

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
MTEC-PI QUÍMICA**

**ANY CAMILY DA ROCHA FREIRE
CAROLINE VITÓRIA MOREIRA DA SILVA
EMMANOEL ISAÍAS VARGAS**

**Orientadores: Prof^a. Dr. Gislaine Aparecida Barana Delbianco
Prof. Dr Sergio Delbianco Filho**

**RECUPERAÇÃO DO COBRE PRESENTE NO LODO GALVÂNICO, A
PARTIR DO MÉTODO DA ELETRÓLISE, PRODUZINDO COBRE
VERDE.**

LIMEIRA – SP, 2025.

**Any Camily da Rocha Freire
Caroline Vitória Moreira da Silva
Emmanoel Isaías Vargas**

**RECUPERAÇÃO DO COBRE PRESENTE NO LODO GALVÂNICO, A
PARTIR DO MÉTODO DA ELETRÓLISE, PRODUZINDO COBRE
VERDE.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Técnico em Química da Etec Trajano Camargo, orientado pelos professores doutores Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Sergio Delbianco Filho, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

Limeira – SP, 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos e dedicamos esse trabalho a todos os professores e colaboradores que ajudaram com seu desenvolvimento, em especial aqueles que acreditaram no nosso potencial, como nossos orientadores, Gih e Serjão que dedicaram seu tempo e conhecimento, ao professor Thiago, ministrou aulas de física, ao Murilo auxiliar do laboratório de eletroeletrônica, abriu as portas para utilização de equipamentos, a professora Jéssica, confiou no presente trabalho antes mesmo de ler o relatório, ao químico responsável da empresa MD Folheados e aos nossos familiares.

***Colossenses 3:17 "E, tudo o que fizerem, seja em palavra
seja em ação, façam-no em nome do Senhor Jesus, dando
graças a Deus Pai por meio dele."***

RESUMO

O cobre é um metal que está se tornando cada vez mais utilizado para a construção de novas tecnologias por conta de seu baixo custo, condutividade e ductilidade. Estudos indicam que a demanda por cobre pode crescer até 24% até 2035, somando cerca de 8,2 milhões de toneladas adicionais por ano. Contudo, metalúrgicos estão alertando que num futuro próximo o cobre se tornará escasso, e, para um futuro movido por fios e eletricidade, isso é algo alarmante. Isso se deve ao consumo e descarte exagerado de produtos, sem qualquer reuso e tratamento, sendo isso uma economia linear. Todavia, é possível mudar esse sistema e, ao invés de terminar no descarte, depois de usado o produto é reciclado, podendo então ser utilizados para produzir diferentes produtos sem uso adicional de recursos, gerando um ciclo onde o produto é produzido, usado e reutilizado, sendo assim a economia circular. Sendo assim possível reciclar o cobre já utilizado, sem que ele perca suas propriedades ou qualidade, se torna importante o estudo de diferentes formas de recuperar esse cobre de diferentes tipos de resíduos. Um desses resíduos que possuí concentração variada de cobre é o lodo galvânico, resíduo proveniente dos banhos de ouro, que é armazenado nas indústrias de semi joias por conta do elevado custo para o descarte de forma adequada, e o seu descarte incorreto pode liberar metais pesados no meio ambiente. Esse projeto propõe a recuperação do cobre a partir da eletrólise, que consiste na oxirredução dos íons Cu²⁺ presentes na solução que se reduzem no cátodo para recuperar esse cobre metálico, o resíduo é dissolvido em solução ácida para obtenção dos íons metálicos. A eletrólise pode ser feita com eletrodos de aço inox e/ou cobre, utilizando como fonte de energia a célula fotovoltaica, tornando o processo limpo, o que reduz o consumo energético no processo, a fim de dar um fim mais sustentável para este resíduo e gerar uma economia circular com a venda do cobre recuperado.

Palavras-chave: Cobre; Lodo galvânico; Energia solar,

ABSTRACT

Copper is a metal that is becoming increasingly used in the construction of new technologies due to its low cost, conductivity, and ductility. Studies indicate that copper demand may grow by up to 24% by 2035, adding around 8.2 million additional tons per year. However, metallurgists warn that in the near future, copper will become scarce — and for a future driven by wires and electricity, this is alarming. This is due to the excessive consumption and disposal of products, with no reuse or treatment, representing a linear economy. Nevertheless, it is possible to change this system so that, instead of ending in disposal, the product is recycled after use, allowing it to be used to produce different items without additional resource extraction — creating a cycle where the product is produced, used, and reused, thus forming a circular economy. Since copper can be recycled without losing its properties or quality, studying different methods to recover copper from various types of waste becomes important. One such waste with variable copper concentration is galvanic sludge, a residue from gold plating baths, which is stored in the jewelry and semi-jewelry industries due to the high cost of proper disposal. Incorrect disposal can release heavy metals into the environment. This project proposes the recovery of copper through electrolysis, which consists of the redox reaction of Cu²⁺ ions in solution that are reduced at the cathode to recover metallic copper. The residue is dissolved in an acid solution to obtain the metal ions. Electrolysis can be carried out using stainless steel and/or copper electrodes, powered by photovoltaic cells, making the process clean and reducing energy consumption. The goal is to provide a more sustainable destination for this waste and promote a circular economy through the sale of the recovered copper.

Keywords: Copper; Galvanic sludge; Solar energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA-----	8
2. OBJETIVOS -----	11
2.1 Objetivo Geral -----	11
2.2 Objetivos Específicos -----	11
3. INTRODUÇÃO TEÓRICA -----	12
3.1 Propriedades do Cobre -----	12
3.2 Galvanoplastia -----	12
3.2.1 galvanostegia -----	13
3.3 Lodo Galvânico -----	13
3.4 Limeira Capital da Joia Folheada -----	15
3.5 Consequências Causadas pela Indústria Galvânica -----	16
3.6 Legislação Pertinente -----	18
3.7 Tratamento do Lodo Galvânico -----	19
3.7.1 armazenamento do lodo galvânico -----	20
3.8 Trabalhos na Área -----	21
3.9 O Que é Feito com o Resíduo-----	22
3.10 Eletrólise -----	23
3.10.1 eletrólise ígnea -----	24
3.10.2 eletrólise aquosa-----	24
3.10.3 eletrodos-----	25

3.11 Titulação com EDTA-----	26
3.12 Energia Solar -----	27
3.12.1 placas de energia solar -----	27
3.13 Utilização de Inteligência Artificial Generativa -----	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS-----	30
4.1 Fluxograma -----	30
4.2 Preparo e Separação da Amostra -----	31
4.3 Determinar Concentração de Cobre no Lodo Galvânico -----	31
4.4 Aplicação do Método da Eletrólise -----	32
4.5 Resíduos Gerados -----	33
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS -----	34
5.1 Separação do Cobre Metálico do Lodo Galvânico-----	34
5.1.2 Segunda análise quantitativa de recuperação do lodo Galvânico -----	38
5.2 Titulação com EDTA -----	39
5.3 Tratamento de Resíduos -----	40
5.4 Visita técnica a empresa MD Folheados -----	41
5.4.1 Análise qualitativa da eletrólise com eletrodos de aço inox -----	42
5.5 Montagem de um Protótipo Online de Célula Fotovoltaica -----	42
5.6 Montagem de um Sistema de Placa Solar -----	43
5.7 Apresentação do Protótipo com Usuários Reais -----	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS -----	46
REFERÊNCIAS -----	48

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O cobre desempenha um papel vital na transição para a energia limpa, sendo uma componente chave na infraestrutura renovável e no transporte elétrico. O Chile é o maior produtor de cobre, fornecendo 27% da produção global de cobre em 2021, e abriga as duas maiores minas do mundo, Escondida e Collahuasi (LOMNITZE, 2023).

Vários dos mais importantes mineradores e metalúrgicos alertam que, em apenas alguns anos, haverá uma enorme escassez de cobre em todo o mundo, os estoques já estão próximos do menor nível histórico, o que pode distanciar ainda mais as metas ambientais (ATTWOOD, 2022).

Segundo John La Forge “No mercado, só se percebem as preocupações mais imediatas. No entanto, se realmente pensarmos no futuro, percebemos que o mundo, sem dúvida, mudará. Ele será eletrificado e exigirá muito cobre” (ATTOOWD, 2022).

Hoje em dia o preço do cobre é notícia a nível mundial, uma vez que ronda os 10.000 dólares por tonelada na Bolsa de Metais de Londres, bem acima dos valores históricos. Isso porque, no setor de mineração, todas as previsões indicam que a procura nos próximos anos terá um forte crescimento e a produção metálica não será suficiente para cobrir o aumento do consumo (APRILE, 2024).

Entretanto, é possível reutilizar o cobre sem qualquer perda na qualidade e no desempenho do metal. Não há diferença entre o material reciclado e o material obtido nas mineradoras, devido ao fato de que o material é totalmente reciclável (UFSC, 2024).

O lodo galvânico é um resíduo sólido com alto teor de metais, proveniente do tratamento do efluente gerado pelos eletrólitos usados no tratamento superficial de bijuterias e consequentemente é classificado como Resíduo Perigoso Classe I, de acordo com a NBR-10.004. Ele precisa ser transportado e transformado em material inerte para o descarte no meio ambiente (MOREIRA, 2021). Os elementos como cobre, cromo e níquel representam 7,63% da composição total de lodo galvânico (ALVES; SEO, 2020).

Uma maneira de se extrair o cobre é usando a energia elétrica de uma fonte (exemplo: bateria) para forçar a ocorrência de uma reação química para formar substâncias simples ou compostas que são encontradas em baixa quantidade na natureza (DIAS, 2024).

A capital das semijoias é localizada na cidade de Limeira, no interior de São Paulo. O título foi concedido a partir de um projeto de lei complementar, aprovado no senado, em 2017. A cidade abriga mais de 500 empresas formalizadas, e produzem em média 50 toneladas de produtos mensais (FRANCO GALVANICO, 2023).

A Suzaquim (Suzano - SP) e a Seven Resíduos (Guarulhos - SP) são empresas de gestão de resíduos, situadas nas proximidades de limeira que possuem em comum o objetivo de oferecer soluções de gerenciamento de resíduos a fim de contribuir para o desenvolvimento sustentável recuperando metais classe 1 perigosos, presente em lodo galvânico e outros resíduos (SUZAQUIM, 2025; SEVEN, 2025).

A Suzaquim escolhe o método da fabricação de óxidos e sais metálicos provenientes do tratamento dos resíduos é um de seus diferenciadas, tendo como maior objetivo, aumentar o ciclo de vida dos produtos, diminuir a extração de recursos naturais e consequentemente, oferecer ao consumidor produtos sustentáveis (SUZAQUIM, 2025).

A lixiviação ácida é uma tecnologia empregada na metalurgia extractiva, cujo método consiste na separação do metal de interesse presente no minério por processos envolvendo soluções aquosas. (GUIMARÃES et al, 2024).

Recentemente, cientistas começaram a esboçar a tabela periódica dos elementos químicos em extinção. Essa nova tabela mostra os elementos que estão em risco iminente nos próximos 100 anos. Os *smartphones* revolucionaram nosso modo de vida, permitindo uma maior comunicação entre as pessoas e um acesso mais rápido e prático à informação. Entretanto, precisamos reconhecer que os recursos naturais são finitos e precisam ser usados com extrema prudência. Atualmente, vivemos na chamada economia linear. Os recursos minerais são explorados, transformados em produtos, que são vendidos ao consumidor e, depois, descartados e substituídos por outros, de geração tecnológica mais avançada. Esse ciclo gera um passivo ambiental enorme. Praticamente nada no produto descartado é reutilizado, levando à depleção dos recursos naturais (MOTA, 2019).

A energia solar, está sendo utilizada cada vez mais ao longo dos anos, podendo substituir a energia hidrelétrica num futuro próximo. Isso se deve também a sua facilidade em relação a usinas hidrelétricas, como aos impactos causados com sua

instalação, no qual precisar inundar áreas que possuem vida para a sua construção, além de demorarem aproximadamente um ano e meio para ficarem prontas, enquanto a energia solar apenas necessita de células fotovoltaicas, que podem ser instaladas numa fração do tempo necessário para a construção de uma hidrelétrica (NERIS, 2022). O Brasil tem se consolidado como um dos líderes globais em energia solar, e as perspectivas para o setor são promissoras. Com avanços tecnológicos, incentivos governamentais e uma matriz energética cada vez mais sustentável, a energia solar deve desempenhar um papel fundamental no futuro energético do país.

O LG não é apenas um material perigoso, mas também um material que apresenta potencial de exploração, pois sua concentração elevada de metais é muitas vezes superior às encontradas em jazidas de exploração. Dessa forma, o processo de tratamento de LG não é apenas de interesse ambiental, mas também econômico. (PINTO, 2022).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar e aplicar o método de eletrólise para recuperar o cobre presente no resíduo da galvanostegia também chamado de lodo galvânico, visando minimizar as consequências do tratamento irregular do mesmo para o meio ambiente e de sua possível escassez para o mercado já na próxima década.

2.2 Objetivos específicos

- Entender quais os problemas relevantes na atualidade;
- Pesquisar a viabilidade do projeto já escolhido;
- Buscar métodos para recuperar o cobre do lodo galvânico;
- Realizar o método de lixiviação ácida, com o método da eletrólise;
- Compreender quais são os padrões estabelecidos para o cobre;
- Coletar amostras,
- Executar o método que menos agrida o meio ambiente;
- Achar possíveis parceiros para buscar amostras do lodo galvânico;
- Submeter as amostras para à analises;
- Examinar todos os resultados;
- Tratar os resíduos gerados no processo;
- Avaliar a aplicabilidade;
- Buscar metodologias mais eficazes;
- Aplicar análise de titulometria de complexação, no lodo galvânico;
- Realizar o ensaio de Gravimetria na eletrólise;

3. INTRODUÇÃO TEÓRICA

3.1. Propriedades do Cobre

O cobre e suas ligas são metais muito utilizados na indústria, destacando-se como a terceira matéria-prima mais requisitada desse grupo, atrás do alumínio e dos aços. Além disso, pode ser combinado a outros metais, conferindo máxima eficiência para aplicação industrial, que é o caso das ligas de latão e bronze (IMPÉRIO DOS METAIS, 2022).

Em geral, o cobre apresenta estados de oxidação baixos, sendo mais comum o +2, ainda que existam alguns com estado de oxidação +1. Quando é exposto ao ar, sua coloração é vermelho salmão se transforma em vermelho violeta e, na sequência, adquire um tom negro (DUBRONZE, 2021).

Se exposto ao ar úmido, o cobre forma uma capa aderente e impermeável de carbonato básico de coloração verde. Por isso, quando se utilizam caçarolas de cobre para cozinhar alimentos, é comum que haja intoxicações devido à ação dos ácidos da comida, que acabam por contaminar os alimentos (DUBRONZE, 2021).

O cobre é um metal maleável, dúctil e com alta resistência à corrosão que pode ser utilizado na construção civil, na indústria automobilística, na fabricação de objetos e em fios condutores de energia (COPPER METAL, 2020).

3.2. Galvanoplastia

A galvanoplastia é uma técnica que visa conferir as peças proteção contra desgastes devido à sua manipulação, utilização rotineira e a corrosão, através de um processo químico ou eletroquímico em que uma fina camada de metal é empregada sobre a superfície de um objeto, metálico ou não. (AMBSCIENCE, 2024).

Também conhecido como eletrodeposição, esse processo utiliza uma solução eletrolítica contendo íons metálicos, que são atraídos por uma peça a ser revestida, chamada de ânodo. A peça é então mergulhada na solução e uma corrente elétrica é

aplicada, fazendo com que os íons metálicos se depositem na superfície da peça, formando uma camada uniforme e aderente. (ABTS,2023).

O processo de galvanoplastia pode ser realizado com diferentes metais, como ouro, prata, níquel, cobre e cromo, dependendo da aplicação final da peça e é amplamente utilizada em diversas indústrias, incluindo a de joalheria, automotiva, aeroespacial e eletrônica, sendo utilizada para melhorar a resistência à corrosão, aumentar a dureza, melhorar a aparência ou simplesmente proteger a peça contra o desgaste. (ABTS, 2023).

Segundo Amaral 2015, o processo de galvanoplastia envolve uma sequência de banhos consistindo de etapas de pré-tratamento, o tratamento em si e o pós-tratamento, onde a peça é submetida a processos de lavagem, o que gera efluentes líquidos, emissões gasosas e resíduos sólidos que necessitam de tratamento específico.

3.2.1 Galvanostegia

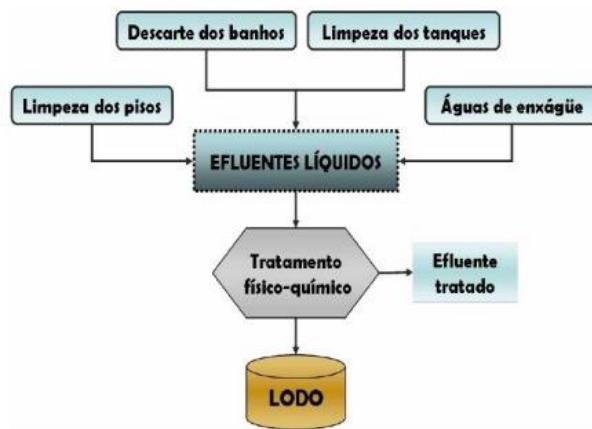
A galvanostegia é um processo químico que consiste na aplicação, mediante deposição eletrolítica, de revestimentos metálicos aderentes, para modificar as propriedades ou as dimensões da superfície de um metal. Ela pode melhorar o aspecto, a dureza ou a resistência à corrosão e à formação de manchas superficiais. Pode ser também empregada para aumentar as dimensões de objetos gastos pelo uso (BUZZONI, 1991).

Os componentes de um banho de galvanostegia compreendem um composto solúvel do metal que deve ser depositado, junto com outras substâncias adicionadas, para aumentar a condutividade elétrica, o poder de cobertura ou qualquer outra propriedade. Outros aditivos, juntados em concentrações inferiores, chamados abrillantadores, são empregados para obter depósitos lisos ou brilhantes. Os banhos eletrolíticos ácidos são, em geral, mais baratos e pedem manutenção inferior, enquanto os alcalinos têm maior poder de cobertura e fornecem depósitos melhores SILVIA; et al, 2025).

3.3 Lodo Galvânico

Os efluentes gerados no processo galvânico possuem diversas características físico-químicas que os classificam como resíduos perigosos de acordo com a NBR 10004, sendo necessário realizar diversos processos (como adição de reagentes, reações de oxirredução e decantação de precipitados) para que seja seguro o descarte desses efluentes, como descrito na imagem abaixo (Figura 1) (AMARAL, 2015).

Figura 1: Abaixo uma imagem demonstrando os efluentes líquidos que, após tratamento, originam o lodo galvânico.



Fonte: AMARAL, 2015

Infelizmente, esse processo gera, além do efluente tratado, o lodo galvânico, composto de todos os resíduos que estavam presentes no efluente tratado e sendo extremamente tóxico. O descarte desse lodo é extremamente difícil, pois os processos de tratamento são altíssimos e está se tornando cada vez mais escassos aterros apropriado para este tipo de resíduo (AMARAL, 2015).

Felizmente, de acordo com o teste realizado por Rossini (2004), é possível realizar a extração desse cobre a partir do aquecimento em um forno mufla do lodo galvânico (que foi levado a estufa previamente para medir o percentual de água) com rejeito piritoso (resíduo liberado a partir do beneficiamento do carvão bruto, possuindo grande quantidade sulfeto de ferro) partindo de 600°C até 1100°C.

O resultado obtido foi que o cobre reagiu com os óxidos de ferro, formando CuFe₂O₄, e com os sulfetos, formando Cu₂S. Ambos foram observados a partir 700°C, entretanto apenas os óxidos de cobre foram facilmente identificáveis e constantemente presentes, o que ter acontecido por falta de enxofre (ROSSINI; BERNARDES; FERREIRA, 2004).

Esse sulfeto de cobre pode passar pelo processo de piro metalúrgico, no qual o minério passa por aquecimento em fornos *flash*, formando *blister* (pureza de 98,5%), podendo ser refinado a partir do fogo ou eletronicamente (dependendo da pureza necessária) e, posteriormente, passarem por refusão para serem moldados. Esse processo também gera como subproduto o gás de enxofre, sendo utilizado para a produção de ácido sulfúrico a fim de reduzir o impacto ambiental (ANDRADE *et al*, 1997).

Também há outros processos, como o hidro metalúrgico, no qual ocorre a lixiviação do minério oxidado de baixo teor moído com solventes adequados, em seguida a filtração e por último a precipitação por aquecimento e eletrolise, e o processo SX-EW (solvent extraction and electrowinning), que possui diversas vantagens, como baixo custo de produção de cobre e a não emissão de gases. Entretanto, este processo possui dificuldades no aproveitamento de subprodutos, como ouro e prata (ANDRADE *et al*, 1997).

3.4 Limeira Capital da Joia Folheada

O Estado de São Paulo destaca-se por ser um dos maiores polos industriais do Brasil, dentro dos diversos ramos de atividades industriais, a galvanoplastia, se tornou um dos mais explorados, especialmente, na cidade de Limeira, que possui o título de Capital Nacional da Joia Folheada, estabelecido pela lei n 13.610 (BRASIL, 2018); (FC JOIAS ,2022).

A 140 km da metrópole, a cidade é o verdadeiro paraíso para quem deseja comprar semijoias, em especial, para revender, pois há uma grande variedade, que atende o perfil de todos os tipos de clientes, onde é possível encontrar peças brutas,

personalizadas, galvanizadas e seguindo as principais tendências. (FRANCO GALVÂNICA, 2024).

Estima-se que o município produz cerca de 50 toneladas de material em semijoias por mês e segundo a Associação Limeirense de Joias (ALJ), a cidade é responsável por cerca de 70% da produção nacional do setor.

São dezenas de empresas, lojas e fábricas de joias folheadas que suportam Limeira. Mas, uma atividade em ascensão nesse meio, é o banho em joias folheadas, ou seja, a galvanoplastia. As empresas de galvanoplastia em São Paulo são importantes, pois integram e desenvolvem a comunidade local, tanto economicamente quanto socialmente. (FC JOIAS, 2022).

3.5 Consequências Causadas pela Indústria Galvânica.

Além do lodo, dos metais e dos reagentes usados, que se descartados no ambiente sem tratamento são tóxicos, outras consequências causadas é o grande uso de água no processo de revestimento e na constituição dos banhos e a liberação de vapores ácidos ou com cianeto, partículas metálicas e/ou aerossol.

De acordo com Tochetto e Pereira, essas consequências são raramente consideradas ou são desconhecidas pelas indústrias galvânicas como impactos ambientais, onde, nessa pesquisa, os resíduos sólidos eram considerados um impacto pela maioria das empresas enquanto apenas uma das empresas considerava a liberação de vapores como um impacto. A falta de conhecimento dessas consequências dificulta a gestão e a prevenção destes no processo.

"[...] Nos banhos galvânicos, está presente uma série de substâncias que, dependendo das concentrações, implicam grandes riscos à saúde e ao meio ambiente. Os efluentes provenientes dos banhos galvânicos são, geralmente, tratados para descarte por precipitação dos metais, seguida de correção do pH de forma a atender à Deliberação Normativa COPAM, 1986. [...]" (LADEIRA; PEREIRA, 2008)

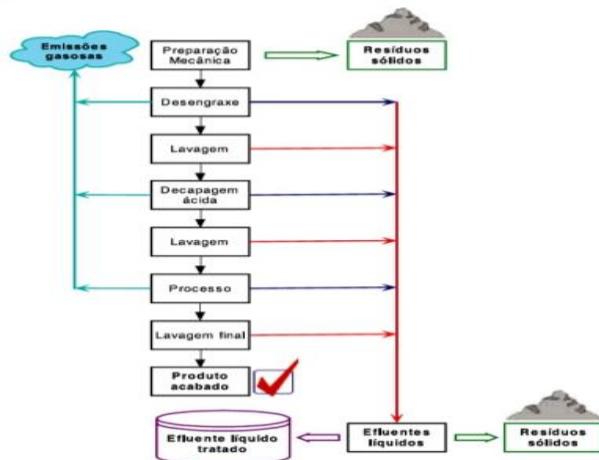
"[...] No entanto, esse procedimento leva à produção de um resíduo sólido, que não pode ser descartado de forma tão simples. A quantidade de resíduo gerada

De acordo com Tochetto e Pereira, essas consequências são raramente consideradas ou são desconhecidas pelas indústrias galvânicas como impactos ambientais, onde, nessa pesquisa, os resíduos sólidos eram considerados um impacto pela maioria das empresas enquanto apenas uma das empresas considerava a liberação de vapores como um impacto. A falta de conhecimento dessas consequências dificulta a gestão e a prevenção destes no processo. é tão grande e os custos de seu descarte são tão altos que a maior parte das empresas do ramo possui estocadas dezenas de toneladas aguardando destinação. [...] (LADEIRA; PEREIRA, 2008)

Em todas as etapas, as peças metálicas devem passar por diversas imersões com o uso de água, sendo esses os banhos de metais pesados para revestir as peças, o que gera efluentes líquidos ricos de metais pesados (como cobre, cianeto, níquel, ouro e prata) que são tóxicos à saúde, sendo esse o lodo galvânico. É necessário ter muita atenção e cuidado, pois estas substâncias são bioacumulativas, isto é, acumulam continuamente no organismo. (TRANSRESIND, 2021); (COSTA; SANTOS; TAVARES, 2008)

As indústrias galvânicas também geram outros resíduos, como óxidos, poeira, ferrugem, soldas, tintas, água de enxágue (rica de metais pesados) e gases poluentes produzidos no processo (Figura 2) (TRANSRESIND, 2021); (COSTA; SANTOS; TAVARES, 2008).

Figura 2: Abaixo uma imagem demonstrando os resíduos gerados em cada etapa.



Fonte: AMARAL, 2015.

3.6 Legislação Pertinente

A legislação que trata do descarte de lodo industrial inclui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece pela Lei nº 12.305, que todos os resíduos, incluindo os industriais, devem ser tratados antes de serem destinados a um lugar final e incentiva também a reciclagem e a gestão integrada de resíduos sólidos, juntamente com a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos de água no Brasil e a Norma Técnica P4.230 da CETESB, que estabelece diretrizes e critérios para o projeto e operação da aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico de efluentes líquidos. (IWAKI, 2018); (CETESB, 2021).

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com a ABNT NBR 10004 e o lodo galvânico se enquadra na Classe 1, que é definida por resíduos perigosos, que são aqueles que apresentam substâncias inflamáveis, corrosivas, reativas ou tóxicas, como solventes químicos, pesticidas e resíduos de tintas e devem ser descartados de acordo com o tipo de material e sua periculosidade, pois cada um tem um tratamento específico (ABNT, 2004); (TJSC, 2024); (FONESCA, 2009).

O lodo industrial é um resíduo que deve ser destinado de forma adequada para evitar danos ao meio ambiente e à saúde humana. De modo geral, os resíduos perigosos podem ser: Depositados em aterros sanitários legalizados, tratados em estações de tratamento de efluentes (ETEs), Incinerados, Submetidos a coprocessamento. Além disso, a legislação determina que os empreendimentos industriais devem apresentar um projeto de tratamento dos seus efluentes, considerando as características específicas do empreendimento (CATALISA, 2024); (NOVA AMBIENTAL, 2023); (JÚNIOR, FIGUEIREDO, 2020).

Para garantir o consumo seguro da água, está deve atender aos mais de 100 parâmetros da portaria 888/2021, sendo alguns destes o flúor, que ajuda na prevenção de problemas dentários, o cloro livre, que elimina microrganismos patogênicos, a cor

aparente, a turbidez e o pH, a fim de evitar desequilíbrios com a saúde. Abaixo o relatório dos parâmetros controlados pela BRK, na empresa MD Folheados.

Figura 3: Parâmetros estabelecidos pela BRK.

Dw-499-Frete-0-000000000000		DATA-07/01		
 BRK Ambiental				
ACEITA RECEBIMENTO DE EFLuentes NO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE ISGOTOS REC. N°0359 - VALIDADE: 31.08.2026				
DETALHES DA EMPRESA: Nome: André Corrêa CNPJ: 02.731.286/0001-00 Logradouro: Rua IRINEU Bairro/Cidade: VILA PEREIRA Telefone: (19) 13452-4511				
DETALHES DO PROJETO/EMPRESA: Nome: André Corrêa CNPJ: 02.731.286/0001-00 Lote: 1000 Unidade: m³ Volume: 735 CEP: 13484-000 Col.: Vila Pereira				
DETALHES DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO: Parâmetros Unidade Norma BRK Dec. 84/99/76 Art. 15-A Resultado				
PH	-	6,00 - 19,00	6,50 - 10,00	8,00
Temperatura	°C	40,00	45,00	25,00
Sólidos sedimentáveis	mL/L	20,00	28,00	
Sólidos Suspensos Totais [SST]	mL/L	1900,68		
Demandâ Diaximétrica de Dissídio (DDO)	mL/L	-	-	-
Demandâ Biológica de Dissídio (DBD)	mL/L	-	-	-
Óxido E.C. (Avan)	mL/L	150,00	150,00	
Cianeto	mL/L	0,20	0,20	0,001
Ferro Solúvel +2	mL/L	15,00	15,00	0,673
Fluoreto	mL/L	16,00	16,00	
Magnésio	mL/L	1,00	1,00	
Sulfato	mL/L	1000,00	1000,00	10,00
Surfactantes	mL/L	20,00		5,20
Materia Orgânica	mL/L	400,00		
Artes ou Sólidos	-	Presente	Ausente	Presente
Soluções de Ácidos e Ácidos leves	-	Presente	Ausente	Presente
Substâncias Poliméricas	-	Ausente	Ausente	Presente
Desp. Produtivos Pele/Teir. Fág.	-	Ausente	Ausente	Presente
Substâncias Tóxicas	-	Ausente	Ausentes	Ausente
Ácidos Pluviais	-	Ausente	Ausente	Presente
SIT:				
Acôrdão	mL/L	1,00	1,50	0,0000
Cálcio	mL/L	1,00	1,50	0,0001
Chumbo	mL/L	1,00	1,50	0,010
Colre	mL/L	1,00	1,50	0,227
Mercúrio	mL/L	1,00	1,50	0,0000
Crômo Total	mL/L	5,00	5,00	0,001
Zinco	mL/L	5,00	5,00	0,145
Estanho	mL/L	0,00	4,00	0,012
Níquel	mL/L	2,00	3,00	0,322
Total Mínimo	mL/L	5,00	5,00	0,576
TOTAL MÍNIMO = Acôrdão + Cálcio + Chumbo + Colre + Mercúrio + Zinco + Estanho + Níquel				

Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

3.7 Tratamento do Lodo Galvânico

Segundo Ponte (2002), todos os banhos galvânicos geram efluentes, que são encaminhados para a estação de tratamento junto com a purga do lavador de gases. Os efluentes ácidos e alcalinos são coletados separadamente por motivos de segurança. Eles ficam armazenados no pulmão, um reservatório abaixo da indústria que impede o seu vazamento nos esgotos ou nas ruas.

Dependendo se o efluente possui cianeto ou cromo hexavalente ou nenhum dos dois, o tratamento dele pode variar: se houver cianeto, pode-se utilizar hipoclorito de sódio, que o decompõem em carbonatos e nitrogênio, e se tiver cromo hexavalente,

pode-se utilizar metabissulfito de sódio, que causa sua redução e produz menos lodo (DORIA, 1965)

De acordo com o químico responsável da empresa MD Folheados, no caso de não houver nenhum dos dois, o efluente passa por três tanques, cada um removendo um tipo de composto da água do processo, sendo esses: carvão, catiônico e aniónico (Figura 4). Isso permite a reutilização da água no processo até que ocorra a sua saturação.

Figura 4: Tanques onde é tratado o efluente (MD Folheados, 2025)



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Nesses tanques, estes compostos ficam alojados nas paredes e são retirados com o uso de cloreto de bário, óxido de cálcio e soda caustica, que aumentam o pH formam o lodo galvânico. Esse processo custa 3 mil reais, fora o custo dos reagentes que chega a 20 mil reais.

3.7.1 armazenamento do lodo galvânico

Segundo o químico responsável, antes de ser armazenado e destinado a seu descarte, este resíduo passa por uma prensa (Figura 5), que o compacta e retira toda a sua água sem que haja vazamento disso, ele então é armazenado em bombonas de polietileno (Figura 6 e 7). No período de uma semana são armazenados cerca de 100 kg deste lodo.

Figura 5: Prensa



Figura 6: bombona de polietileno.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Segundo Alves e Seo (2020) a geração anual desse lodo desidratado é de 11,6 toneladas. Atualmente, a destinação desse resíduo sólido galvânico é realizada por uma empresa terceirizada, que coleta o resíduo galvânico na indústria e o encaminha para uma destinação final por um custo de R\$ 550,00 por tonelada, sendo uma dessas destinações a casa do metal, localizada em São Paulo, onde o resíduo é vendido para a China para produzir pisos cerâmicos.

Segundo o químico responsável pela empresa MD Folheados, o valor gasto no tratamento do resíduo galvânico varia de acordo com a quantidade de reagentes utilizados e o tamanho da empresa, nessa empresa em específico é produzido em média 180kg de lodo galvânico por mês, e o destino desse resíduo é terceirizado por outra empresa situada na cidade de São Paulo. Todo o mês é pago para essa empresa uma mensalidade obrigatória de 2 mil reais, e a cada 4 mil litros de resíduo é pago 2 mil para realizar esse tratamento o que gera aproximadamente uma ou duas caixas de 100kg de lodo, outra fonte de custo são os reagentes em média 20 mil reais todos os meses.

Esse armazenamento é realizado em tambores de ferro encapados com saco plástico para atender as exigências da ABNT NBR 12.235/92 (1992) para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos.

3.8 Trabalhos na Área

Os trabalhos na área que inspiraram criação desse projeto são:

- ✓ "Recuperação de cobre do lodo das indústrias de folheados para a produção de sulfato aplicando os conceitos da logística reversa", dos autores Elizandra Larissa da Silva, Kaíque Gonçalves Ferreira e Vitória Ventura, que tem o objetivo de, por meio do beneficiamento do lodo galvânico, a produção do sal sulfato de cobre II, que pode ser reintroduzido como em diversos produtos no processo galvânico por meio dos princípios da logística reversa. Orientado por Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Sérgio Delbianco Filho. Feito em limeira, em 2018.
- ✓ "Extração de cobre, Cu, de lodo galvânico de uma indústria de semijoia, através de processo eletrolítico, para uso posterior", dos autores Higor Machado Arantes, Marina Batista de Souza e Murilo Cardoso Bartolomeu, que tem o objetivo de recuperar o cobre metálico na torta de resíduo gerada, que é descartada de forma inadequada em esgotos e córregos, por meio de processos eletroquímicos de eletrodeposição de metais nobres em fábricas de semijoias. Feito em limeira, em 2017.
- ✓ "Incorporação de óxidos metálicos provenientes da água de resíduo galvânico como pigmentos inorgânicos na aplicação de esmalte cerâmico", dos autores Beatriz Volpato, Fabiana Vieira Gonçalves e Henrique Fabbrini Malavasi, que tem o objetivo de calcinar os hidróxidos de metais pesados presentes no lodo, transformando-os em óxidos com capacidade de pigmentação, a fim de usa-los como esmalte cerâmico, reduzindo os problemas ambientais relacionados ao seu descarte e gerando lucro as empresas galvânicas por meio de sua comercialização. Feito em Limeira, em 2017.
- ✓ "Recuperação de cromo e níquel presente em resíduos galvânicos para a pigmentação de vidros", dos autores Lucas Cortez de Andrade, Vinícius Motta Martins e Vitor Gabriel Perreira Leite, que tem o objetivo de extrair e quantificar o cromo e níquel presentes no lodo, a fim de usa-los como corantes de vidros de borossilicato esverdeados. Orientado por Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Sérgio Delbianco Filho. Feito em limeira, em 2018.

3.9 O Que é Feito com o Resíduo

O lodo galvânico pode conter resíduos de metais, produtos químicos, coagulantes, surfactantes, coliformes fecais, óleos, graxas, compostos organoalogenados e outras substâncias poluentes e ou tóxicas que causam danos à saúde humana e à natureza (NOVA AMBIENTAL, 2024).

Esse lodo galvânico gerado, precisa ser armazenado em bombonas de polietileno, em um ambiente com barreiras de proteção e piso impermeável feito com fibra de vidro, além de um escoamento para o “pulmão” da fábrica. E é posteriormente transporte para casa do metal em São Paulo, por 2 mil reais a tonelada, está empresa vende para fábricas de vidro na China, devido a coloração que o lodo galvânico.

Segundo Borgo (2005), geralmente ele é enviado para indústrias cimenteiras, onde é realizado o seu coprocessamento: processo que transforma resíduos em insumo para a produção de cimento.

Ele também pode ser transformado em sulfato de cobre e reutilizado na indústria da galvanoplastia ou em barras de cobre. O resíduo que sobra pode ser descartado em um aterro sanitário, mas é possível pesquisar novas aplicações para evitar o descarte (GALVATEC, 2019).

3.10 Eletrólise

A reação de oxirredução que é provocada pela corrente elétrica é denominada eletrólise, que significa decomposição pela corrente elétrica, ela pode ser espontânea ou não, que é a reação inversa, ocorrendo somente “à força”, gastando-se energia para “arrancar” um elétron e levá-lo “de volta”, isso significa forçar o elétron a “subir”, na Tabela dos Potenciais, que geralmente exigirá uma voltagem maior. Pode- se fazer a eletrólise com o auxílio de um circuito, que fornecerá a energia (PERUZZO; CANTO, 2003); (COUVRE, 2001).

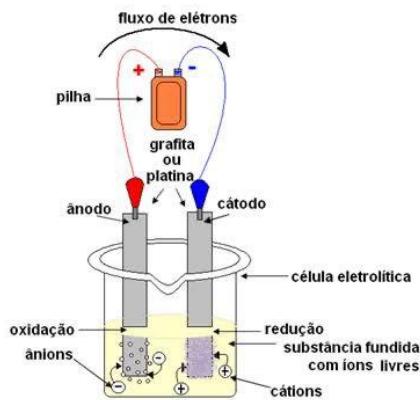
No entanto o gerador não pode criar nem destruir elétrons, ele apenas insere elétrons no circuito por seu polo negativo e retira igual número de elétrons por seu polo positivo, desse modo, se na célula não existir nenhum eletrólito, a corrente elétrica não irá passar, pelo contrário, com sua existência, cada um de seus íons migrará para o eletrodo de sinal contrário ao seu e lá irá perder ou ganhar elétrons, que causará a

passagem de corrente elétrica e a alteração química dos íons, sendo importante que a corrente elétrica seja contínua, a voltagem suficiente para provocar a eletrólise e que os íons estejam livres de movimento seja por fusão, que é a eletrólise ígnea ou por dissolução, que é a eletrólise aquosa (FELTRE, 1996).

3.10.1 eletrólise ígnea

Existem dois tipos de eletrólise, a ígnea é uma reação química provocada pela passagem de corrente elétrica através de um composto iônico fundido, que quando aquecida, se funde e, no estado líquido, os íons passam a ter liberdade de movimento, passando corrente elétrica contínua através da célula eletrolítica, como observado na imagem abaixo (Figura 7) (FELTRE, 1996) (CANDIOTTO; PAULA, 2023).

Figura 7: Abaixo uma imagem demonstrando o processo de eletrólise ígnea.



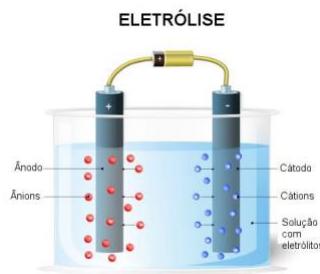
Fonte: FOGAÇA, 2024.

3.10.2 eletrólise aquosa

Já a eletrólise aquosa é uma reação química provocada pela passagem de corrente elétrica através de uma solução aquosa de um eletrólito, e em alguns casos, há a formação de gás hidrogênio ou oxigênio, concluindo-se que, em solução aquosa, existem íons H⁺ e OH⁻ sendo essa reação chamada de auto ionização da água, onde os íons H⁺, provenientes da água irão competir com os cátions provenientes da

substância dissolvida, que é o eletrólito, como observado na imagem abaixo (Figura 8) (PERUZZO; CANTO, 2003) e (MOREIRA; OLIVEIRA, 2020).

Figura 8: Abaixo uma imagem demonstrando o processo de eletrólise aquosa.



Fonte: FERREIRA, 2024.

3.10.3 eletrodos

Os eletrodos usados na eletrólise devem apresentar grande resistência ao calor, aos eletrólitos presentes e à passagem da corrente elétrica. Um eletrodo, nessas condições, que não sofre nenhuma alteração é definido como um eletrodo inerte, pois não toma parte na reação e os mais usados são a grafite e a platina. Se o eletrodo participa da reação, ele é denominado eletrodo ativo ou reativo (COUVRE, 2001); (PERUZZO; CANTO, 2003).

Em qualquer eletrólise, os eletrodos devem ser bons condutores de eletricidade, no entanto eles podem sofrer corrosão devido a passagem da corrente elétrica ou devido às substâncias formadas na eletrólise, como no caso do eletrodo ativo. Os eletrodos metálicos funcionam bem na posição de cátodo, porém na de anodo, o metal pode ser rapidamente corroído ou participar da própria eletrólise, uma vez que o anodo é um oxidante poderoso e os metais tem uma tendência natural de perder elétrons (FELTRE, 1994); (PERUZZO; CANTO, 2003).

Ocorre então a situação, na qual o anodo ou polo positivo prefere retirar elétrons do próprio metal que o constitui, em vez de descarregar os ânions existentes em

solução, desse modo, o próprio anodo vai sendo desgastado ou corroído (FELTRE, 1994); (COUVRE, 2001).

3.11 Titulação com EDTA

EDTA é a sigla para Ácido Etilenodiamino Tetracético (Ethylenediamine Tetraacetic Acid, em inglês), um agente quelante amplamente usado no tratamento de água, no tratamento de envenenamento com metais pesados, na produção de cosméticos e produtos de limpeza. Ele atua "sequestrando" íons metálicos da solução no meio, prevenindo reações químicas indesejadas. Ele não é tóxico em si, pois não penetra a pele, porém aumenta a penetração de outras substâncias que podem ser tóxicas (POCHTECA COREMAL, 2022) (RAMIREZ, 2024) (VERDI NATURAL, 2025).

O EDTA é um reagente muito usado em análises químicas, principalmente em titulações complexométricas. Ele tem a capacidade de formar complexos estáveis com íons metálicos, o que possibilita determinar a concentração de diversos metais em solução. Um exemplo é a determinação de sulfatos, nesse caso, o sulfato é precipitado como sulfato de bário, que depois é redissolvido em excesso de EDTA. O excesso de EDTA é então titulado com uma solução de cloreto de magnésio, utilizando negro de ériocromo T como indicador. Esse procedimento mostra como o EDTA pode ser usado de forma indireta, ajudando a quantificar ânions através da reação com metais. (VOGEL, 2002), (ALVARO, 2023)

Outro exemplo é a determinação de dureza da água, relacionada à presença de cálcio e magnésio. O EDTA é bastante utilizado porque consegue formar complexos estáveis com esses íons, sendo empregado para medir a quantidade de sais responsáveis pela dureza. Para isso, prepara-se uma solução padronizada de EDTA e, na titulação, utiliza-se um indicador que muda de cor quando todos os íons metálicos presentes reagem com o reagente.

Além disso, o EDTA também pode ser utilizado em métodos de análise de cobre. Embora existam outros métodos como o iodométrico, o uso do EDTA é importante porque substitui antigos métodos gravimétricos, trazendo mais praticidade, rapidez e precisão para a análise de íons metálicos em geral. Por fim, o EDTA é uma substância

fundamental na química analítica, seja na análise de sulfatos, na determinação da dureza da água ou em outras titulações de metais, ele mostra sua importância por formar complexos estáveis e permitir medidas quantitativas confiáveis. (VOGEL, 2002), (BACAN, 1979)

3.12 Energia Solar

A expansão da capacidade instalada da matriz elétrica entre janeiro e agosto de 2023 foi de 7 Gigawatts (GW), onde, nesse total, a matriz solar representa 3 GW desse aumento, representando um aumento de 43,9% sendo esse ano o que apresentou o maior aumento da energia solar. Além desse aumento, mais de 80 % da energia gerada vem de fontes renováveis. O Brasil também possui mais 18 mil usinas solares instaladas, capazes de produzir uma potência de 10,3 GW (BRASIL, 2023).

De acordo com Fernanda Bastos (2024), que se baseou nas informações da franqueadora Portal Solar, que conta com mais de 20 mil sistemas fotovoltaicos instalados, ao longo do ano de 2023, os preços médios de painéis solares caíram cerca de 40% por conta do aumento da capacidade chinesa, que é responsável por 90% da produção de painéis solares.

Isso indica que, futuramente, haverá um aumento cada vez maior na geração energia solar, o que será necessário uma boa quantidade de cobre, por conta de sua alta condutividade térmica e elétrica, o que o torna ideal para a transferência de energia térmica para energia elétrica, sua alta resistência e durabilidade e sua maleabilidade e facilidade de manuseio, facilitando seu uso em configurações específicas, o que o torna ideal como matéria prima na produção das placas (LUCA, 2024).

3.12.1 placas de energia solar

Diante do constante aumento nos custos da energia elétrica, a adoção de painéis solares tem se consolidado como uma alternativa eficiente, sustentável e economicamente vantajosa. Essa tecnologia permite aos consumidores reduzir significativamente a conta de luz e conquistar maior autonomia energética, ao mesmo

tempo em que contribuem para a preservação ambiental, ao diminuir a dependência de fontes não renováveis (GRECO, 2025); (ENERGIA SIRIUS, 2025).

Os painéis solares funcionam a partir de células fotovoltaicas que captam a radiação solar e a convertem em eletricidade. A energia gerada inicialmente em corrente contínua (CC) é transformada em corrente alternada (CA) por meio de um inversor, tornando-se compatível com a rede elétrica convencional e pronta para abastecer os equipamentos do imóvel. Com a popularização dessa tecnologia, compreender seu funcionamento, os diferentes tipos de painéis disponíveis e as vantagens da instalação torna-se essencial para tomar decisões conscientes e adotar uma fonte de energia limpa e renovável (GRECO, 2025); (PORTAL SOLAR, 2025).

3.13 Utilização de Inteligência Artificial Generativa

A Inteligência Artificial (IA) representa um dos avanços mais significativos da ciência da computação e das tecnologias digitais nas últimas décadas, promovendo transformações profundas em diferentes setores da sociedade. Essa tecnologia, que se refere à capacidade de máquinas simularem comportamentos humanos inteligentes, é aplicada na resolução de problemas complexos, na automatização de processos e na geração de conteúdo a partir da análise de grandes volumes de dados. Seu potencial disruptivo estende-se por áreas como saúde, finanças, educação, indústria e comunicação, impactando a forma como indivíduos, organizações e governos operam no mundo contemporâneo. (IFSP,2024); (SPADINI,2023).

De acordo com o conteúdo apresentado na primeira aula do curso MOOC em Aperfeiçoamento Profissional baseado em Princípios de Inteligência Artificial, a IA pode ser compreendida como um campo voltado ao desenvolvimento de sistemas capazes de executar tarefas que tradicionalmente exigiriam inteligência humana. Esses sistemas utilizam algoritmos para identificar padrões, reconhecer comandos de voz, traduzir idiomas, sugerir conteúdos e tomar decisões baseadas em dados. Uma vertente particularmente relevante, é a Inteligência Artificial Generativa, cuja função principal não se restringe à análise de dados, mas à criação de novos conteúdos, como textos,

imagens e músicas, a partir do aprendizado de padrões previamente observados (SPADINI, 2023).

Embora o aprendizado de máquina seja uma subárea da IA, ele constitui sua base operacional, permitindo que os sistemas evoluam a partir da experiência, sem depender de instruções explícitas. Esses recursos tornam a IA não apenas uma ferramenta tecnológica, mas um meio de desenvolvimento de soluções criativas, personalizadas e em constante evolução (INSTITUTO UNIBANCO, 2023); (IFSP, 2024).

Portanto, compreender a inteligência artificial em sua amplitude técnica, histórica e ética é essencial para quem deseja aplicá-la de forma eficaz e responsável. Com isso, contribui-se para a construção de soluções inovadoras e sustentáveis em um cenário global cada vez mais orientado por dados e automatização. (IFSP, 2024); (INSTITUTO UNIBANCO, 2023).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho seguiu um delineamento experimental, fundamentando-se na Lei de Faraday, assim como nos estudos de Morais et al., realizados no ano de 2016, sob o título “Obtenção eletrolítica de cobre a partir da lixiviação ácida do minério oxidado da província mineral de Carajás-Pará”, e de Moreira, elaborado em 2012, intitulado “Resíduo de lodo galvânico: caracterização, tratamento, recuperação e reuso”.

O objetivo deste projeto é investigar a eficiência da eletrólise na recuperação do cobre presente no lodo galvânico, utilizando como alternativa o ácido fosfórico (H_3PO_4), que atua como agente catalisador no processo de lixiviação ácida. A abordagem adotada foi quantitativa e laboratorial, com procedimentos baseados em análises químicas, físico-químicas e morfológicas dos materiais antes e após os tratamentos.

4.1 Fluxograma

Foi realizado o estudo do método de eletrólise aquosa com eletrodos inertes para a extração de cobre metálico a partir do lodo galvânico, que se fundamenta na lei de Faraday, onde a massa da substância produzida num eletrodo será proporcional à carga elétrica que circula na cela eletrolítica e à massa molar dessa substância.

Na eletrólise aquosa a reação química provocada pela passagem de corrente elétrica, faz com que ocorra a auto ionização da água e da substância dissolvida, causando a formação de compostos simples, no qual os ânions da substância ou da água doam os elétrons para o cátodo, que os transporta para o ânodo, onde se encontram com os cátions da substância ou da água, deixando esses ânions e cátions estáveis. O que define qual composto vai reagir é a sua facilidade de sofrer descarga (doar ou receber elétrons) nos eletrodos, no qual só os compostos que tem mais facilidade é que vão reagir, e os que tem menor facilidade que os outros permanecem na solução. É importante ressaltar que dependendo de quais elementos sofrem eletrólise, a solução pode se tornar mais ácida ou alcalina.

Dessa maneira, é possível realizar a eletrólise somente do soluto, onde a solução vai se tornando cada vez mais diluída, diminuindo a concentração dos contaminantes contidos na água, os quais ficam retidos no eletrodo negativo. O fluxograma a seguir demonstra as etapas realizadas para o estudo deste método de maneira prática (Figura 9).

Legenda figura 9: Fluxograma de etapas.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

4.2 Preparo e Separação da Amostra

A amostra de lodo galvânico deve ser homogeneizada e seca, para realizar a coleta de 40 gramas da mesma, utilizando a balança analítica para fazer a pesagem através de um béquer de 100 mL e reservar na bancada. Com uma proveta, transferir 20 mL ácido fosfórico (H_3PO_4), para um béquer de 300 mL e deixar reservado na bancada.

4.3 Determinar Concentração de Cobre no Lodo Galvânico

Utilizar o método de titulação com EDTA, para determinar a concentração de Cu+, presente na amostra de lodo.

Preparação da amostra de lama galvânica:

Passo 1: Pesar uma amostra de 15g de lodo galvânico úmido, e levar para secar na estufa entre 110° e 130°, até atingir peso constante.

Passo 2: Solubilizar a amostra com peso constante, utilizando H_2sO_4 p.a, até a solubilização total da amostra em um béquer de 300mL.

Passo 3: Dessa solução pegar uma alíquota de 2mL e transferir para um erlenmeyer de 125ml, adicionar uma alíquota de 100mL de água destilada e agitar.

Passo 4: Levar a solução até a capela e adicionar uma alíquota de 3mL de hidróxido de amônio.

Passo 5: Filtrar o precipitado formado pela reação do hidróxido de amônio com a solução de CuSO_4 (sulfato de cobre), e armazenar a solução para titulação.

Passo 6: Adicionar ao erlenmeyer contendo a solução de CuSO_4 e hidróxido de amônio, uma pitada do indicador Murexida.

Titulação com E.D.T.A.

Passo 1: Preparar uma solução de EDTA de concentração 0,1mol por litro em um balão volumétrico de 500mL, adicionar uma alíquota de 50mL em uma bureta e reservar.

Passo 2: Montar o sistema de titulação com a bureta contendo a solução de EDTA, gotejar em um constante movimento do erlenmeyer, até a solução alcançar a coloração violeta saindo do azul Royal, indicando o ponto de viragem.

Passo 3: Calcular a concentração de Cu+ na solução:

Cálculo: mL gasto de EDTA x 12,6 = g/L de CuSo_4 .

4.4 Aplicação do Método de Eletrólise

Parte A – Solubilizar o Lodo Galvânico

A amostra de lodo deve ser homogeneizada e seca e será coletado 30 gramas da amostra. Depois, essa amostra será adicionada em um béquer de 200 mL com ácido fosfórico (H_3PO_4) 1 M sendo agitada até a dissolução de todo o LG. Após esse tempo, essa mistura será filtrada para remover o sólido não dissolvido (hidróxido de cálcio Ca(OH)_2), resultando em uma solução rica em íons de cobre.

Parte B – Eletrólise

Após montar a célula eletrolítica, usando um béquer de 100 mL, um cátodo e um ânodo, o cátodo com a composição de cobre e o ânodo de aço Inox (ou ambas de aço inox), será adicionado ao béquer a solução iônica e para uma posterior aplicação de corrente elétrica, essa corrente pode ter diferentes fontes, nesse estudo, são elas uma mini placa de energia solar para demonstrar o barateamento do processo em uma indústria de galvanostegia e um retificador com corrente contínua em 5,32 ampere ou também 12v, o pH adequado para solução iônica é 1 e a temperatura é baixa, ou seja até 25°C, para maior eficiência do método.

Parte C – Calcular a massa de cobre a partir da massa de cátodo metálico

Para calcular a massa de cobre recuperada em um cátodo metálico, é necessário subtrair da massa obtida e pesada no cátodo depois do procedimento a massa obtida no mesmo cátodo antes do procedimento para determinar a quantidade de cátions metálicos presentes no final do método. A partir do valor recebido na subtração, será o realizado cálculo da porcentagem de massa acrescida no cátodo, para determinar a eficiência do método na recuperação de cobre catiônico.

4. 5 Resíduos gerados

O processo de eletrólise do lodo gera como produtos, água, cobre metálico depositado no eletrodo de cobre, gás hidrogênio (H_2 , hidrogênio verde) além de não ocorrer formação de nenhum gás poluente para o meio ambiente, não sendo necessário nenhum tratamento de resíduos, porem se o processo não for efetivo o caminho a ser seguido é o controle de pH com hidróxido de sódio ($NaOH$), que depois passará por um processo de filtração e secagem, para garantir o não descarte de metais e poluentes na tubulação.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram: A recuperação de cobre metálico do lodo galvânico, por meio do método da eletrólise, vale destacar que o cobre metálico se aloca na placa de cobre a partir de uma reação de oxirredução, por causa disto acontece um aumento proporcional na massa da placa. A partir disto também foi possível alcançar os princípios da economia circular, este conceito é basicamente transformar algo que era considerado resíduo em matéria prima novamente.

A eletrólise foi o método escolhido para estudar o comportamento do cobre no lodo galvânico, para a sua extração e uma possível reutilização do material. Para a efetuação desta prática, tivemos o apoio da **MD, Folheados** que disponibilizou o lodo para o experimento, com este lodo preparamos uma solução iônica de lodo galvânico dissolvida em meio ácido e água deionizada em um sistema com uma placa de aço inox e outra de cobre ligados por cabos com banana jacaré em um retificador de corrente contínua de 5,32 ampere e 12v, porém também foi possível comprovar a aplicabilidade do projeto a partir de placas solares, o primeiro esquema destacado está descrito na figura 10 abaixo.

Figura 10: Eletrólise aquosa



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

5.1 Separação do Cobre Metálico do Lodo Galvânico

Para realização do método foi necessário, dissolver 40 g do lodo galvânico (Figura 11), com um ácido para obter uma solução com elétrons livres, porém como é possível observar na figura 12, após a solubilização o lodo galvânico, passou a ter uma

coloração azul esbranquiçada, devido ao fato do lodo ter sido sedimentado na presença de hidróxido de cálcio, durante o processo de transformar o lodo em um material inerte. Com isso foi essencial, realizar a filtração da solução, buscando uma maior velocidade e eficiência durante o processo filtração, o modelo escolhido foi o de filtração a vácuo (Figura 13). Assim obtendo uma solução, mais clara e azul, sem sólidos dispersos (Figura 14), o que facilita no processo de eletrólise.

Figura 11: Lodo galvânico.



Figura 12: Solução antes da filtração.



Figura 13: Sistema de filtração a vácuo.



Figura 14: Solução filtrada.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Após a solubilização do lodo galvânico, em ácido e água deionizada, foram preparados os eletrodos de aço inox (ânodo) e o de cobre (cátodo), eles foram lixados com palha de aço que foi mergulhada em uma solução de 1 mol de ácido clorídrico (**HCl**), para garantir a remoção dos focos de oxidação e de contaminação dos eletrodos metálicos. As placas foram pesadas e tiveram sua massa anotada para análises posteriores (Figura 15).

Legenda figura 15: Eletrodos limpos.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

O sistema de eletrólise foi montado, utilizando como fonte de energia um retificador de corrente continua em 5,32 Ampere, ligado a partir de dois cabos banana jacaré, conectados aos eletrodos metálicos o eletrodo de cobre, foi conectado a parte positiva e o eletrodo de aço inox, foi conectado a parte negativa (Figura 16).

Esse sistema eletrolítico, ficou montado durante um período de 20 minutos e foi possível recuperar o cobre metálico presente na solução iônica (Figura 17; 18), outra observação feita foi a mudança na coloração do lodo, para uma tonalidade esverdeada, a causa pode ter sido a oxidação do metal recuperado (Figura 19).

Figura 16: Sistema de eletrólise.



Figura 18: Cobre recuperado.



Figura 17: Cobre recuperado.



Figura 19: Mudança de coloração da solução iônica.



Fonte: Acervo pessoal, 2025

Os produtos gerados, no processo de eletrólise aplicado ao lodo galvânico, foram a formação do gás hidrogênio (hidrogênio verde), cobre metálico que foi atraído pelo eletrodo de cobre carregado por uma carga negativa e teria gerado água livre de metais se o sistema fosse mantido por um período maior de tempo (Figura 20).

Legenda figura 20: Produtos gerados.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Ao analisar os dados obtidos com o hidróxido de cálcio, notasse que a massa desse hidróxido corresponde a aproximadamente 34% da massa de lodo pesada, o que com a aplicação do sistema de eletrólise antes de deixar o lodo galvânico inerte, não teria necessidade outro ponto destacado é a quantidade significativa de cobre recuperado em 20 min, que corresponde a 13,30% da massa total utilizada, vale ressaltar que o processo não chegou ao fim neste período e que com um tempo maior de sistema montado teria apresentado melhores resultados (Tabela 4).

Tabela 4: Porcentagem de cobre metálico e hidróxido de cálcio.

Porcentagem de Cobre metálico e hidróxido de cálcio

Cobre	13,30%
Ca (OH) ₂	34%

Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Durante a aplicação do projeto, foi possível destacar pontos de vantagens e desvantagens que estão descritos em formato de tabela, para melhor compreensão desses pontos (Tabela 5).

tabela 5: Vantagens e desvantagens.

Vantagens	Desvantagens
-----------	--------------

Dissolver o lodo galvânico em meio ácido, possibilitou dissociar os metais e retirar o Óxido de Cálcio, que aumenta em torno de 40% o volume de resíduo.	Dissolver o lodo galvânico com água, não se apresentou sucesso pois não ocorre a solubilização da solução.
Utilizar o retificador como fonte de energia, que mantém uma corrente constante, sendo assim possível regular a quantidade de energia fornecida ao sistema de eletrólise. E com a possibilidade de comprovar a eficiência da placa solar com uma corrente ideal, para o protótipo	A Mini placa solar, por conta da sua corrente de 800 miliampere, não apresentou resultados satisfatórios, pois levaria um tempo elevado para que ocorresse a reação. Porém uma placa que consiga chegar a uma corrente de 5 a 6 amperes, teria a mesma eficiência do equipamento utilizado.
Filtração à vácuo, é mais rápida e possuindo o mesmo desempenho da filtração normal.	A filtração com funil, por conta da quantidade de resíduo sólido presente no lodo, se torna um método lento, considerando que é necessário repetir esse processo duas a três vezes (decantação também pode ser considerada).
Na separação eletrolítica não ocorre a liberação de gases tóxicos, apenas gás hidrogênio, oxigênio e água.	No processo atual este lodo é descartado em aterros especiais que recebem lodo, como classe 1 perigoso.

Fonte: Acervo pessoal, 2025.

5.1.2 segunda análise quantitativa de recuperação de cobre do lodo galvânico

Buscando fornecer um resultado mais fundamentado e para sua melhor expressão, foi remontado um sistema de eletrólise utilizando dois eletrodos um de aço inox (ânodo) e outro de cobre (cátodo), o cobre foi escolhido como o material do cátodo, pois possui maior afinidade com a solução de lodo galvânico solubilizado, nesta análise uma amostra de 60g de lodo galvânico úmido foi solubilizado utilizando a mesma proporção listada anteriormente na metodologia (figura 21). Essa solução passou por um processo de filtragem simples (figura 22), o método de filtragem a vácuo tem a mesma finalidade, a diferença entre os dois é que na filtragem a vácuo, a separação do sólido acontece com maior velocidade.

Legenda figura 21: Lodo solubilizado.



Legenda figura 22: Filtração simples.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Após a filtração a solução de coloração azul (figura 23), foi submetida a eletrólise utilizando uma fonte de tensão continua com 12v, pelo período de 60 minutos (figura 24), durante o processo de eletrólise foi possível observar a formação do gás hidrogênio e a recuperação do cobre metálico.

Legenda figura 23: Solução filtrada.



Legenda figura 24: Eletrólise.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Foi desenvolvido um gráfico para comparar a deposição de cobre metálico no eletrodo carregado de maneira negativa relacionada ao tempo de eletrólise em minutos. (figura 25)

Legenda figura 25: Expressão dos resultados.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

5.2 Titulação com EDTA

Para realizar a titulação uma solução de EDTA 0,1 mol/L, foi preparada em um balão volumétrico de 500mL, essa solução foi adicionada a uma bureta de 25mL. O lodo galvânico utilizado nessa analise passou por um processo de secagem na estufa (figura 26) com uma temperatura variando de 115° á 130°, até atingir peso constante, o mesmo passou por um processo de solubilização com H_2SO_4 , formando assim CuSO_4 , que foi filtrado para retirar o hidróxido de cálcio, dessa solução foi transferido uma alíquota de 2mL para um erlenmeyer e logo após foi adicionado uma alíquota de 100mL de água

destilada e dentro da capela 3mL de hidróxido de amônio, o que ocasionou a formação de um precipitado que precisou ser filtrado (figura 27), logo após foi adicionado 1 pitada de indicador murexida, foi feita uma triplicata para garantir uma maior exatidão dos resultados obtidos, os valores gastos de EDTA, estão descritos na tabela 7 abaixo, seguidos pelas concentrações g/l de CuSO₄, estabelecidas a partir da quantidade de mL gasto de EDTA x 12,6 = g/L de CuSO₄.

Tabela 7: Concentração de CuSO₄

CONCENTRAÇÃO DE CuSO ₄	
Quantidade em mL de EDTA gasto	Concentração de CuSO ₄ em g/L
4,6mL	57,96g/L
4,5mL	56,7g/L
4,5mL	56,7g/L

Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Figura 26: Lodo seco em um cadinho de porcelana



Figura 27: Solução de CuSO₄ com o precipitado formado



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

5.3 Tratamento de Resíduos

O tratamento dos resíduos gerados começou com o controle de pH, o pH inicial era de 1 (figura 28), devido a isso ocorreu a necessidade de adicionar NaOH (hidróxido de sódio), para subir o pH até 6 (figura 29), neste momento o cobre precipita formando (Cu(OH)₂) hidróxido de cobre, um precipitado pouco solúvel, o mesmo é separado através de uma filtração.

Após a filtração o precipitado deve secar até atingir um aspecto arenoso, que deve ser levado para mufla para calcinar a 900° por 5 horas (figura 30). Esse processo de calcinação do resíduo transforma o hidróxido de cobre em óxido de cobre.

Figura 28: Resíduo com pH igual a 1



Figura 29: Mesmo resíduo, mas com o pH corrigido para 6



Figura 30: Resíduo calcinado.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

5.4 Visita Técnica a empresa MD Folheados

No dia 29 de agosto, foi realizada uma visita técnica, na **MD Folheados**, uma empresa especializada no banho de ouro, para uma conversa com o químico responsável da mesma, e para compreender de maneira prática a formação da lama galvânica e qual a sua real composição, como é possível observar nas figuras 31 e 32.

Figura 31: Banho de ouro.



Figura 32: Lama galvânica.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

5.4.1 análise qualitativa da eletrólise com eletrodos de aço inox

Um sistema de eletrólise, utilizando uma cuba eletrolítica foi montada utilizando 1 litro de solução do lodo galvânico, para uma análise qualitativa, variando a tensão do sistema e com os dois eletrodos do mesmo material (figura 33), essa eletrólise permitiu observar o comportamento e a aparência dos eletrodos em um período de 15 minutos (figuras 34; 35), tornando assim possível uma comparação qualitativa com os testes já realizados levando em consideração o comportamento dos eletrodos e a tensão como variáveis (tabela 8).

Figura 33: Eletrodos de aço Inox.



Figura 34: Eletrólise.

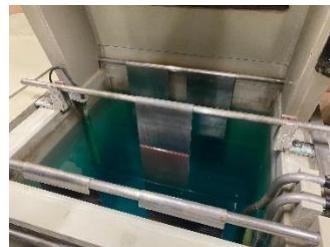


Figura 35: Aspecto final após lavagem.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

Tabela 8: Comparação Qualitativa.

Comparação Qualitativa da tensão e material dos eletrodos.	
Análise 1 Quantitativa	Análise 3 Qualitativa
Eletrodo de Cobre: O eletrodo com o material de cobre, apresentou maior afinidade com a solução de lodo galvânico solubilizado, o que aumentou a velocidade da deposição do cobre metálico.	Eletrodo de Aço Inox: O eletrodo de aço inox, também funcionou para recuperação do cobre metálico, apesar de possuir uma menor afinidade com a solução, o que diminui a velocidade da eletróde deposição.
Maior tensão: Com a tensão em 12v, a velocidade da deposição do cobre metálico aumenta, porém o cobre recuperado, não forma uma camada uniforme sobre o eletrodo.	Menor tensão: Quando a tensão é inferior a 9v, o cobre recuperado forma uma camada uniforme e organizada sobre o eletrodo.

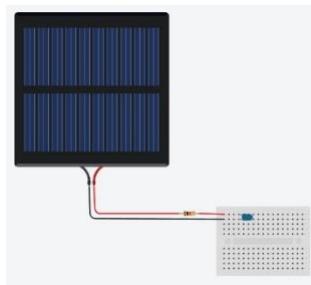
Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

5.5 Montagem de um Protótipo Online de Célula Fotovoltaica

Para demonstrar a aplicação da célula fotovoltaica e o seu funcionamento básico, foi desenvolvido uma simulação que está na figura 36, que mostra um sistema simples

para o funcionamento de um LED com o uso de uma placa solar, feito a partir de uma plataforma online chamada TinkerCad. Os fios pretos representam o polo negativo e os vermelhos o positivo.

Figura 36: simulação online da célula fotovoltaica.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

5.6 Montagem de um Sistema de Placa Solar

O sistema da placa, para a coleta de dados, foi desenvolvido, a partir de madeira reciclada e alguns componentes eletrônicos como a protoboard, o LDR que tem a função de indicar o índice de luminosidade que chega à célula fotovoltaica, buscando a sua maior eficiência, é possível observar o sistema na figura 37. Para determinar a corrente elétrica produzida pela placa solar, foi empregado ao sistema o multímetro como descrito na figura 38, abaixo, essa corrente consegue manter a eletrólise, porém com uma corrente de 5 a 6 amperes ela é mais efetiva, devido a isso no protótipo, para melhor expressão dos resultados foi utilizado um retificador com corrente contínua.

Figura 37: Sistema da célula fotovoltaica

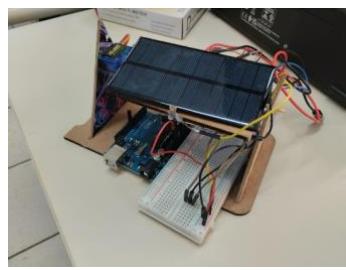


Figura 38: Tela do multímetro



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

5.7 Apresentação do Protótipo com Usuários Reais

A aplicação prática do protótipo com usuários reais, foi feita a partir do intitulado dia de Inovação, realizado em parceria com a fábrica de inovação do município de Limeira, na Etec Trajano Camargo no dia 16 de maio deste ano, contando com a presença de quinze empresários da cidade (Figuras 39 e 40), vinculados a Fábrica de Inovação de Limeira, dentre eles empresários associados ao banho de ouro.

Figura 39: Fábrica de inovação- Desafio 2025. **Figura 40:** Grupo de empresários avaliadores.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Neste dia foi realizada uma demonstração do protótipo em funcionamento no laboratório, onde os empresários puderam ver a eletrólise, a obtenção do cobre metálico (Figura 41), o retificador como fonte de corrente continua e a simulação das placas solares (Figura 42), simulando a sua funcionalidade na indústria. As reações dos usuários nos deixaram muito animados, foram dadas, muitas sugestões, fizeram várias perguntas e se mostraram bastante interessados. Essa interação também demonstrou um interesse deles no desenvolvimento do protótipo e a sua aplicação no mercado.

A coleta de dados, foi baseada no design Kano, onde através dele foi possível analisar e priorizar os recursos do projeto e, assim gerar sucesso e satisfação. Essa análise prática feita com os usuários reais, nos fez entender toda a cadeia do lixo ao luxo, pois o projeto é um recurso que quando aplicado a tecnologia gera um entusiasmo no cliente, a partir do ganho de dinheiro com o metal extraído do lodo.

Figura 41: Sistema de eletrólise.

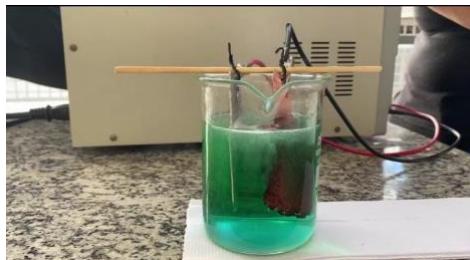


Figura 42: Retificador conectado a placa solar.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cobre apresenta um papel vital na infraestrutura renovável e no transporte (LOMNITZE, 2023). Entretanto, vários mineradores e metalúrgicos alertam que haverá uma enorme escassez de cobre no mundo em alguns anos (ATTWOOD, 2022). Todavia, é possível reciclar o cobre já utilizado sem que haja qualquer perda de qualidade ou desempenho (UFSC, 2024). Um resíduo que possui uma quantidade considerável de cobre (e de outros metais pesados) é o lodo galvânico, proveniente da indústria de semijoias, havendo diferentes formas de extrai-lo desse lodo (MOREIRA, 2021) (ALVES; SEO, 2020).

Portanto, esse projeto tem o principal objetivo de extrair o cobre presente neste lodo a partir do método de eletrólise com uma fonte de energia renovável, no caso a energia solar, que é menos prejudicial que a hidrelétrica, considerando seu dano causado pela construção das barragens. Para isso, foi necessário entender o problema, encontrar parceiros para obter a amostra de lodo e entender melhor como funciona a indústria de semijoias, realizar um protótipo e analisar os resultados para possíveis melhorias.

Por conta de Limeira ser a capital da joia folheada, é uma grande oportunidade para se realizar um estudo em relação ao tratamento do lodo galvânico (FC JOIAS, 2022). E a extração de cobre, além de possivelmente minimizar a sua escassez, também reduz seu impacto e de outros metais ou resíduos no ambiente, que, além de serem tóxicos à saúde, são bio acumulativos (TRANSRESIND, 2021) (COSTA; SANTOS; TAVARES, 2008). A eletrólise é um método eficiente de dissociação iônica, permitindo a formação do cobre no seu formato metálico, além de que se for utilizado como fonte de energia a energia solar, ele pode ter um custo menor e causar menos impactos ambientais em relação a energia proveniente de hidrelétricas, pelo fato de causarem um grande impacto e destruição de habitats em sua construção (PORTAL SOLAR, 2025) (PERUZZO; CANTO, 2003); (COUVRE, 2001); (FELTRE, 1996)

Nos estudos e nas atividades práticas realizadas, foi possível obter o cobre metálico do lodo galvânico, diluindo o lodo com ácido fosfórico, filtrando-o, retirando uma grande quantidade de hidróxido de cálcio, e realizando a eletrólise com eletrodos

de cobre e aço inox, em conjunto com uma fonte retificadora. Foi possível estabelecer que a energia fornecida para o sistema de eletrolise pode vir de células fotovoltaicas quando ela produzir uma tensão de ao menos 5v.

Os resultados obtidos diluindo 40 gramas de lodo galvânico foram que cerca de 37,5% de hidróxido de cálcio e do cobre, determinado teoricamente através da titulação de complexação em triplicata com EDTA, 35,7%, em que aproximadamente um terço foi recuperado num período de vinte minutos, em que, se essa velocidade for constante, significa que para extrair 100%, foi necessário o período de uma hora. O resíduo é a água e fosfato, que não causam danos à saúde e ao meio ambiente.

Concluindo com estes resultados, foi determinado que é possível utilizar a eletrólise para extrair o cobre do lodo galvânico sem gerar resíduos além de água, contudo, ainda há testes que poderiam ser feitos, como realizar este procedimento diretamente no efluente ao invés do lodo, não precisando mais realizar a filtragem, poupando assim tempo e evitando o gasto de reagentes, como o hidróxido de cálcio, e executar em numa escala ainda maior. Outro ponto que poderia ser mais aprofundado é se é possível realizar este método para extrair outros metais além do cobre.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos.** 1992. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-12235-1992-armazenamento-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-perigosos.pdf>. Acesso em: 4 out. 2024
- ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação.** 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024
- ABTS. **O que é Galvanoplastia.** 2023. Disponível em: <https://www.abts.org.br/blog/tratamentos-de-superficie/o-que-e-galvanoplastia>. Acesso em: 16 ago. 2024
- Alvaro, Julie. **Edta Dissódico:** o que é e quais são as principais aplicações? Disponível em: quimica.com.br. Acesso em: 02 set. 2025
- ALVES, Lucas Campaner; SEO, Emília Satoshi Miyamaru. **Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvânico para valoração e econômica ambiental.** SciELO, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dpQ9w3CWjTsfqdXmdTCRSgx/>. Acesso em: 4 out. 2024
- ALVES, Lucas Campaner; SEO, Emília Satoshi Miyamaru. **Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvânico para valoração econômica ambiental.** SciELO, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dpQ9w3CWjTsfqdXmdTCRSgx/>. Acesso em 14 ago. 2024
- AMARAL, Fábio Augusto Dornelles; BERNARDES, Andréa Moura. **Uso de sulfatação para recuperação de metais provenientes da indústria galvânica.** RBCIAMB, 2011. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/350/299. Acesso em 14 ago. 2024
- AMARAL, Fábio Augusto Dornelles. **Extração de Metais de Lodos Galvânicos através do processo de Sulfatação e Lixiviação com Tiosulfato.** 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127696/000970900.pdf;sequence=1>. Acesso em: 16 ago. 2024
- ANDRADE, João Carlos de. **Determinações Iodométricas**, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, 2001. Artigo online, PDF. Disponível em: [arquivo pessoal]. Acesso em 15 Jun. 2025
- ANDRADE, Lucas Cortez de; MARTINS, Vinícius Motta; LEITE, Vitor Gabriel Perreira. **Recuperação de cromo e níquel presente em resíduos galvânicos para a pigmentação de vidros.** 2019. Limeira, 2019

ANDRADE, Maria Lúcia Amarante de et al. **Indústria do cobre**. BNDES, 1997. Disponível em:
https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15688/1/Ind%C3%BAstria%20do%20cobre_P_BD.pdf. Acesso em: 5 set. 2024

APRILE, Daniel. **O mundo está ficando sem cobre, por que este é o pior momento para isso acontecer**, METEORED, 2024. Disponível em:
<https://www.tempo.com/noticias/actualidade/o-mundo-esta-ficando-sem-cobre-por-que-este-e-o-pior-momento-para-isso-acontecer.html>. Acesso em 07 ago. 2024

ARANTES, Higor Machado; SOUZA, Marina Batista de; BARTOLOMEU, Murilo Cardoso. **Extração de cobre, Cu, de lodo galvânico de uma indústria de semijoia, através de processo eletrolítico, para uso posterior**. 2017. Limeira, 2017

ATTWOOD, James. **Especialistas alertam para possível crise de cobre que frearia a economia global**, BLOOMBERG, 2024. Disponível em:
<https://www.bloomberglinea.com.br/2022/09/25/especialistas-alertam-para-possivel-crise-de-cobre-que-frearia-a-economia-global/>. Acesso em 07 ago. 2024

BACCAN, Nivaldo; et al. **Química analítica quantitativa elementar**. São Paulo: Edgard Blücher; Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1979

BASTOS, Fernanda. **Preço do painel solar cai 40% em 2023 e reduz tempo de retorno sobre investimento**. Exame, 2024. Disponível em:
<https://exame.com/esg/preco-do-painel-solar-cai-40-em-2023-e-reduz-tempo-de-retorno-sobre-investimento/>. Acesso em: 4 out. 2024

BORGO, Simone Canfield. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. UFPR, 2005. Disponível em:
<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/3818>. Acesso em: 4 out. 2024

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/>. Acesso em: 4 out. 2024

BRASIL. **Lei n 13.610 de 10 de janeiro de 2018**. Institui a Secretaria Geral. Planalto, Brasília, DF, 02 ago. 2024

BRASIL. Tribunal de Justiça de Santa Catarina. **Descarte de resíduos potencialmente perigosos**. Disponível em: <https://www.tjsc.jus.br/web/gestao-socioambiental/descarte-de-residuos-potencialmente-perigosos>. Acesso em: 01 out. 2024

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

CETESB. Aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico de efluentes líquido sanitários em solo – diretrizes e critérios para projeto e operação. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2024

COBRE e suas ligas: conheça as principais propriedades. Império dos metais, 2022. Disponível em: <https://www.imperiodosmetais.com.br/cobre/cobre-e-suas-ligas-conheca-as-principais-propriedades/>. Acesso em 28 ago. 2024

CONHEÇA as principais aplicações do cobre. COPPER METAL, 2020. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/conheca-as-principais-aplicacoes-do-cobre/>. Acesso em 28 ago. 2024

COSTA, Celme Torres; SANTOS, Expedito Flávio dos; TAVARES, Paulo Roberto Lacerda. **Potencialidade da contaminação por metais pesados procedente da indústria galvânica no município de Juazeiro do Norte/ce.** Revista Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23808>. Acesso em: 4 set. 2024

COUVRE, G. J. **Química Total.** 1941. São Paulo: FTD, 2001

DIAS, Diogo Lopes. **O que é eletrólise?** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-eletrolise.htm>. Acesso em; 3 out. 2024

DORIA, Alir. Tratamento dos Resíduos de Indústria de Galvanização. **Revista DAE**, v. 56, p. 52-60, mar. 1965

EDTA: o que é, função nos cosméticos e uso seguro. Verdi Natural. Disponível em: <https://www.verdinatural.com.br/o-que-e-edta-nos-cosmeticos?srsltid=AfmBOop55A50eCJMkkshQQUarlF651CnxVFfzvBlvbYqUJEtF8ilS3xV>. Acesso em: 2 set. 2025

EDTA: o que é, para que serve e quais são seus usos? Pochteca Coremal, 2022. Disponível em: <https://brasil.pochteca.net/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-edta/>. Acesso em: 2 set. 2025

EFLUENTES das indústrias galvânicas. TRANSRESIND, 2021. Disponível em: <https://transresind.com.br/efluentes-das-industrias-galvanicas/>. Acesso em: 4 set. 2024
ENERGIA SIRIUS. Tipos de painéis solares: conheça os 8 principais. Energia Sirius, (s.d.). Disponível em: <https://energiasirius.com/tipos-de-paineis-solares/>. Acesso em: 16 jun. 2025

ENTENDA as principais propriedades do cobre. DUBRONZE, 2021. Disponível em: <https://abcobre.org.br/entenda-as-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-do-cobre/>. Acesso em 28 ago. 2024

ESTUDANTES desenvolvem projeto para aproveitamento de lodo galvânico. Galvatec, 2019. Disponível em: <https://galvatec.com.br/estudantes-desenvolvem-projeto-para-aproveitamento-de-lodo-galvanico/>. Acesso em: 4 out. 2024

FELTRE, R. **Físico- química.** 1928. São Paulo: Moderna, 1994

FESTIVAL de semijoias estima faturamento de R\$ 8 milhões e público de mais de 20 mil pessoas em Limeira. Acil, 2023. Disponível em: <https://www.acillimeira.com.br/noticias:festival-de-semijoias-estima-faturamento-de-r--8-milhoes-e-publico-de-mais-de-20-mil-pessoas-em-limeira>. Acesso em: 4 out. 2024

FONESCA, J.C.L. Manual para gerenciamento de resíduos perigosos. 2009. Disponível em: <https://www.iq.unesp.br/Home/segurancaquimica/manual-de-gerenciamento-para-residuos-perigosos.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024

FOSFÁTICO SÍLICO-CARBONATADO. CEFET-MG, 2018. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Marcos-Talles-Borges-da-Silva.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025

FRANCO GALVÂNICA. Você sabe qual é a capital das semijoias. 2024. Disponível em: <https://francogalvanica.com.br/capital-das-semijoias/>. Acesso em: 30 ago. 2024

GALVANOPLASTIA em Limeira, ASSOCIAÇÃO LIMEIRENSE DE JÓIAS, 2024. Disponível em <https://alj.org.br/wp/>. Acesso em: 02 ago. 2024

GRECO, Verena. Painel solar: saiba o que é, como funciona, tipos e vantagens! Soluções EDP, 30 maio 2025. Disponível em: <https://solucoes.edp.com.br/blog/o-que-e-painel-solar/>. Acesso em: 16 jun. 2025

IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Aula 1 – Introdução à Inteligência Artificial. Curso MOOC em Aperfeiçoamento Profissional baseado em princípios de Inteligência Artificial. São Paulo: IFSP, 2024. 1 PDF (aula 1). Disponível em: [arquivo pessoal]. Acesso em: 15 jun. 2025

IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Inteligência Artificial: guia para iniciantes. Curso MOOC em Aperfeiçoamento Profissional baseado em princípios de Inteligência Artificial. São Paulo: IFSP, 2024. 1 PDF (livro didático). Disponível em: [arquivo pessoal]. Acesso em: 15 jun. 2025

INSTITUTO UNIBANCO. Inteligência artificial na educação. Em Debate. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://observatoriodeeducacao.institutounibanco.org.br/em-debate/inteligencia-artificial-na-educacao>. Acesso em: 15 jun. 2025

IWAKI, G. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs.** 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-etas-e-ete/>. Acesso em: 01 out. 2024

LADEIRA, Ana Cláudia Queiroz; PEREIRA, Dimitri Bruno Alves. **Avaliação do potencial poluidor da indústria galvânica: caracterização, classificação e destinação de resíduos.** SciELO Brasil, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/h9dgyVdXzLt5PL8dQwQFd4q/>. Acesso em: 4 set. 2024

Leaching in Metallurgy and Metal Recovery. EMEW, 2017. Disponível em: <https://emew.com/blog/leaching-in-metallurgy-and-metal-recovery>. Acesso em: 15 jun. 2025

LEGISLAÇÃO para efluentes industriais: O que você deve saber? Catalisa Jr, 2022. Disponível em: <https://www.catalisajr.com.br/legislacao-para-efluentes-industriais-o-que-voce-deve-saber/>. Acesso em: 01 out. 2024

LODO Industrial: Destinação final para resíduos das estações de tratamento. Nova Ambiental. Disponível em: <https://www.novaambiental.com.br/lodo-industrial-destinacao-final-para-residuos-das-estacoes-de-tratamento-efluentes/>. Acesso em: 4 out. 2024

LOMNITZE, Tal. **A demanda crescente por cobre e lítio e como o chile é a chave no mercado,** CONEXÃO MINERAL, 2023. Disponível em: <https://conexaomineral.com.br/noticia/3145/a-demanda-crescente-por-cobre-e-litio-e-como-o-chile-e-a-chave-no-mercado-global.html>. Acesso em: 16 ago. 2024

LUCA, Ricardo de. **Conduzindo o futuro: o papel estratégico do cobre na otimização dos sistemas de aquecimento solar.** ABC Agora, 2024. Disponível em: <https://abcagora.com.br/conduzindo-o-futuro-o-papel-estrategico-do-cobre-na-otimizacao-dos-sistemas-de-aquecimento-solar/>. Acesso em: 4 out. 2024

MOREIRA, A. S. N. OLIVEIRA, L. M. **Recuperação de cobre de solução aquosa através do processo eletrolítico.** 2020. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br>. Acesso em: 02 out. 2024

MOTA, C. **A extinção de elementos químicos é possível?** Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/>. Acesso em 24 de maio de 2025

NBR 12235: o que diz a norma de armazenamento de resíduos? Cal leve. Disponível em: <https://www.calleva.com.br/blog/nbr-12235>. Acesso em: 4 out. 2024

NERIS, A. **A energia hidrelétrica será substituída pela energia solar nós próximos anos.** Aldo, 2022. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/>. Acesso em: 23 maio 2025

O que é galvanoplastia e quais são seus efeitos ambientais. Ambscience. Disponível em: <https://ambscience.com/galvanoplastia/>. Acesso em 16 ago. 2024
OXI-REDUÇÃO, 2012.1 PDF. Disponível em: [arquivo pessoal]. Acesso em 15 Jun. 2025

PERUZZO, F. M. CANTO, E. D. **Química na abordagem do cotidiano.** 1947. São Paulo: Moderna, 2003

PORTAL SOLAR. **Painel solar.** Portal Solar, 2025. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar/>. Acesso em: 16 jun. 2025

RAMIREZ, Laura. **O que é e para que serve o EDTA?** Positiv.a, 2024. Disponível em: <https://blog.positiva.eco.br/o-que-e-edta/>. Acesso em: 2 set. 2025

RESÍDUOS Perigosos. Nova Ambiental. Disponível em: <https://www.novaambiental.com.br/residuos-perigosos/>. Acesso em: 01 out. 2024

SHARMA, Kabita. **Leaching: Types, Methods, Advantages, Disadvantages.** Science Info, 2023. Disponível em: <https://scienceinfo.com/leaching-types-advantages-disadvantages/#physical-leaching>. Acesso em: 15 jun. 2025

SILVA, Daniely de Lucena ; et al. **Processo de Eletrólise em banhos Galvânicos,** Congresso nacional de pesquisa em ciências, UEPB, 2025. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2016/TRABALHO_EV058_MD1_SA86_ID1941_17052016200759.pdf. Acesso em 15 Jun. 2025

SILVA, Elizandra Larissa da; FERREIRA, Kaíque Gonçalves; VENTURA, Vitória. **Recuperação de cobre do lodo das indústrias de folheados para a produção de sulfato aplicando os conceitos da logística reversa.** 2018. Limeira, 2018

SPADINI, Allan Segovia. **O que é Inteligência Artificial? Como funciona uma IA, quais os tipos e exemplos.** Alura, 28 maio 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/inteligencia-artificial-ia>. Acesso em: 15 jun. 2025

VOGEL, Arthur Israel. **Análise química quantitativa.** Rio de Janeiro : LTC, 2002

VOGEL, Arthur I.; JEFFERY, G. H.; BASSETT, J.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; MACEDO, Horácio (tradutor). **Análise Química Quantitativa.** 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 1992

VOLPATO, Beatriz; GONÇALVES, Fabiana Vieira; MALAVASI, Henrique Fabbrini. **Incorporação de óxidos metálicos provenientes da água de resíduo galvânico como pigmentos inorgânicos na aplicação de esmalte cerâmico.** 2017. Limeira, 2017