL; Béqueres 50, 100, 250, 500 e 1000 mL; Erlenmeyer 250, 500 e 1000 mL; Filtro de seringa 0,22 um, Pipetas sorológicas 10 mL; Ponteiras 200 e 1000 ul; Tubo Falcon (marca Corning).

4.2. Equipamentos

Autoclave (marca Primatec, modelo Vertical CS); Agitador magnético; Agitador orbital com controle de temperatura (marca NovaTécnica, modelo NT712); Balança de precisão (marca Bel Engineering, modelo Mark 210A) Bomba de vácuo (marca Edwards); Capela de fluxo laminar (Marca Compact Biologic, modelo class II-A1); Capela de químicos (marca Oxicamp); Estufa de secagem (marca Nova Ética); Guilhotina; Geladeira convencional (marca Brastemp); Moinho de discos; Peneirador (marca Retsch); Peneiras (marca GranuTest); Microscópio ótico; Pipetador automático (marca Gilson, modelo CO57566).

4.3. Reagentes

Sulfato de amônio (PA, 500 gramas, validade 05/2026), Cloreto de potássio (PA, 500 gramas, validade 10/27); Fosfato de potássio (PA, 500 gramas, validade 05/2026); Sulfato de magnésio (PA, 500 gramas, validade 03/2028); Nitrato de cálcio (PA, 500 gramas, validade 08/2027); Sulfato de ferro II (PA, 500 gramas, validade 09/2028). Outros reagentes utilizados e especificidades não podem ser mencionados devido ao segredo industrial da empresa.

4.4. Metodologia

4.4.1. Pré-tratamento dos materiais

As amostras disponibilizadas são encaminhadas para pesagem. Após este processo, encaminhou as amostras de maior tamanho para a guilhotina e posteriormente as amostras foram cominuídas a seco em um moinho de disco, e a fração granulométrica de interesse é retirada por meio de uma etapa de peneiramento, conforme a imagem 1. O pó pesado foi encaminhado para o Centro de Inovação e Tecnológica (CIT-SENAI) para separação magnética e eletrostática.

Imagem 1 - Processo de peneiramento dos materiais



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a etapa de separação para a obtenção de um material com maior concentração de metais, foi realizado a separação dos materiais para a identificação e quantificação dos metais por meio da técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), para identificação e quantificação dos metais.

4.4.2. Cultivo dos microrganismos

Para o cultivo dos microrganismos escolhidos para a biolixiviação, foi necessário realizar um levantamento dos reagentes necessários para os meios de cultura, bem como possíveis modificações desses reagentes. Dessa forma, foram elaborados uma série de protocolos com as peculiaridades do modo de preparo e dos reagentes para cada microrganismo. Além disso, foi realizado o preparo de material, como a esterilização de vidrarias e a montagem de rolhas de algodão, conforme a imagem 2.

Imagem 2 - Materiais preparados para a esterilização na autoclave



Fonte: Autoria Própria (2023)

Também foi feito o monitoramento do crescimento bacteriano e fúngico, assim como a análise de fatores que afetam o processo de biolixiviação, tais como concentração de ácidos produzidos, pH do meio, potencial de oxirredução e densidade celular.

Uma parte dos microrganismos escolhidos são acidófilos quimiolitotróficos, e para o cultivo desses microrganismos, utilizou-se o meio de cultura 9K modificado. Ressalta-se que

a quantidade de reagentes foi escolhida com base nas descrições da biografia de Roy et. al. (2021). Dessa forma, pesaram-se os componentes de acordo com a tabela 1 e adicionou-se água destilada suficiente para a obter de um volume final de 1 litro. O pH foi ajustado para 2 adicionando-se ácido. Em seguida, adicionaram-se 105,8 gramas de sulfato de ferro II, todo processo foi feito com agitação constante. O meio de cultura foi filtrado utilizando-se filtro estéril.

Tabela 1 - Reagentes e quantidades necessárias para o preparo do meio de cultura 9K modificado

Reagentes	Quantidade (g L ⁻¹)
Sulfato de amônio ((NH ₄) ₂ SO ₄)	0,05 gramas
Cloreto de potássio (KCl)	0,05 gramas
Fosfato dipotássico (K ₂ HPO ₄)	0,05 gramas
Sulfato de magnésio (MgSO ₄)	0,05 gramas
Nitrato de cálcio (Ca(NO ₃) ₂)	0,01 gramas
Sulfato de ferro II (Fe(SO ₄))	150 gramas

Fonte: Autoria própria (2023)

Antes do inóculo dos microrganismos, torna-se importante dizer que todos processos foram realizados com biossegurança, por meio da manipulação dos microrganismos em capela de fluxo laminar, como a utilização de EPI 's apropriados pelos laboratoristas.

Para o inóculo e crescimento, o primeiro passo foi definir as condições como o pH, agitação e temperatura, dessa forma, após a definição dos parâmetros a cultura ativa foi adicionada a um frasco Erlenmeyer contendo o meio de cultura 9K estéril, e a cultura de microrganismos foi incubada em um agitador orbital. conforme a imagem 3.

Imagem 3 - Meio 9K modificado



Fonte: Autoria própria (2023)

4.4.3. Biolixiviação

O processo de biolixiviação ainda não foi realizado, porém ele tomará como base os processos realizados na empresa anteriormente e com base na literatura estudada. Os testes de lixiviação serão realizados no laboratório do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN). Para o processo serão levados em consideração as particularidades de cada microrganismos, bem como a variação de parâmetros para a obtenção de melhor resultado.

A amostra será adicionada no inóculo microbiano alocado no Erlenmeyer, com a variação da densidade da amostra. A vidraria será acondicionada no agitador orbital com controle de temperatura. Durante o processo é analisado diversos parâmetros, como pH e concentração de ácidos. Após o período de tempo pré-determinado para o processo de biolixiviação, o sistema deve ser autoclavado por 30 minutos a 121 °C, posteriormente deve ser submetido a filtração para separar as frações sólida e líquida. As alíquotas devem ser separadas para análise da recuperação de metais por meio do ICP-OES.

5. RESULTADOS

5.1. Cominuição e separação dos materiais

O processo de redução de tamanho ocorreu de forma simples, sendo adicionado uma pequena porção do material a cada ciclo de moagem. Devido a presença de metais de tamanhos maiores, imagem 4, e com elevada dureza, estes não são capazes de serem cominuídos e por isso foram retirados do moinho e da amostra.

Imagem 4 - Metais que não foram cominuídos durante o processo



Fonte: Autoria própria (2023)

Somado ao processo de cominuição foi realizado o peneiramento do material para separação das granulometrias de interesse, segundo Santana (2016), as granulometrias mais baixas são favoráveis no processo de biolixiviação devido à maior superfície de contato que entrará em contato com os microrganismos. O pó foi pesado e separado de acordo com a sua granulometria, sendo a variação granulométrica um parâmetro que interfere no processo de biolixiviação.

As etapas de separação escolhidas foram utilizadas para a concentração do material de interesse para o processo de biolixiviação, portanto, as propriedades dos metais de interesse são estudadas para a escolha dos métodos e dos parâmetros da separação. Assim, é possível excluir os materiais que não passaram pela biolixiviação, reduzindo o tempo de residência e quantidade de reagentes a serem utilizados.

A separação magnética é um método que utiliza a diferença de suscetibilidade magnética das substâncias quando elas atuam em um campo magnético, ou seja, uma parte da substância é atraída pelo campo magnético e a outra parte é repelida. É importante dizer que foram estudados parâmetros e variações operacionais de tais processos, como taxa de alimentação, intensidade de campo, etc. A separação eletrostática é usada para separar materiais aplicando um campo elétrico de acordo com sua condutividade. Este sistema de separação fornece a entrada da alimentação e a saída do material, o campo elétrico, o

mecanismo de carregamento, o dispositivo de orientação de partículas, portanto, para esta técnica, a escolha dos parâmetros é essencial para obter a purificação ideal do material. (LUZ, SAMPAIO, ALMEIDA, 2004)

5.2. Cultivo de microrganismos

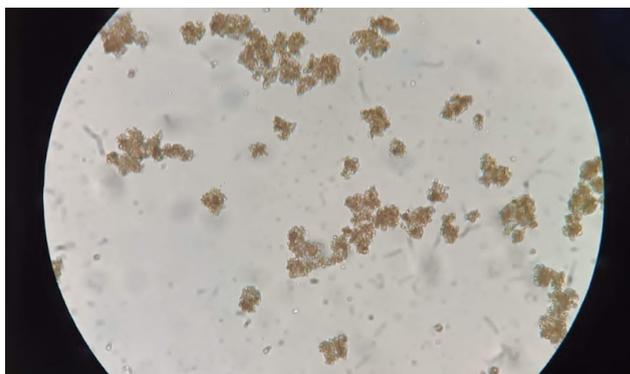
Na preparação e utilização dos meios de cultura é de extrema importância que as condições de assepsia, evitando, desse modo, a contaminação do meio com outros os microrganismos. Assim, é essencial que os materiais e meios utilizados sejam esterilizados. A esterilização foi feita em autoclave a 121 graus celsius e utilizando filtro estéril. (TORTORA, 2003)

O meio de cultura 9K modificado foi escolhido por fornecer os nutrientes necessários para o crescimento. Como uma parcela dos microrganismos selecionados são quimiolitotróficos, ou seja, utilizam compostos químicos como fonte de energia, por isso o meio de cultura utilizado é uma mistura de reagentes químicos. (TORTORA, 2003)

Para o crescimento ótimo, um ambiente físico ideal deve ser fornecido além de uma fonte de nutrientes. Dessa forma, torna-se crucial o estudo das necessidades físicas de cada espécie de microrganismo para a obtenção de um cultivo bem sucedido. A título de exemplo, os microrganismos acidófilos utilizados crescem em pH menor 7, ou seja, pH ácido. (TORTORA, 2003)

O crescimento microbiano pode ser observado por diversas características visíveis como a coloração da solução, turbidez do meio, geração de gases. Para garantir a eficiência do processo, os inóculos devem estar na fase em que eles já se encontram adaptados ao meio e com bom crescimento, o período dessa fase varia para cada tipo de microrganismo. (SANTANA, 2016) Por meio do uso do microscópio, foi possível acompanhar o crescimento dos microrganismos, a imagem 5, apresenta a densidade celular após 08 dias de inoculação.

Imagem 5 - Densidade celular de microrganismos



Fonte: Autoria própria (2023)

5.3. Resultados esperados para a biolixiviação

Espera-se que o processo de biolixiviação aplicado a resíduos eletroeletrônicos resulte na recuperação eficiente dos metais, bem como na definição dos parâmetros ideais para a realização do processo em maior escala.

À vista dessa perspectiva, buscou obter bons resultados de acordo com a literatura. Bas et al (2013) obteve uma recuperação de 80% do cobre de circuitos de televisão por meio da dissolução biológica com cultura mista de bactérias mesofílicas. Citando caso análogo, Ilyas et al. (2007) recuperou 81% de Ni, 89% de Cu, 79% de Al e 83% de placas de circuito eletrônico utilizando bactéria termofílica. Também é possível observar ótima recuperação utilizando a biolixiviação fúngica, Baahaloo-Horel e Mousavi (2017) atingiu 100% Cu, 100% Li, 77% Mn e 75% Al de baterias de lítio.

Dessa maneira, ao alcançar os resultados esperados e definir os parâmetros do processo, proporcionando uma solução sustentável e econômica para um processo industrial. Há escassez de estudos em processo de larga escala com a utilização de biorreatores, sendo este um foco de inovação da empresa. Zhu et al (2003), realizou o primeiro processo em larga escala para biolixiviação de lixo eletrônico para recuperação de níquel e cádmio, sendo recuperado 100% de cádmio e 66,1% de níquel.

6. CONCLUSÕES

O estágio foi uma experiência enriquecedora para minha vida acadêmica e profissional, por meio dele pude abrir meus olhos para a aplicação prática de uma pesquisa acadêmica para resolução de dificuldades de empresas, bem como a importância do desenvolvimento de pesquisas voltadas para a redução de impactos ambientais. Durante este período, pude utilizar diversos aprendizados adquiridos ao longo do curso, principalmente os materiais de Laboratório de Microbiologia, Laboratório de Química Analítica Qualitativa, Operações Unitárias B, Controle e Legislação Ambiental e Química Instrumental, muitos dos quais foram reforçados durante o estágio. Além disso, tive a oportunidade de adquirir conhecimentos novos, como o processo de biolixiviação, ampliando ainda mais minhas habilidades. O estágio foi um ponto de partida fundamental para minha carreira profissional e para obtenção de maior autonomia dentro do laboratório. Estou grata pela oportunidade de participar desse projeto da empresa RECICLI, bem como realizar a rotina de laboratório no CDTN, essa experiência será um diferencial na minha trajetória profissional.

7. REFERÊNCIAS

- BAS, A.D.; DEVECI, H.; YAZICI, E.Y. **Bioleaching of copper from low grade scrap TV circuit boards using mesophilic bacteria.** Hydrometallurgy, v. 138, p. 65-70, 2013. ISSN 0304-386X.
- BAHALOO-HOREN, Nazamin. MOUSAVI, Seyyed Mohammad. **Enhanced recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries through optimization of organic acids produced by Aspergillus niger.** Waste Management. vol. 60. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.034>
- DEMAJOROVIC, J., et al. **Logística reversa: como as empresas comunicam o descarte de baterias e celulares?** RAE: São Paulo, v. 52, n. 2, p. 165-178, mar/abr. 2012.
- ILYAS, S.; ANWAR, M. A.; NIAZI, S. B.; GHOURI, M. A. **Bioleaching of Metals from Electronic Scrap by Moderately Thermophilic Acidophilic Bacteria.** Hydrometallurgy, vol. 88, 1-4, p.180-188, 2007.
- Ji et al. **Bioleaching of Typical Electronic Waste—Printed Circuit Boards (WPCBs): A Short Review.** Internacional Journal of Environmental Research and Public Health.. vol. 19, nº 12. 2022.
- LUZ, Adão Benvindo; SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos. **Tratamento de Minérios** 2004. 4.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- PORTO, Wellington Silva, et al. **GESTÃO DO DESCARTE DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS COM FOCO NA TI VERDE - DISPOSAL MANAGEMENT OF ELECTRO-ELECTRONIC WASTE WITH FOCUS ON GREEN IT.** AOs-Amazônia, Organizações e Sustentabilidade. v.7, n.2, p. 47-68. jul/dez. 2018
- RECICLI – Reciclagem Inteligente.** <https://www.recicli.com.br/>. Acessado 30 de maio de 2023
- ROY, Joseph Jegan, et al. **Bioleaching as an Eco-Friendly Approach for Metal Recovery from Spent NMC-Based Lithium-Ion Batteries at a High Pulp Density.** ACS Sustainable Chemistry & Engineering, vol. 9, nº 8, março de 2021, p. 3060–69. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06573>.

SANTANA, Laiane Kalita de. **Investigação da rota biohidrometalúrgica com Acidithiobacillus ferrooxidans/thiooxidans para recuperação do cobalto de baterias de íons lítio descartadas.** 2016. 148 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.153>

TORTORA, G.J. et al. **Microbiologia.** Artmed. 6 edição. Porto Alegre. 2003.

TUNCUK, A.; STAZI, V.; AKCIL, A.; YAZICI, E. Y.; DEVECI, H. **Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling.** Minerals Engineering, v. 25, p. 28– 37, 2012.

UTIMURA, Solange Kazue. **Uso da biolixiviação no processo de reciclagem de cobre proveniente dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).** 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. <https://doi.org/10.11606/T.3.2020.tde-15012021-091227>.

YAMANE, Luciana Harue. **Recuperação de metais de placas de circuito impresso de computadores obsoletos através de processo biohidrometalúrgico.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. <https://doi.org/10.11606/T.3.2012.tde-07062013-154359>.

ZHU, Nanwen, et al. **Recycling of Spent Nickel–Cadmium Batteries Based on Bioleaching Process.** Waste Management, vol. 23, n° 8, janeiro de 2003, p. 703–08. ScienceDirect, [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00068-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00068-0).