



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS  
CÂMPUS DE ARAGUAÍNA – CENTRO DE CIÊNCIAS INTEGRADAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA - LICENCIATURA**

**JEYSLA ALBUQUERQUE ASSUNÇÃO**

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS CONTENDO COBRE, PRATA E  
CROMO GERADOS NAS AULAS PRÁTICAS DO CURSO DE LICENCIATURA EM  
QUÍMICA DA UFNT**

ARAGUAÍNA – TO

2023

**JEYSLA ALBUQUERQUE ASSUNÇÃO**

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS CONTENDO COBRE, PRATA E  
CROMO GERADOS NAS AULAS PRÁTICAS DO CURSO DE LICENCIATURA EM  
QUÍMICA DA UFNT**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), campus Universitário de Araguaína, Curso de Química, para a obtenção do título de licenciado em Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Renata Ferreira Lins da Silva

ARAGUAÍNA – TO

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- A851t Assunção, Jeysla Albuquerque.  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS CONTENDO COBRE, PRATA  
E CROMO GERADOS NAS AULAS PRÁTICAS DO CURSO DE  
LICENCIATURA EM QUÍMICA DA UFNT. / Jeysla Albuquerque Assunção.  
– Araguaína, TO, 2023.  
46 f.  
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Araguaína - Curso de Química, 2023.  
Orientadora : Renata Ferreira Lins da Silva  
1. Elementos Tóxicos. 2. Prejudicial à Saúde. 3. Sustentabilidade. 4.  
Educação Ambiental. I. Título

**CDD 540**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**


JEYSLA ALBUQUERQUE ASSUNÇÃO

TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS CONTENDO COBRE, PRATA E CROMO  
GERADOS NAS AULAS PRÁTICAS DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA  
DA UFNT

Monografia foi avaliada e apresentada à UFNT –  
Universidade Federal do Norte do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Araguaína - TO, Curso de Licenciatura  
em Química para a obtenção do título de licenciado em  
Química e aprovada em sua forma final pela Orientadora  
e pela Banca Examinadora.


Data de Aprovação: 29 / 11 / 2023

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 RENATA FERREIRA LINS DA SILVA  
Data: 30/11/2023 09:03:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof<sup>ª</sup>. Orientadora Dr. (a) Renata Ferreira Lins da Silva, UFNT

Documento assinado digitalmente  
 FLAMYS LENA DO NASCIMENTO SILVA  
Data: 05/12/2023 13:00:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>ª</sup>. Avaliadora Dr. (a) Flamys Lena do Nascimento Silva, UFNT

Documento assinado digitalmente  
 MARCOS WILSON VICENTE DE ASSIS  
Data: 30/11/2023 09:45:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Avaliador Marcos Wilson Vicente de Assis, UFNT

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus por me guiar ao longo desta jornada, me proporcionando saúde e força para chegar até o final. Também sou imensamente grata à minha família pelo apoio inabalável que sempre me ofereceu ao longo da minha vida. A confiança que depositaram em mim é o que me impulsionou a perseguir meus inúmeros sonhos. Não posso deixar de agradecer à instituição de ensino que me proporcionou a oportunidade de conhecer pessoas inspiradoras.

Minha gratidão se estende a todos os professores do curso de graduação em Química da UFNT que tive o privilégio de conhecer. Em particular, quero estender meu agradecimento à minha orientadora, Renata Lins. Sua paciência, atenção e esclarecimento de dúvidas foram inestimáveis ao longo deste caminho. Agradeço por compartilhar seus conhecimentos, tempo e experiência comigo. Também não posso esquecer de mencionar os técnicos dos laboratórios de Química, Gildeth e Gilberto, cuja ajuda foi indispensável durante todo o percurso do curso, não resultando somente as aulas práticas do curso.

Agradeço aos meus amigos que estiveram ao meu lado desde o primeiro período da faculdade. Gisele, sua singularidade e reflexões sobre a vida me ensinaram a enxergar o mundo de uma maneira diferente. Sayda, sua amizade é um presente que valorizo imensamente. Êmilly, sua disposição para ouvir minhas dúvidas sem lógica e nossas conversas sempre divertidas são lembranças que levarei para sempre. Igor, suas piadas e aulas particulares de biologia geral foram impagáveis. Maria Idelvânia, sua leveza e liberdade de espírito são inspiradoras. Olegário, seu senso de humor único sempre foi um alívio nos momentos certos. Andressa Danieli, você é a pessoa mais simpática, sincera e com o coração mais bonito que eu conheci, sou muito grata por ter a sua amizade. A todos vocês, meus amigos acadêmicos, agradeço pela companhia ao longo dessa jornada, por estarem presentes em todos os momentos e pelas risadas que preservaram minha sanidade durante esse tempo.

Finalizando, quero expressar minha gratidão à minha supervisora do PIBID de Química do ano de 2020, Amanda. Suas orientações foram inestimáveis e me proporcionaram reflexões sobre a rotina de um professor na educação básica. Além disso, sou muito grata por sua supervisão durante meu estágio obrigatório do curso, suas orientações e apoio foram cruciais para o meu desempenho no estágio.

## RESUMO

As instituições de ensino e pesquisa convivem diariamente com a problemática da geração de resíduos químicos. Esses produtos gerados a partir de pesquisas e práticas de ensino apresentam diferentes graus de periculosidade, tornando-se necessário um tratamento e/ou descarte adequado a fim de evitar possíveis danos causados à saúde humana e ao meio ambiente. A Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT) atualmente não dispõe de programas para o gerenciamento e tratamento de resíduos químicos. Considerando a importância de tratamento desses resíduos obtidos nos laboratórios de química da UFNT, esse trabalho tem como objetivo tratar resíduos contendo cobre, prata e cromo. Para realizar o tratamento dos resíduos de íons cobre, prata e cromo foram utilizadas metodologias propostas por Dalpasquale *et al.* (2011) e adaptada por Carlos e Marques (2022), Felisberto *et al.* (2008) e Armour (2005). Utilizando reagentes como o hidróxido de sódio e ácido sulfúrico, juntamente com procedimentos como filtração, aquecimento e calcinação, obteve-se um rendimento de 82,45% na formação de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado, estes cristais foram utilizados em aulas práticas de eletroquímica. No caso do cromo e da prata, foram obtidos precipitados sólidos de cloreto de prata e hidróxido de cromo III, reduzindo consideravelmente o volume destes rejeitos em laboratório. Essas abordagens não apenas preveniu a contaminação ambiental, mas também possibilitou a reutilização dos elementos, contribuindo para a redução dos custos associados.

**Palavras-chaves:** Elementos Tóxicos. Prejudicial à Saúde. Sustentabilidade. Educação Ambiental.

## ABSTRACT

Educational and research institutions grapple daily with the challenging issue of chemical waste generation. These byproducts stemming from research and teaching activities vary in terms of their degree of hazardousness, necessitating appropriate treatment and/or disposal to prevent potential harm to human health and the environment. The Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT) currently lacks programs for the management and treatment of chemical waste. Given the significance of addressing these waste materials generated in UFNT's chemistry laboratories, this study aims to treat waste containing copper, silver, and chromium. To carry out the treatment of copper, silver, and chromium ion-containing waste, as well as their subsequent reuse, methodologies proposed by Dalpasquale *et al.* (2011) and adapted by Carlos and Marque (2022), Felisberto *et al.* (2008), and Armour (2005) were employed. Using reagents such as sodium hydroxide and sulfuric acid, along with procedures like filtration, heating, and calcination, a yield of 82.45% was achieved in the formation of penta-hydrated copper sulfate crystals. These crystals were utilized in practical electrochemistry classes. In the case of chromium and, silver, solid precipitates of silver chloride and chromium (III) hydroxide were obtained, significantly reducing the volume of these laboratory rejects. These approaches not only prevented environmental contamination but also facilitated the reuse of elements, contributing to cost reduction.

**Keywords:** Toxic Elements. Harmful to Health. Sustainability. Environmental Education.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma contendo o processo de tratamento do resíduo de cobre.....	20
Figura 2 - Fluxograma com o passo a passo do tratamento do precipitado contendo (AgCl e Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> ).....	21
Figura 3 - Fluxograma do procedimento de tratamento do sobrenadante do resíduo de prata.....	23
Figura 4 - Sulfato de cobre em banho-maria (a). Precipitado após o banho de gelo (b). Precipitado sendo filtrado a vácuo e lavado com etanol (c).....	25
Figura 5 - Solução de sulfato de cobre II antes da adição de NaOH (a). Solução de sulfato de cobre II após a adição de NaOH (b).....	27
Figura 6 - Filtração do precipitado de viscosidade diferente.....	27
Figura 7 - Óxido de cobre (II) pH entre 9,0 e 9,5 (a). Óxido de cobre (II) pH entre 10,0 e 11,0 (b) .....	28
Figura 8 - Cadinho retirado da mufla e o recipiente de armazenamento (a). Cadinho com óxido após calcinação (b) .....	28
Figura 9 - Solução antes de ser adicionado em banho-maria (a). Solução com o óxido de cobre sendo diluído em banho-maria (b).....	29
Figura 10 - Material durante o banho-maria (a). Material após o banho-maria (b) .....	30
Figura 11 - Cristais de sulfato de cobre sendo filtrados.....	30
Figura 12 - Cristais formados de sulfato de cobre penta-hidratado.....	31
Figura 13 - Sulfato de cobre sendo pesado para o preparo da solução (a). Solução de sulfato de cobre II pronta (b). Aplicação da solução em aula prática (c).....	36
Figura 14 - Representação dos resultados alcançados.....	37
Figura 15 - Célula voltaica que usa uma ponte salina para completar o circuito elétrico, esquema montado em aula prática.....	38
Figura 16 – Adição de ácido clorídrico no precipitado (AgCl e Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> ).....	39
Figura 17 - Resultados das extrações realizadas com ácido clorídrico e água destilada (a). Armazenamento das soluções após a lavagem (b) .....	40
Figura 18 - Mudança de coloração do amarelo (béquer da direita) para laranja (béquer da esquerda).....	41
Figura 19 - Adição de tiosulfato de sódio ao sobrenadante.....	42
Figura 20 - Solução após ser deixada em repouso (a). Primeira filtração realizada (b) .....	42
Figura 21 - Filtração simples do precipitado formado.....	43



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Resultados apurados na metodologia de precipitação para recuperação de Sulfato de Cobre Penta-hidratado.....31

**Tabela 2** - Resultados apurados na metodologia de Dalpasquale *et al.* (2011) de recuperação de Sulfato de Cobre Penta-hidratado.....32

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFNT	Universidade Federal do Norte do Tocantins
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
LCA	Lei de Crimes Ambientais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Tratamento de soluções sulfato de cobre.....</b>	<b>18</b>
4.1.1	Método da Precipitação.....	18
4.1.2	Tratamento do resíduo de cobre via formação de hidróxido de cobre.....	18
<b>4.2</b>	<b>Tratamento do resíduo contendo prata e cromo.....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Tratamento do precipitado.....	21
4.2.2	Tratamento do sobrenadante.....	22
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Recuperação do Cobre.....</b>	<b>24</b>
5.1.1	Recuperação do Cobre por precipitação.....	24
5.1.2	Recuperação do Cobre por meio da metodologia proposta por Dalpasquale <i>et al.</i> (2011).....	26
5.1.3	Verificação da viabilidade do processo de recuperação do Cobre.....	31
5.1.4	Aplicação do Cobre recuperado.....	35
<b>5.2</b>	<b>Recuperação de prata e cromo.....</b>	<b>38</b>
5.2.1	Tratamento do precipitado (AgCl) do resíduo de cromato de prata.....	38
5.2.2	Tratamento do sobrenadante do resíduo de cromato de prata após a filtração do precipitado e do resíduo oriundo do pré-tratamento do precipitado.....	40
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 JUSTIFICATIVA

Os resíduos químicos gerados pelas instituições de ensino e pesquisa brasileiras estão associados a diversos efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente, muitos desses produtos gerados em laboratório não são condicionados e/ou descartados corretamente. De acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a gestão adequada de produtos químicos e resíduos é uma meta específica dentro dos **ODS 6 e 12** – “Assegurar padrões de produção, consumo e descarte sustentáveis”. Consumo, produção e descarte responsáveis desses resíduos requerem uma abordagem sistemática ao longo do ciclo de vida dos produtos químicos e a cooperação entre os atores e setores em toda a cadeia de fornecimento, produção e descarte.

Contudo, neste atual contexto de crescente preocupação ambiental em todos os níveis da sociedade, torna-se inviável que as universidades mantenham um nível de conforto simplesmente ignorando sua condição de geradoras de resíduos (Jardim, 1998). Segundo Couto (2017), a educação ambiental torna-se uma ferramenta importante para a formação formal e informal, promovendo a construção de valores sociais, conhecimentos e habilidades. É importante que os cursos busquem conceder uma nova perspectiva para a química sustentável, na busca de repassar o quanto é fundamental cuidar do meio ambiente e voltar tais reflexões como práticas de gerenciamento residual no laboratório.

A Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT) campus Araguaína - Cimba, atualmente não possui uma unidade de armazenamento e tratamento de resíduos, ou seja, não possui planos de gerenciamento de resíduos no local. A coleta e destinação final dos resíduos gerados pelos laboratórios da UFNT é realizada pela empresa AMBIENTALLIX SOLUÇÕES EM RESÍDUOS LTDA localizada em Paraíso do Tocantins/TO. No entanto, essa coleta é pouco frequente e leva meses ou até anos para ser concluída, levando a instituição a armazenar os resíduos resultantes em seus laboratórios de ensino e pesquisa, aguardando uma destinação satisfatória. Assim, este material armazenado representa um passivo ambiental perigoso devido à grande quantidade e às condições de armazenamento instáveis.

Contudo, tendo em vista reduzir a quantidade de resíduos químicos armazenados nos laboratórios do Campus Araguaína e seu impacto ao meio ambiente, este trabalho visa realizar o tratamento de resíduos e a reutilização dos mesmos em aulas práticas que são desenvolvidas no campus. Essas ações visam desenvolver medidas de minimização, tratamento e reutilização viáveis economicamente e ambientalmente, visando otimizar o uso de reagentes de laboratório,

reduzindo o custo de disposição final dos resíduos químicos e contribuindo para a redução do impacto ambiental (Amorim, 2018).

## 2 INTRODUÇÃO

Os cursos de química em suas aulas experimentais produzem produtos perigosos, tóxicos e às vezes radioativos e, portanto, podem ser classificadas como práticas possivelmente poluidoras que devem ser submetidas a um gerenciamento de resíduos para avaliar seu descarte adequado e possível reciclagem (Machado & Mól, 2008). Segundo Gerbase (2005), os institutos químicos e departamentos de universidades, além de todas as unidades que utilizam produtos químicos em seu trabalho diário, há muitos anos enfrentam problemas relacionados ao tratamento e destinação final dos resíduos gerados em seus laboratórios de ensino e pesquisa.

Na maioria das vezes, os resíduos são armazenados de forma inadequada, aguardando seu destino final enquanto são estocados. Infelizmente, ainda prevalece a cultura de descartá-los na pia do laboratório, pois a maioria das instituições públicas brasileiras de ensino e pesquisa não possui uma política institucional clara que permita o tratamento global dessa questão (Gerbase, 2005). Nesse quadro, pode-se dizer que um dos problemas mais graves associados ao uso indevido de produtos químicos são os danos ambientais. Para reverter esse quadro, as leis ambientais de países ao redor do mundo, inclusive do Brasil, estão evoluindo e se adaptando às novas realidades, com o objetivo de coibir severamente os abusos (Gerbase, 2005).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 358, de 29 de abril de 2005, resíduo químico pode ser definido como “Todo material contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.” (BRASIL, 2005, p. 63-65).

Segundo Jardim (1998) existem basicamente dois tipos de resíduos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa: o ativo, que é fruto das atividades rotineiras da unidade geradora e principal alvo de um programa de gerenciamento, e o passivo, que compreende o resíduo estocado, geralmente não caracterizado, aguardando destinação final. Diante deste contexto, se torna necessário oferecer conhecimentos relacionados à educação ambiental no âmbito dos cursos que apresentam considerável carga horária experimental, como o curso de química. Isto ajudaria aos alunos a compreender a natureza dos problemas ambientais, bem como os efeitos na saúde humana, e direcioná-los a realizar ações simples para minimizar a geração destes resíduos químicos (Alkimin; Dornfeld, 2013).

No campus de Araguaína, unidade Cimba, os resíduos químicos são gerados nos laboratórios de química. Esses resíduos são armazenados no próprio laboratório. Foi possível observar que há formação de uma grande quantidade de resíduos gerados com cátions metálicos, esses muitas vezes tóxicos ao meio ambiente. Grandes quantidades de resíduo contendo cátions como cromo e prata é gerado oriundo do método de Mohr, esta técnica é utilizada para a determinação de íons cloreto em água, muito usada na disciplina de Química Analítica Experimental. O resíduo deste método é formado por um sobrenadante, contendo principalmente, o íon cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) e um precipitado constituído em sua maioria por cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ) e cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

Resíduos gerados nos laboratórios de química são classificados de acordo com as diretrizes da ANVISA como Resíduos de Serviço da Saúde do grupo B. Esses resíduos englobam substâncias químicas que apresentam potencial risco para a saúde pública e o meio ambiente. Os tipos de resíduos que se enquadram na categoria de risco químico (GRUPO B) incluem: “[...] Resíduos de saneantes e desinfetantes, bem como resíduos que contenham metais pesados. [...] Demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NRB 10004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).” (Brasil, 2006, p. 104). Nesse contexto, é importante observar que os resíduos Cromato de Prata se enquadram nessa classificação devido à toxicidade dos elementos (Prata e Cromo) presentes nessas soluções, além de serem considerados metais pesados.

A prata contida nesses resíduos é um dos elementos mais preciosos encontrados na natureza e enfrenta a ameaça de escassez. Como resultado, há um crescente interesse na pesquisa voltada para a recuperação desses resíduos (Amaral *et al.*, 2001). Além disso, a recuperação desse metal oferece consideráveis benefícios ao meio ambiente. Isso se deve ao fato de que a contaminação de sistemas aquáticos pelo elemento pode causar sérias intoxicações, manifestando-se na pele das pessoas com coloração não naturais, que variam de tons azuis a cinzas, e afetar negativamente o sistema circulatório, além de prejudicar os rins e o fígado (Filho, 2004).

O cromo, também presente nos resíduos resultantes da análise de cloreto, é tido como um dos principais poluentes, figurando entre os 20 principais da lista de prioridades. O cromo pode existir em diversos estados de oxidação, variando de  $\text{Cr}^{+2}$  a  $\text{Cr}^{+6}$ , mas na natureza ocorre apenas nas formas estáveis Cr(III) e Cr(IV). A forma mais tóxica do cromo é o Cr(VI), simbolizando um risco agudo para a saúde. A exposição crônica e elevada a esse elemento pode levar a mutações genéticas e ao desenvolvimento de câncer. Por outro lado, o Cr(III) é

menos tóxico e desempenha um papel essencial no metabolismo humano (Karale, Wadkar; Nangare, 2007; Ahmed *et al.*, 2013).

Outro tipo de resíduo que é bastante obtido nas aulas experimentais de química, são resíduos contendo o íon Cobre, principalmente soluções de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) nas mais diversas concentrações, que fazem com que acumule nos armários do laboratório. O sulfato de cobre penta-hidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) é um sal comumente usado com quatro moléculas de água ligadas ao íon de cobre e uma quinta molécula ligada ao íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) via pontes de hidrogênio. O sal (sulfato) é azul (comumente conhecido como vitríolo azul). Uma solução aquosa de Cu(II) (onde os íons de cobre são coordenados a moléculas de água) também é azul.  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  é um dos compostos insolúveis de cobre (II) formado quando NaOH é adicionado a soluções aquosas de  $\text{Cu}^{2+}$  (Brown *et al.*, 2005).

O cobre é um metal pesado que pode ter efeitos tóxicos no organismo humano e em outros organismos. Os efeitos tóxicos dos metais pesados são amplamente associados a eventos agudos aparentes e de curto prazo. No entanto, esses efeitos podem se manifestar dependendo da dose e da exposição contínua. Portanto, é importante que as universidades e outras instituições tratem adequadamente os poluentes, independentemente do volume gerado. Isso envolve a implementação de práticas de gestão de resíduos seguras e sustentáveis, incluindo a coleta, o armazenamento e a disposição adequada de materiais tóxicos, como o cobre (Nogueira; Pasqualetto, 2008).

A prática do reciclo já é comum em laboratórios de química, especialmente naqueles que fazem um uso intensivo de solventes voláteis (Jardim, 1998). A neutralização e a precipitação também são técnicas bastante comuns adotadas por técnicos de laboratório para promover o descarte de resíduos que não são tóxicos e/ou prejudiciais ao meio ambiente. O conceito de reciclagem envolve o uso do material após ter passado por algum tipo de tratamento prévio (Brasil, 2010). No entanto, o reuso ainda é pouco adotado, mas existem diversas maneiras de incentivá-lo. Por exemplo, a recuperação de metais nobres, como a prata. Além disso, uma forma eficaz de aproveitar estoques de substâncias, como misturas sulfocrômica e fenóis, é misturá-los e realizar uma oxidação drástica sob aquecimento e refluxo. Isso permite eliminar o cromo (VI) e os resíduos orgânicos ao mesmo tempo (Jardim, 1998).

A lei 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), institui prioridades claras no gerenciamento dos resíduos sólidos. De acordo com o artigo 9º desta lei, o tratamento de resíduos sólidos é classificado como a quinta prioridade, com as seguintes prioridades precedentes: primeiramente à não geração, segundo a redução, terceiro

a reutilização e a quarta prioridade é a reciclagem (Brasil, 2010). Além disso, para garantir a conformidade legal e ambiental no gerenciamento de resíduos, é fundamental observar não apenas a Lei 12.305/2010 da PNRS, mas também outras legislações pertinentes, como a Lei 11.445/2007, que trata da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), e a Lei de Crimes ambientais (LCA) 9.605/1998, que trata das sanções penais dos crimes contra o meio ambiente. Cumprir essas leis é essencial para garantir a gestão responsável e sustentável dos resíduos sólidos.



### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Tratar e minimizar resíduos químicos contendo íons cobre, prata e cromo gerados durante aulas experimentais de química analítica e físico-química, para possível reutilização de produtos obtidos em novas aulas.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Tratar resíduos contendo cobre.
- Tratar resíduos contendo íons prata e cromo.
- Reduzir estoques de alguns resíduos contendo soluções de cátions metálicos.
- Reutilizar alguns produtos obtidos em novas aulas experimentais.

## 4 METODOLOGIA

A princípio desenvolveu-se análise qualitativa de resíduos gerados pelos laboratórios da UFNT, Campus Cimba, provenientes das aulas experimentais das disciplinas de Química Experimental II - Analítica e Química Experimental IV - Físico-química, do curso de licenciatura em química do ano de 2022. Foi possível verificar que existem uma grande quantidade de resíduos contendo Cromo, Prata e Cobre provenientes de práticas relacionadas a essas disciplinas. Com base nestas observações, neste trabalho, os resíduos tratados são soluções de sulfato de cobre e de cromato de prata, os mesmos encontravam-se armazenados nos laboratórios de química da universidade em recipientes de plástico e/ou vidro.

### 4.1 Tratamento de soluções sulfato de cobre.

#### 4.1.1 Método da Precipitação.

A metodologia de tratamento para soluções de sulfato de cobre pelo método da precipitação consiste em colocar 100 mL solução de sulfato de cobre II 0,1 M em banho-maria por volta de 100°C até quase secura, não foi adicionado nenhuma outra solução, ao béquer que continha a solução supracitada. Ademais, realizou-se a adição em banho-de-gelo e, em seguida, foi feita a filtração a vácuo, os cristais foram lavados três vezes com etanol gelado, posteriormente, os cristais ficaram no dessecador por 24 horas. Para finalizar eles foram pesados e armazenados para serem reutilizados em novas aulas experimentais.

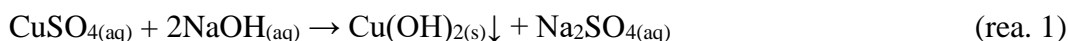
#### 4.1.2 Tratamento do resíduo de cobre via formação de hidróxido de cobre.

A metodologia utilizada neste procedimento foi proposta por Dalpasquale *et al.* (2011) e adaptada por Carlos e Marques (2022), contudo, devido a algumas lacunas existentes em ambos os trabalhos, como por exemplo, concentração insuficiente dos reagentes e outras informações necessárias para realizar o processamento corretamente, também foram feitas adaptações para padronizar as quantidades corretas de substâncias. Além disso, foram utilizados reagentes já preparados advindos de aulas práticas com concentrações variadas, visando uma diminuição de resíduos gerados no laboratório.

Durante o tratamento foi adicionado em um béquer 100 mL de solução de sulfato de cobre 0,1 M e colocado sob agitação magnética. Foi feita a verificação do pH (3,86) e posteriormente acrescentou-se, gota a gota, uma quantidade da solução de NaOH 1,0 M,

monitorando o pH até que atingisse um valor em torno de 9,0 a 10,0. O ponto de viragem da solução (ácido para base) foi observado através da mudança de viscosidade. Para que fosse possível observar a diferença entre as fases, o recipiente foi deixado em repouso por um período de 2 horas.

Reação de obtenção dos cristais de hidróxido de cobre (II) a partir de solução resíduo de  $\text{CuSO}_4$  0,1 M com uso de 15,7 mL de solução de NaOH 1,0 M.



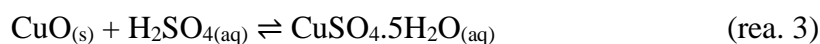
Posteriormente realizou-se uma filtração simples, separando a fase gelatinosa da líquida, ajustou-se o pH do sobrenadante para descarte (pH próximo a 7,0), enquanto o precipitado de hidróxido de cobre (II) foi seco em estufa por 12 horas a  $120^\circ\text{C}$ . Em seguida, o resíduo foi transferido para um cadinho e calcinado na mufla a  $600^\circ\text{C}$  por aproximadamente 6 horas.

Reação de obtenção do precipitado de óxido de cobre (II) após a calcinação em mufla.



Após a calcinação o óxido de cobre formado foi transferido para um béquer e adicionou-se 10 mL de uma solução de ácido sulfúrico 0,5 M. Colocou-se a solução em banho-maria a cerca de  $100^\circ\text{C}$  até chegar ao ponto de quase secar a solução, momento em que mais gotas de solução de ácido sulfúrico foram adicionadas até a solução não apresentar corpo de fundo, ficando assim completamente azul. Logo após, retirou-se o béquer do banho-maria e o colocou em banho de gelo para que formasse todos os cristais.

Reação de obtenção dos cristais de sulfato de cobre penta hidratado a partir da adição do ácido sulfúrico ao óxido de cobre (II).



Para finalizar, foi feita a filtração a vácuo dos cristais formados e foram lavados três vezes com etanol gelado. Posteriormente, os cristais foram deixados no dessecador por 24 horas para secar, eles foram pesados e armazenados para posterior reutilização. O fluxograma (Figura 1) apresenta as etapas de tratamento do resíduo de sulfato de cobre via formação de hidróxido de cobre, demonstrando assim, a sequência dos procedimentos realizados no tratamento do resíduo a partir da coleta até a disposição final.

Figura 1 - Fluxograma contendo o processo de tratamento do resíduo de cobre.



Fonte: Adaptado de DALPASQUALE; FUKAMACHI; FERREIRA, 2011.

O material recuperado nas duas metodologias foi reutilizado em uma aula prática de Cálculo de potenciais de eletrodos e construção de uma pilha voltaica, da disciplina de Química Experimental IV - físico-química, que consiste na preparação de uma solução contendo sulfato de Cobre II, produto obtido através do tratamento realizado.

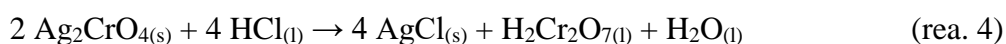
#### 4.2 Tratamento do resíduo contendo prata e cromo.

As metodologias desenvolvidas para o tratamento do resíduo contendo cromato de prata e cloreto de prata, foram duas, a primeira para o tratamento do precipitado proposta por Felisberto *et al.* (2008) e, a segunda para gerenciamento do sobrenadante que foi proposta por Armour (2005) e adaptada por Silva; Theophilo; Borges (2015). O resíduo que foi tratado é composto por uma parte sólida (o precipitado), e uma parte líquida (o sobrenadante).

Primeiramente separou-se o sobrenadante do precipitado por filtração simples. Em seguida, o precipitado foi seco em estufa e armazenado. E o sobrenadante foi armazenado para tratamento com tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ).

#### 4.2.1 Tratamento do precipitado.

O precipitado obtido através da filtração simples continha cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ) e pequenas quantidades de cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ). Foram realizadas duas reações com uma solução de ácido clorídrico a 10% (m/v), conforme a reação 4. Na primeira reação, 0,50 g do resíduo contendo  $\text{AgCl}$  e  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  foram colocados em um béquer e imersos em uma solução contendo 1,0 mL de ácido clorídrico 10% (m/v) por 24 horas.



O resíduo foi filtrado e lavado com cerca de 50 mL de água destilada, e verificou-se que a solução de lavagem era amarela, esse sobrenadante foi armazenado para tratamento proposto por Armour (2005) e adaptado por Silva; Theophilo; Borges (2015), com isso, o procedimento foi realizado novamente (segunda reação) até o momento em que foi possível observar a coloração da solução de lavagem incolor. O fluxograma (figura 2) representa o procedimento realizado. O resíduo da extração (solução incolor) foi armazenado em um frasco para posterior análise e descarte caso esteja de acordo com a resolução CONAMA N° 430/2011.

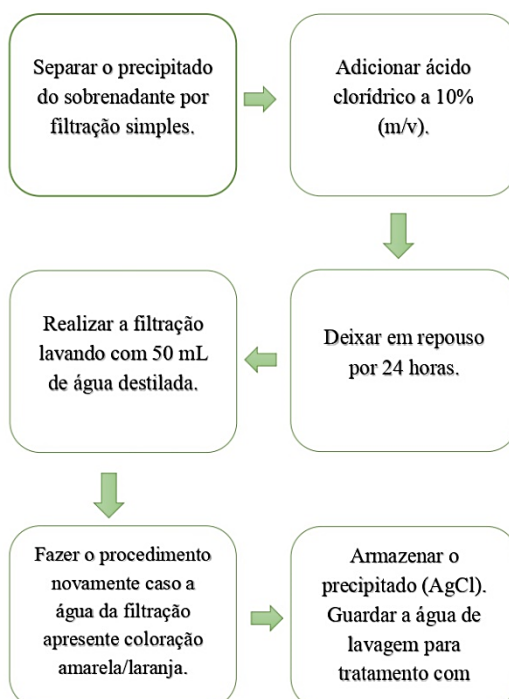
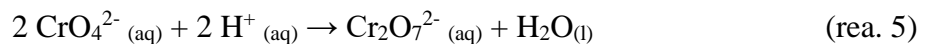


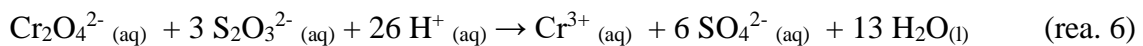
Figura 2 - Fluxograma com o passo a passo do tratamento do precipitado contendo ( $\text{AgCl}$  e  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

#### 4.2.2 Tratamento do sobrenadante .

O tratamento do sobrenadante obtido nas seções 4.2 e 4.2.1 (solução na cor amarela) foi realizado utilizando metodologia proposta por Armour (2005) e adaptada por Silva; Theophilo; Borges (2015). Que consiste adicionar tiosulfato de sódio em meio ácido, logo algumas gotas de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3,0 \text{ mol.L}^{-1}$  foram adicionadas antes do tratamento com o reagente até que o pH ficasse entre 3 e 2, neste pH a coloração do líquido passa de amarela (aspecto dos íons cromato) para laranja (traço do íon dicromato), conforme apresentado na reação 5.

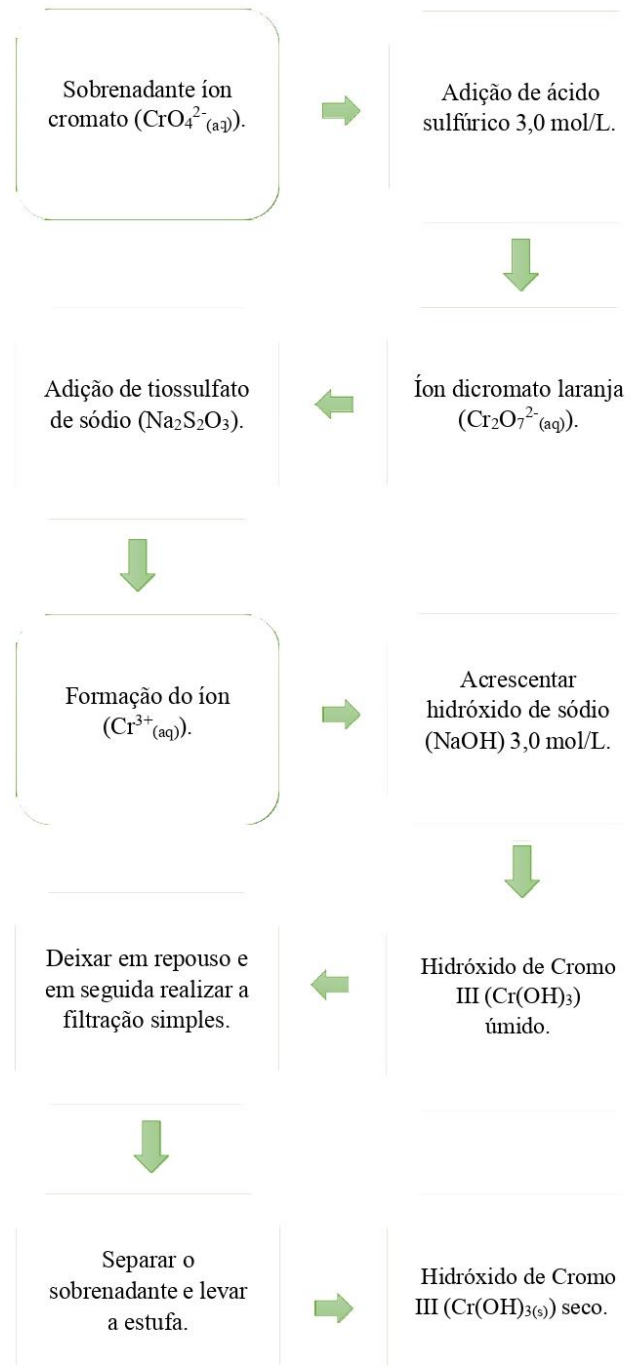


Posteriormente o resíduo foi adicionado em um béquer e adicionou-se  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  com agitação até ocorrer uma mudança de cor de laranja para verde. Um pequeno excesso de reagente foi adicionado para garantir a eficiência da reação. Logo após, adicionou-se  $\text{NaOH}$   $3 \text{ mol. L}^{-1}$  sob agitação até o pH ficasse maior que 10, formando  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , que é extremamente difícil de dissolver em água, essas duas etapas podem ser representadas pelas reações 6 e 7.



A solução é deixada em repouso por 24 horas, quando é decantada e filtrada para separar o precipitado de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  do sobrenadante (solução amarela) e repete-se o mesmo procedimento até que o sobrenadante fique incolor que deve estar sem a presença de cromo para ser descartada adequadamente. Os precipitados de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  devem ser secos na estufa a  $120^\circ\text{C}$  para armazenamento adequado. O fluxograma (figura 3) mostra as etapas de tratamento do sobrenadante com tiosulfato de sódio.

Figura 3 - Fluxograma do procedimento de tratamento do sobrenadante do resíduo de prata.



Fonte: Adaptado de SILVA; THEOPHILO; BORGES, 2015.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto teve início envolvendo a realização de pesquisas sobre resíduos contendo metais que são produzidos nas aulas experimentais nos laboratórios de química do campus Cimba da UFNT que possuíam a possibilidade de tratamento, assim sendo, avaliou-se os

materiais que estavam armazenados nos laboratórios do campus. Os resíduos de sulfato de cobre e cromato de prata são advindos de aulas práticas e que são formados em grande quantidade ocupando um volume considerável nos armários dos laboratórios. Portanto, esses resíduos foram escolhidos para este trabalho. Em seguida, foram verificados os possíveis métodos disponíveis para o tratamento disponíveis na literatura, levando em consideração sempre o custo do procedimento.

Nesta parte do trabalho serão apresentadas informações quantitativas para a recuperação de cobre metálico, prata e cromo. O cobre tratado na forma de solução sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ ), foi recuperado como sulfato de cobre penta hidratado ( $\text{CuSO}_{4(\text{s})}$ ), reduzindo consideravelmente o volume desse resíduo em laboratório. Posteriormente este reagente foi utilizado em aula experimental do curso de Química. A prata e o cromo foram tratados a partir do cromato e recuperados como cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ) e hidróxido de cromo III. A seguir serão apresentados os principais resultados obtidos em cada etapa do tratamento, bem como, as quantidades obtidas desses resíduos.

## 5.1 Recuperação do Cobre.

A fim de obter  $\text{CuSO}_{4(\text{s})}$  foram realizados dois procedimentos: o primeiro envolvendo a técnica de precipitação do resíduo de sulfato de cobre II, e o segundo que consistiu na execução da metodologia proposta por Dalpasquale *et al.* (2011).

### 5.1.1 Recuperação do Cobre por precipitação.

As reações que levam à formação de um produto insolúvel são denominadas como reações de precipitação. Tais reações ocorrem quando íons de cargas opostas se unem de maneira tão intensa que originam um composto iônico sólido que não se dissolve (Brown *et al.*, 2005). O processo de precipitação química é amplamente utilizado nas indústrias metalúrgicas e nas químicas, para a recuperação de metais e tratamento de águas residuais. A adição de determinados produtos químicos à fase aquosa pode levar à precipitação seletiva de determinados íons, possibilitando assim sua recuperação (Morais; Albuquerque; Ladeira, 2017).

Neste trabalho, foram utilizados 100 mL de solução de sulfato de cobre utilizando o método de precipitação, como descrito no item 4.1.1, após o procedimento foi possível obter



aproximadamente 6,5141 gramas de  $\text{CuSO}_4$  sólido. A figura 4 representa o processo de precipitação.

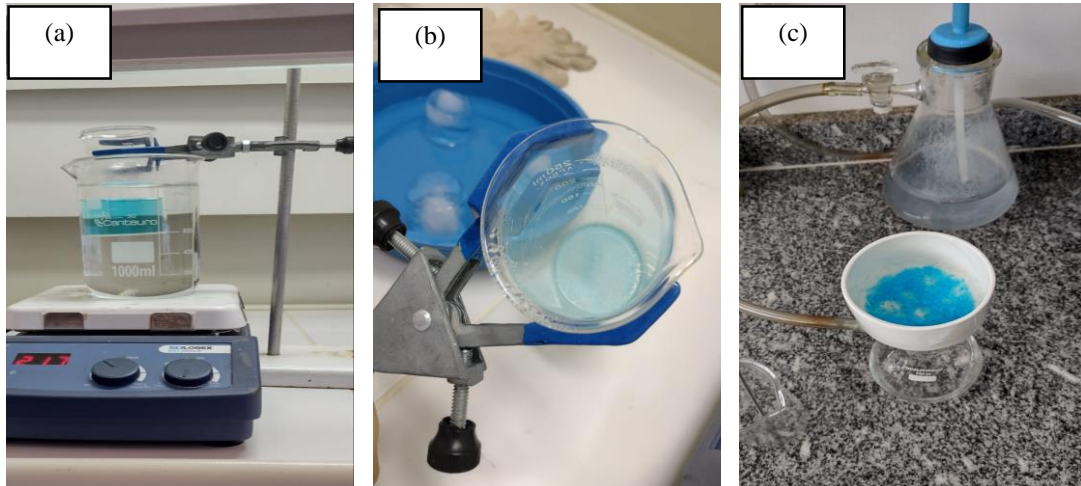


Figura 4 - Sulfato de cobre em banho-maria (a). Precipitado após o banho de gelo (b). Precipitado sendo filtrado a vácuo e lavado com etanol (c).

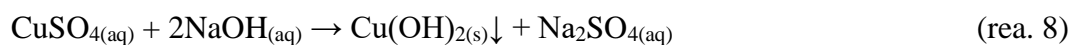
O procedimento foi realizado em triplicata, e pôde-se observar que nem todas as vezes foram formados a mesma quantidade de cristais. A formação dos cristais depende diretamente da quantidade de sulfato de cobre II que é utilizado no procedimento, uma quantidade total de 300 mL foi utilizada, obtendo assim 2,1442 g, 2,2066 g e 2,1633 g, respectivamente. O banho-de-gelo foi uma das etapas desenvolvidas neste procedimento e teve como objetivo finalizar a formação dos cristais. Quando um líquido passa pelo processo de diminuição da temperatura, por exemplo o banho-de-gelo, sua temperatura diminui abaixo do ponto de congelamento, formando um pequeno núcleo de cristalização em seu interior. Posteriormente, ocorre a cristalização, geralmente de forma rápida, muitas vezes acompanhada pela liberação de calor, conhecida como calor de cristalização. Em alguns experimentos a cristalização pode ser induzida ao causar atrito nas paredes do recipiente com um tubo/bastão de vidro (Russel, 1994).

Os cristais formados na precipitação foram secos em dessecador por 24 horas. Embora não tenha sido completamente purificado, o produto obtido foi utilizado para a preparação de uma solução de sulfato de cobre II que contém sulfato de cobre penta-hidratado e água destilada. Este procedimento de recuperação teve como objetivo encontrar uma maneira de tratamento que além de proporcionar o descarte eventual dos resíduos remanescentes, também obtivesse material de interesse para aulas práticas do curso de forma econômica e segura.

### 5.1.2 Recuperação do Cobre por meio da metodologia proposta por Dalpasquale *et al.* (2011).

A obtenção de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  puro obtido através desse método, diferencia-se do método de precipitação por existir algumas etapas com formação de novas substâncias, como o hidróxido de cobre  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  e o óxido de cobre ( $\text{CuO}_{(s)}$ ). Como essa técnica possui mais etapas a serem realizadas, e como foram feitas algumas adaptações em relação a metodologia proposta por Dalpasquale *et al.* (2011), os resultados serão relatados de acordo com os passos executados dos procedimentos experimentais realizados, assim como possíveis alterações foram realizadas para um melhor tratamento do cobre.

Com o intuito de obter o  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  a partir de uma solução de 100 mL de  $\text{CuSO}_4$  com concentração de 0,1 M, foi adicionado à solução 15 mL de  $\text{NaOH}$  1,0 M. A adição de  $\text{NaOH}$  foi feita até que o pH da solução atingisse a faixa entre 9,0 e 9,5. Nesse pH, ocorreu a conversão do sulfato de cobre em hidróxido de cobre, conforme a reação 8. Vale ressaltar a importância de utilizar uma concentração de  $\text{NaOH}$  igual ou superior a 1,0 M, devido ao alto volume necessário para ajustar o pH da solução quando concentrações mais baixas são empregadas. Um excesso de volume pode causar atrasos no procedimento subsequente, uma vez que a solução passará por filtração e um grande volume de sulfato de sódio formado pode prejudicar o processo de filtração. Esse procedimento foi realizado em triplicata. É importante frisar que a solução de  $\text{NaOH}$  utilizada neste procedimento não foi preparada para tal tratamento, ela já estava pronta e foi preparada de aulas experimentais/ou que estava armazenada a muito tempo em laboratório.



A primeira vez que executamos essa etapa para obtenção do  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , o pH da solução ficou entre 10 e 11, esse pH está fora da faixa proposta por Dalpasquale *et al.* (2011), mesmo assim prosseguimos com as etapas seguintes para verificar se houve alguma diferença na obtenção final do  $\text{CuSO}_{4(s)}$ . Foi possível observar uma coloração azul para o gel em pH 9,0 – 9,5 e uma coloração cinza para o gel em pH 10-11. A figura 5 demonstra o sistema antes e após a adição de  $\text{NaOH}$ .

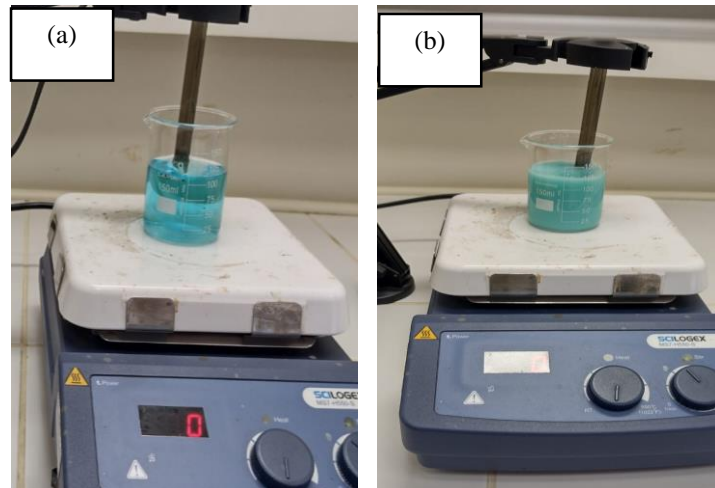


Figura 5 – Solução de sulfato de cobre II antes da adição de NaOH (a). Solução de sulfato de cobre II após a adição de NaOH (pH 9,0-9,5) (b).

O precipitado de hidróxido de cobre foi separado do líquido sobrenadante por meio de filtração simples. O precipitado foi reservado para uso posterior. A figura 6 representa o processo de filtração do hidróxido. O precipitado  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  foi seco em uma estufa a  $120^\circ\text{C}$  por 12 horas. A figura 7 apresenta os pós de óxido de cobre II obtidos tanto na faixa de pH 9,0-9,5 quanto na 10-11, depois de secos em estufa.

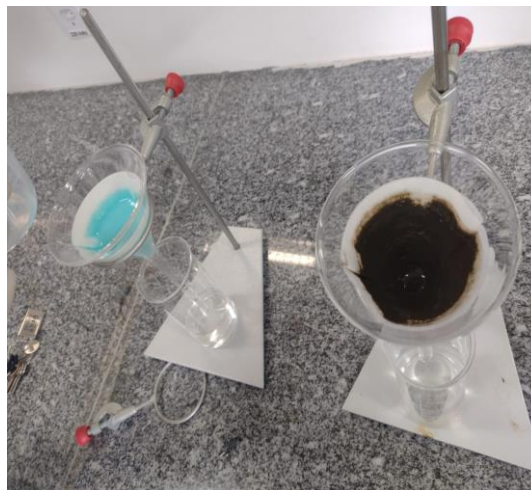


Figura 6 - Filtração do precipitado (Hidróxido de Cobre (II)).

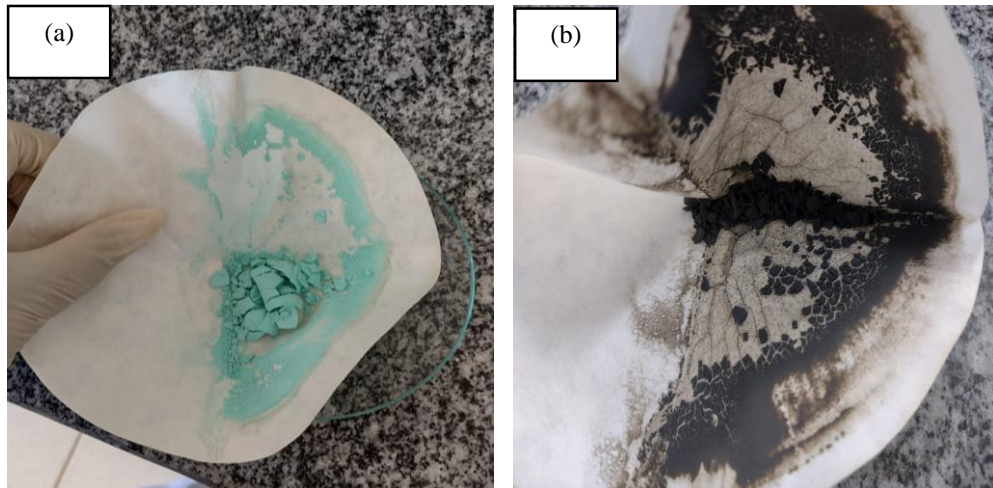
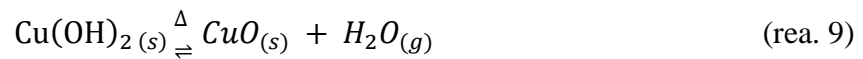


Figura 7 - Óxido de cobre(II) pH entre 9,0 e 9,5 (a). Óxido de cobre (II) pH entre 10,0 e 11,0 (b).

Para a formação do óxido de cobre ( $\text{CuO}_{(s)}$ ) o pó seco em estufa foi calcinado em uma mufla a  $600^{\circ}\text{C}$  durante 6 horas. Durante esse processo, ocorreu a formação do óxido, acompanhado pela evaporação da água, conforme ilustrado na reação 9.



A calcinação do óxido em uma mufla a  $600^{\circ}\text{C}$  por 6 horas, é realizada com o intuito de certificar a formação do óxido e remover íons que podem estar presentes na solução. A figura 8 apresenta os cadinhos com os pós obtidos após a calcinação. Foi possível obter 0,7460 e 0,8218 gramas de óxido de cobre II com pH 9,0-9,5 e 0,7434 gramas com pH 10,0 – 11,0.

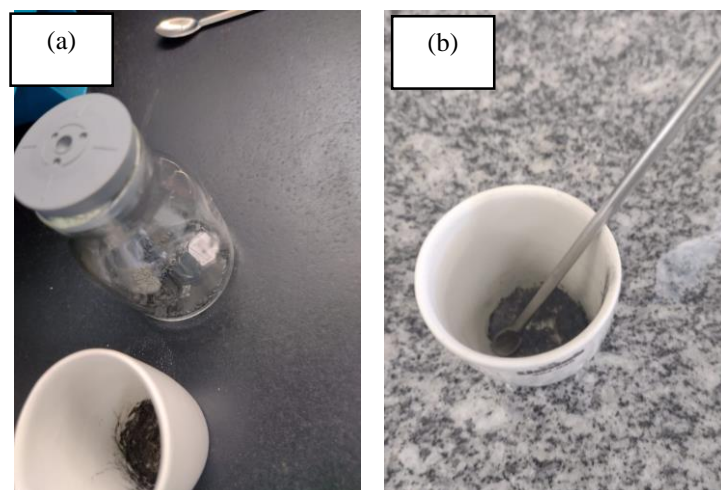
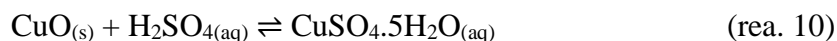


Figura 8 - Cadinho retirado da mufla e o recipiente de armazenamento (a). Cadinho com óxido após calcinação (b).

E por último, a produção dos cristais de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cobre penta-hidratado) é realizada transferindo o óxido formado para um béquer, onde 10 mL de ácido sulfúrico 0,5 M são adicionados. Esse conjunto é então submetido a um banho-maria a cerca de  $100^\circ\text{C}$ . A reação 10, a seguir, representa o processo.



Com o objetivo de agilizar o processo de formação do sal e promover a orientação da reação para a cristalização do sulfato de cobre, procedeu-se ao aquecimento do béquer contendo a solução de cobre em um banho-maria. Enquanto a solução está sendo concentrada no banho-maria, adicionou-se gradualmente um pouco mais de ácido sulfúrico, gota a gota, com o propósito de converter completamente o óxido. O aquecimento foi mantido até que todo o óxido, que inicialmente apresenta uma coloração preta, desaparecesse completamente, dando lugar a uma solução azulada de sulfato de cobre, a qual é solúvel em água. A figura 9 ilustra a mudança de coloração da solução antes e durante a precipitação em banho-maria.

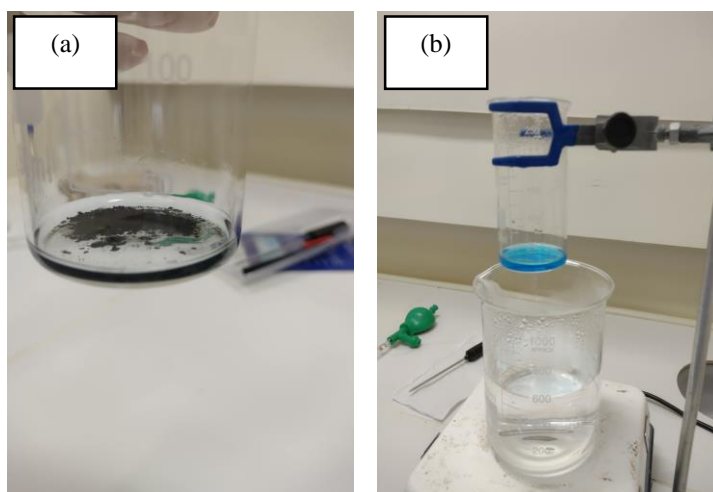


Figura 9 - Solução antes de ser adicionado em banho-maria (a). Solução com o óxido de cobre sendo diluído em banho-maria (b).

Continua-se o aquecimento da solução para reduzir o volume do líquido e promover a formação dos cristais de sulfato de cobre. No decorrer do período de formação dos cristais, etapa subsequente à adição de ácido sulfúrico e a adição em banho-maria, constatou-se o desenvolvimento de cristais azuis de sulfato de cobre penta hidratado em uma quantidade relativamente significativa. É aconselhável utilizar uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  com concentração mais elevada do que 0,5 M, isso otimiza o tempo necessário na etapa da segunda adição do ácido e reduz a quantidade. A figura 10 demonstra os cristais sendo formados em banho-maria.

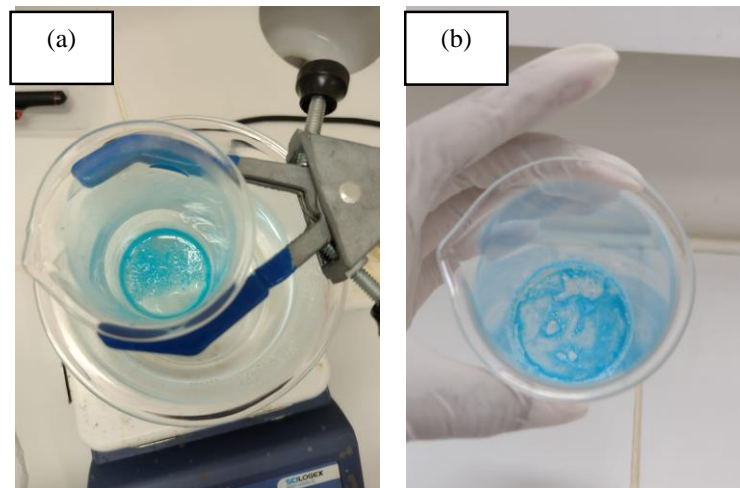


Figura 10 - Material durante o banho-maria (a). Material após o banho-maria (b).

De acordo com Carlos e Marques (2022) não é preciso submeter o béquer contendo o sulfato de cobre em banho de gelo, devido ao possível desperdício de recursos e tempo. Isso se justifica pelo fato de ser possível observar que os cristais de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  já estão em processo de formação durante a etapa do banho-maria. Os cristais resultantes são então submetidos à filtração a vácuo, sendo posteriormente lavados com etanol gelado, como representado na figura 11, a lavagem com etanol serve para remover impurezas que podem estar presentes em solução.



Figura 11 - Cristais de sulfato de cobre sendo filtrados.

Os precipitados obtidos foram secos em um dessecador ao longo de 24 horas e, em seguida, foram pesados apresentando valores iguais a 1,9353 g, 1,6071 g e 1,6829 g, respectivamente. De acordo com Dalpasquale *et al.* (2011), se os cristais apresentam coloração muito intensa é necessário realizar o aquecimento em capela, pois isso indica a presença de outras substâncias, por exemplo, a amônia ( $\text{NH}_3$ ). Entretanto, neste processo não foi necessário

aquecimento em capela, pois os mesmos não apresentaram coloração muito intensa. O procedimento possibilitou a formação de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado azuis sem impurezas discerníveis. A figura 12 apresenta os cristais após serem pesados sendo armazenados para posteriormente serem reutilizados.



Figura 12 - Cristais formados de sulfato de cobre penta-hidratado.

### 5.1.3 Verificação da viabilidade do processo de recuperação do Cobre.

O tratamento utilizando o método de precipitação demonstrou ser mais viável que o procedimento proposto por Dalpasquale *et al.* (2011), considerando que para a execução do método de precipitação foi necessário apenas a utilização do banho-maria e da bomba de vácuo. E o único reagente utilizado foi o etanol gelado. Sendo assim, analisando os custos, este procedimento se mostra mais favorável para a recuperação do sulfato de cobre. A tabela 1 apresenta os resultados adquiridos pelo método de precipitação.

**Tabela 1** - Resultados apurados na metodologia de precipitação para recuperação de Sulfato de Cobre Penta-hidratado.

Réplicas	Massa Cristais de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)
1 - réplica	2,1442 g
2 - réplica	2,2066 g
3 - réplica	2,1633 g
<b>Média</b>	2,1714 g
<b>Desvio Padrão</b>	0,0313 g

---

<b>Total</b>	6,5141 g
--------------	----------

---

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tendo em vista que as precipitações foram realizadas com 100 mL da solução de sulfato de cobre II 0,1 M, observa-se que a quantidade de cristais formados foi maior em relação aos valores obtidos na metodologia proposta por Dalpasquale *et al.*, (2011). Nesta última metodologia o processo para a obtenção do sulfato de cobre penta hidratado foi possível observar a formação de óxido de cobre penta hidratado, através da utilização do reagente NaOH, adição a estufa e da calcinação. A tabela 2 apresenta os resultados adquiridos pela metodologia proposta por Dalpasquale *et al.*, (2011). Durante a execução do procedimento, observou-se o consumo de aproximadamente 47,2 mL de NaOH 1,0 M e 84 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. Apesar da grande quantidade de reagentes consumidos, vale ressaltar que tanto as bases quanto os ácidos não foram preparados devido o reaproveitamento das mesmas, advindas de aulas práticas.

**Tabela 2** - Resultados apurados na metodologia de Dalpasquale *et al.* (2011) de recuperação de Sulfato de Cobre Penta-hidratado.

<b>Réplica</b>	<b>Volume de NaOH 1 M (mL)</b>	<b>Volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M (mL)</b>	<b>Massa de CuO (g)</b>	<b>Massa Cristais de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (g) Recuperados</b>
1 - Primeira	16,5 mL	30,0 mL	0,7434 g	1,9353 g
2 - Segunda	15,0 mL	29,0 mL	0,7460 g	1,6071 g
3 - Terceira	15,7 mL	25,0 mL	0,8218 g	1,6829 g
<b>Média</b>	15,7 mL	28,0 mL	0,7704 g	1,7418 g
<b>Desvio Padrão</b>	0,752 mL	2,645 mL	0,0436 g	0,1740 g
<b>Total</b>	47,2 mL	84,0 mL	2,3112 g	5,2253 g

Fonte: Autoria própria, 2023.

Empregando as expressões matemáticas (1) e (2), efetuou-se o cálculo das médias e desvios padrões dos valores apresentados nas tabelas 1 e 2. Observou-se que o volume de NaOH



consumido e à massa recuperada de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , exibiu valores equivalentes a  $15,7 \text{ mL} \pm 0,752 \text{ mL}$  e  $1,7418 \pm 0,1740 \text{ g}$ , respectivamente.

A equação (1) foi empregada para determinar a média.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{3} \quad (\text{eq. 1})$$

A equação (2) foi utilizada para calcular o desvio padrão.

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{eq. 2})$$

A avaliação do rendimento efetivo da reação foi realizada através da comparação dos dados experimentais com os dados teóricos, utilizando a relação estequiométrica. O cálculo do rendimento foi efetuado com base na estequiometria da reação 10, utilizando os dados da réplica 1 da tabela 2, devido à proximidade de seus valores médios com a média geral. As massas moleculares dos compostos envolvidos foram consideradas para essa análise.

Cálculo do (n) número de mol de  $\text{CuO}_{(s)}$  (réplica 1):

$$1 \text{ mol de } \text{CuO}_{(s)} \rightarrow 79,5 \text{ g}$$

$$n \rightarrow 0,7434 \text{ g}$$

$$n = 0,0094 \text{ mol de } \text{CuO}_{(s)}.$$

Observou-se pela reação 10 que a conversão do óxido de cobre (II) para o sulfato de cobre penta-hidratado é uma reação de proporção 1:1, indicando que 1 mol de  $\text{CuO}_{(s)}$  é equivalente 1 mol de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Com base nessa informação, calculou-se a massa (m) teórica de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (Réplica 1):

$$1 \text{ mol de } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 249,7 \text{ g}$$

$$0,0094 \text{ mol} \rightarrow m$$

$$m = 2,3472 \text{ g de } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}.$$

Realizou-se a comparação da massa teórica com a massa real adquirida no experimento, utilizando réplica 1 contendo 1,9353 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , com isto, determinou-se o percentual ( $\eta\%$ ) da reação, utilizando a Equação (3), revelando um resultado significativo de 82,45%.

Equação (3) utilizou-se para calcular o rendimento em porcentagem da reação.

$$\eta(\%) = \left( \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor teórico}} \right) \times 100\% \quad (\text{eq. 3})$$

$$\eta(\%) = \left( \frac{1,9353 \text{ g}}{2,3472 \text{ g}} \right) \times 100\%$$

$$\eta(\%) = 82,45 \% \text{ de rendimento.}$$

Com os procedimentos realizados, observou-se que era viável comparar a quantidade inicial de cobre presente na solução de resíduo de sulfato de cobre II em relação a quantidade final recuperada na forma de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado a partir das duas metodologias trabalhadas. A solução de resíduo, com uma concentração de 0,1 mol/L, possibilitou afirmar que 0,1 mol de Cu estava contido em 0,1 mol de CuSO<sub>4</sub>. Utilizou-se 600 mL dessa solução, dos quais 300 mL foram tratados pela metodologia de precipitação e 300 mL pela metodologia proposta por Dalpasquale *et al.*, (2011), contendo um total de 0,06 mol de Cu. Dessa forma, a massa de cobre foi calculada conforme apresentado a seguir:

$$1 \text{ mol de Cu} \rightarrow 63,5 \text{ g}$$

$$0,06 \text{ mol de Cu} \rightarrow m \text{ Cu}$$

$$m \text{ Cu} = 3,81 \text{ g}$$

Ao recuperar um sólido (os cristais de sulfato de cobre penta-hidratado) com uma massa total de 11,7394 g, supôs-se que:

$$1 \text{ mol de CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 249,7 \text{ g}$$

$$n \text{ de CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 11,7394 \text{ g}$$

$$n \text{ de CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0,047 \text{ mol}$$

Considerando que em 0,047 mol de CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O há também 0,047 mol de Cu, tem-se:

$$1 \text{ mol de Cu} \rightarrow 63,5 \text{ g}$$

$$0,047 \text{ mol de Cu} \rightarrow m \text{ de Cu}$$

$$m \text{ de Cu} = 2,98 \text{ g}$$

Com isto, realizou-se a comparação das massas inicial e final, calculou-se o rendimento do experimento para a recuperação de cobre utilizando a equação 3, supracitada:

$$\eta(\%) = \left( \frac{2,98 \text{ g}}{3,81 \text{ g}} \right) \times 100\%$$

$$\eta(\%) = 78,22 \% \text{ de rendimento.}$$

De acordo com os dados apresentados na tabela 2, o resultado alcançado foi satisfatório apesar das perdas que ocorreram ao longo do processo. Isso se torna evidente quando analisamos os resultados obtidos por outros trabalhos, como por exemplo, o de Dalpasquale *et al.*, (2011), a quantidade de cristais de cobre recuperado foi de 15,186 g utilizou-se 700 mL da

solução padrão de sulfato de cobre e, Carlos e Marques (2022), no qual a quantidade de cristais recuperados foi de 9,1729 g utilizou 500 mL do resíduo de sulfato de cobre (0,1 M). Com a realização do procedimento foram reduzidos 300 mL de solução de sulfato de cobre II para 5,2253 g de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sólido, desse modo foi possível reduzir a quantidade de resíduo que estava armazenado e que possivelmente não receberia um tratamento para reutilização como destinação final.

Com base na análise das tabelas 1 e 2, as duas metodologias apresentaram resultados significativamente relevantes. O procedimento apresentado por Dalpasquale *et al.*, (2011) obtêm-se a substância  $\text{CuO}_{(s)}$  para utilização em novos experimentos. Mas apesar da formação do óxido de cobre II, essa metodologia parece ser demorado e requer uma quantidade de utilização de energia muito grande, pois todas as etapas realizadas necessitam de equipamentos eletrônicos, como por exemplo, chapa aquecedora, pHmetro, estufa, mufla, balança analítica, bomba de vácuo (filtração a vácuo) e banho-maria. Portanto, mesmo apresentando um resultado final considerável, o custo do tratamento supera o benefício levando em consideração a existência e aplicabilidade do método de precipitação. A técnica de precipitação não utiliza reagentes e, levando em consideração que o processo pode ser realizado durante 12 horas, esta metodologia torna-se mais viável devido à duração, os custos e a possibilidade de aplicação em aulas experimentais desenvolvidas pelo curso.

#### 5.1.4 Aplicação do Cobre recuperado.

O cobre recuperado foi utilizado em uma Aula Experimental de Eletroquímica. Nesta prática foi possível construir uma pilha voltaica. Neste procedimento, o sistema de construção de uma pilha voltaica baseou-se na utilização de dois eletrodos ou condutores metálicos que quando em contato com eletrólito e condutor iônico, compartilhará elétrons por meio de uma ponte salina e dessa forma haverá a produção de eletricidade como resultado de uma reação espontânea (Atkins; De Paula, 2012). Para isso, foi adicionado em um béquer 25 mL da solução de sulfato de zinco, no outro béquer 25 mL de sulfato de cobre II (solução preparada a partir do cobre recuperado) e em cada béquer foi adicionado às placas de zinco e cobre de acordo com as soluções presentes (nitrato de zinco/placa de zinco, sulfato de cobre/placa de cobre). Na mangueira foi adicionado à solução aquosa de cloreto de sódio 10%. Em cada extremidade das placas metálicas foram presas as garras de jacaré dos fios que estavam devidamente conectados ao voltímetro para verificar a voltagem apresentada, a figura 13 demonstra os cristais pesados, as soluções preparadas, bem como o sistema montado.

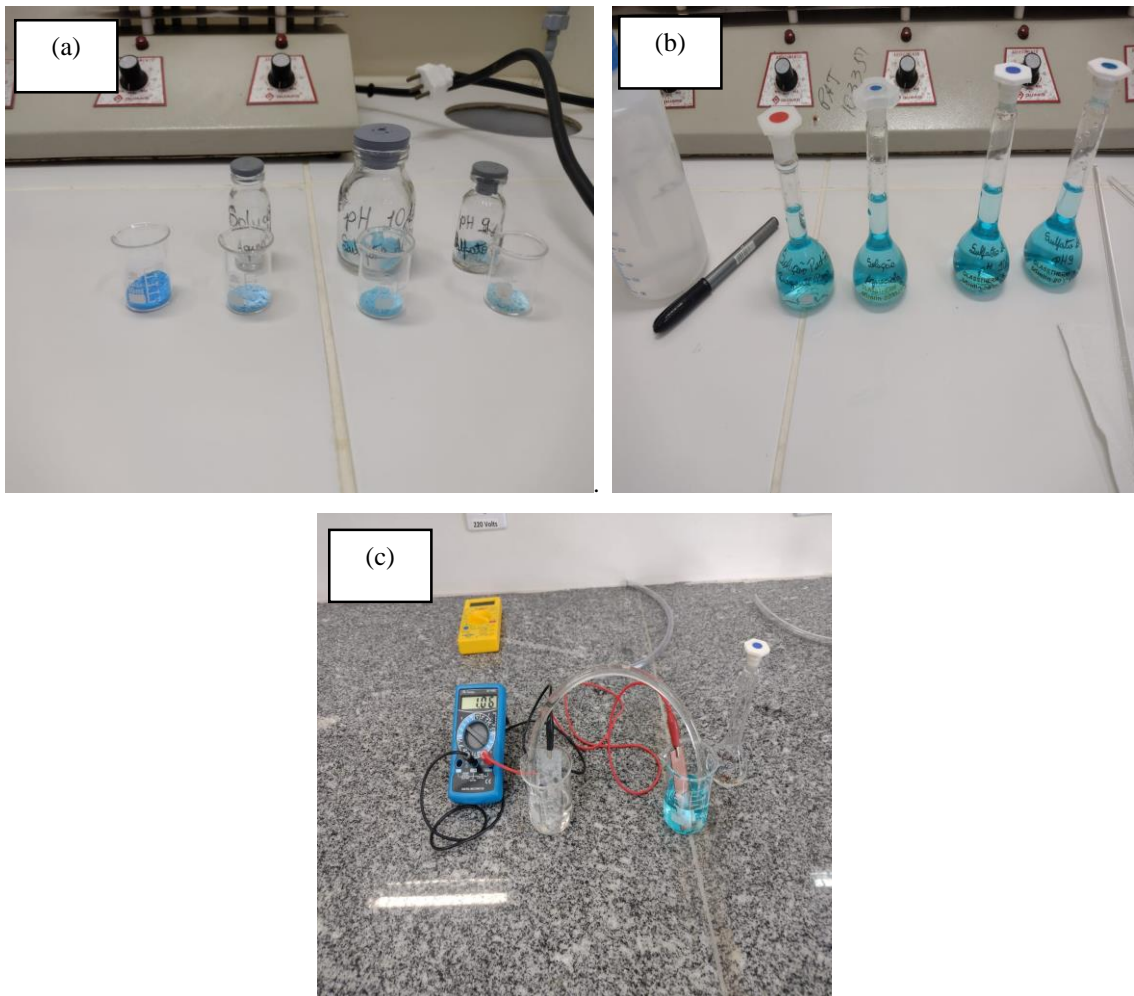


Figura 13 - Sulfato de cobre sendo pesado para o preparo da solução (a). Solução de sulfato de cobre II pronta (b). Aplicação da solução em aula prática (c).

Para ter certeza de que o experimento de construção de uma pilha voltaica seria eficaz utilizando os cristais recuperados, foi feito este procedimento quatro vezes: três com solução preparada com os cristais recuperados (uma por meio da técnica de precipitação e duas pela metodologia proposta por Dalpasquale *et al.* (2011) em que os cristais apresentam pH diferentes um na faixa de 9,0-9,5 e um entre 10,0-11,0), e uma a partir de uma solução padrão de cobre (reagente estoque). A figura 14 representa o resultado das aplicações do material recuperado com suas respectivas medições.

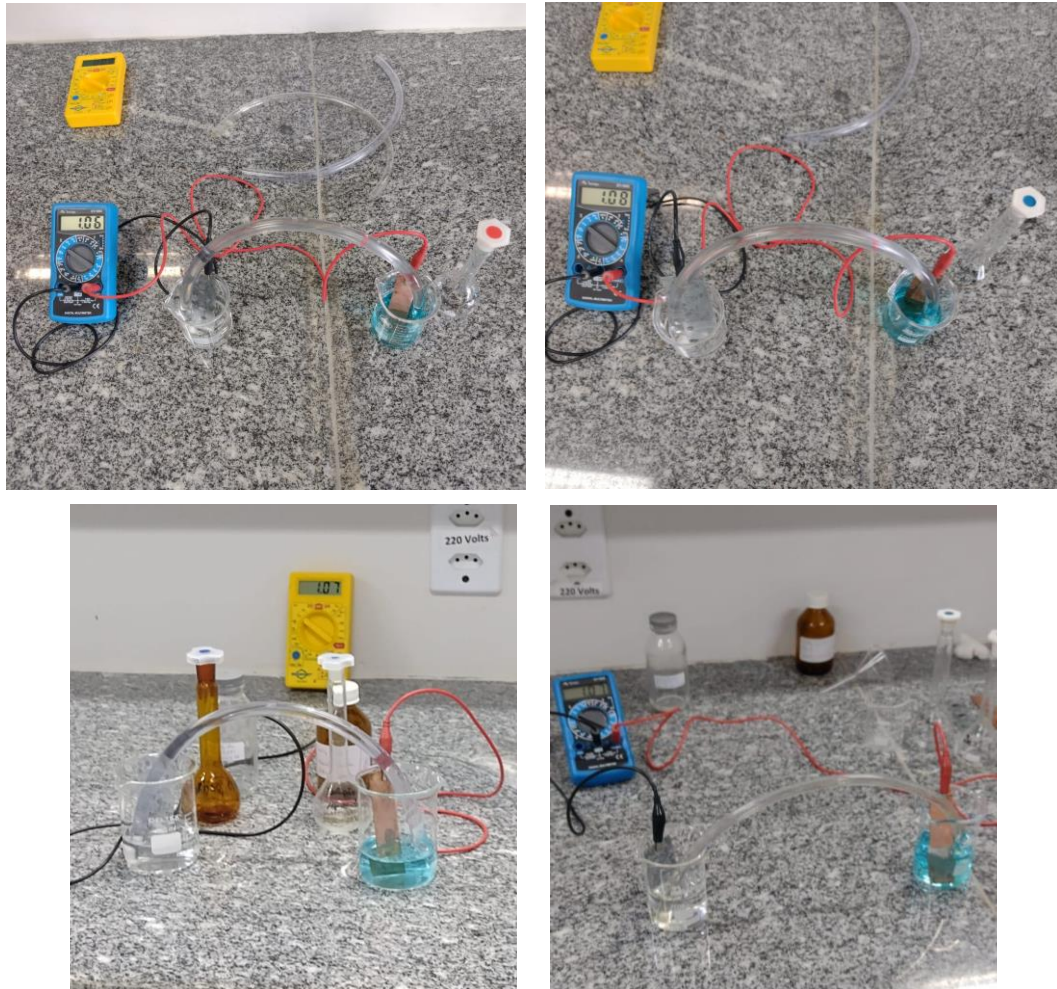


Figura 14 - Representação dos resultados alcançados.

Nesse procedimento quando um pedaço de zinco metálico é colocado em uma solução aquosa de sulfato de cobre (II), uma camada do metal começa a se depositar sobre a superfície do zinco, isso ocorre por conta da transferência de elétrons do zinco para o íon cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) em solução (Atkins; Jones; Laverman, 2018). No processo de oxidação do zinco (Zn) no compartimento do ânodo, íons  $\text{Zn}^{2+}$  são liberados na solução. Da mesma forma, no processo de redução do íon  $\text{Cu}^{2+}$  no cátodo, cargas positivas são removidas da solução, resultando em um excesso de carga negativa na metade da célula. A reação de oxidação do  $\text{Zn}^{2+}$  e redução do  $\text{Cu}^{2+}$  estão representadas pelas as reação 11 e 12. Portanto, é necessário que íons positivos migrem para dentro do compartimento do cátodo ou que íons negativos migrem para fora a fim de manter o equilíbrio de carga na solução (Brown *et al.*, 2005). Esse processo espontâneo ocorre como mostra a figura 15.





Figura 15 - Célula voltaica que usa uma ponte salina para completar o circuito elétrico, esquema montado em aula prática.

A ponte salina é um componente crítico em uma pilha eletroquímica, ela permite que íons fluem entre os compartimentos da pilha. Quando ocorre uma reação de oxidação e redução nas células da pilha, os elétrons são transferidos de compartimento para o outro, criando uma corrente elétrica. Ela garante que a pilha funcione de maneira eficiente e confiável (Brown *et al.*, 2005). Desse modo, a operação da pilha voltaica ocorre imediatamente após a montagem. O valor de aproximadamente 1,08 V foi indicado no voltímetro para todas as soluções que foram preparadas, tanto a padrão, quanto as outras três com os cristais recuperados por precipitação, e as com pH igual a 9,0-9,5 e 10-11. Tendo em conta que o valor esperado teoricamente consiste em 1,10 V, o valor alcançado está dentro do esperado.

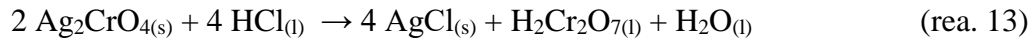
## 5.2 Recuperação de prata e cromo.

Nesta parte do trabalho, avaliou-se a eficiência do processo de recuperação do cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ) e do resíduo (cromato de prata) utilizando a metodologia proposta por Felisberto *et al.* (2008) para realizar o pré-tratamento do precipitado e o procedimento proposto por Armour (2005) e adaptada por Silva; Theophilo; Borges (2015) para o sobrenadante. O resíduo formado continha cloreto de prata na forma de precipitado e pequenas quantidades de cromato de prata.

### 5.2.1 Tratamento do precipitado ( $\text{AgCl}$ ) do resíduo de cromato de prata.

No tratamento do resíduo sólido, o mesmo apresentava coloração marrom, foram efetuadas duas extrações com solução de ácido clorídrico 10% (mv) preparada por meio do

ácido concentrado 37% (m/p). A adição de ácido clorídrico visa converter o cromato de prata em cloreto de prata de acordo com a seguinte reação:



Na extração, adicionou-se 0,50g de resíduo contendo AgCl em um béquer e imersos em uma solução contendo 1,0 mL de ácido clorídrico por 24 horas. O sistema foi deixado em repouso devido ao cromo diluir de maneira lenta em ácido clorídrico (Brown *et al.*, 2005). A solução foi filtrada e lavada com cerca de 50 mL de água destilada, observou-se que a solução apresentou coloração amarela, ou seja, indicando a presença de cromato em solução. A figura 16 apresenta a adição de ácido clorídrico ao precipitado.



Figura 16 - Adição de ácido clorídrico no precipitado (AgCl e Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>).

O procedimento foi realizado novamente, e após a segunda extração, o líquido de lavagem apresentou-se incolor, isto significa que visivelmente não havia mais a presença de dicromato em solução. A figura 17 mostra o resultado entre as duas extrações. Entretanto, apesar de não ser visível o cromato ainda pode estar presente em solução, desse modo, o resíduo obtido da extração (2,0 mL de ácido clorídrico e 100 mL de água destilada) foi armazenado em um recipiente de plástico.

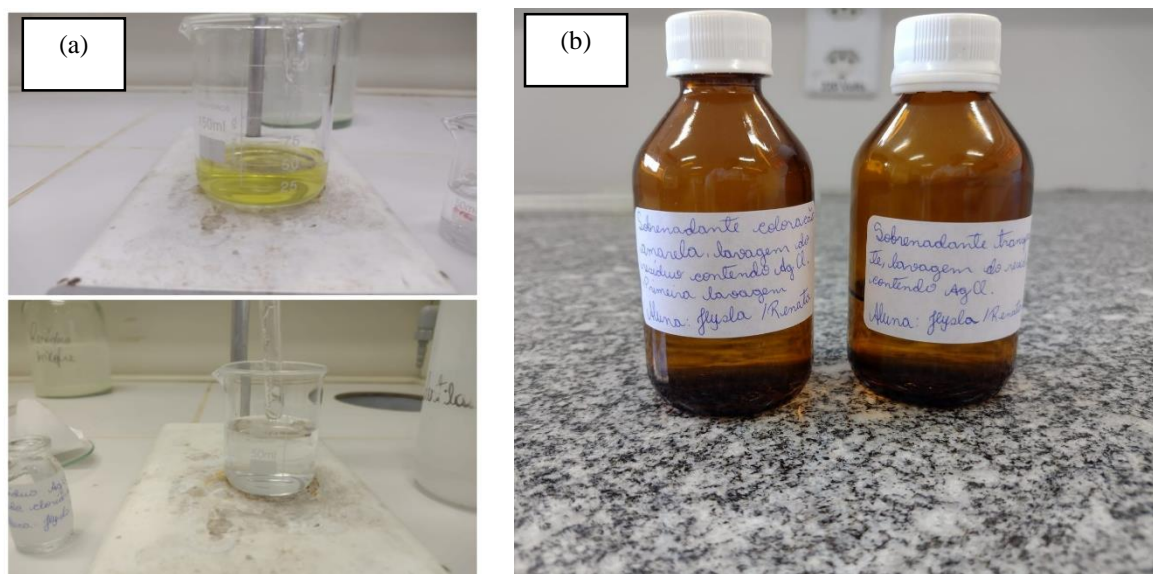


Figura 17 - Resultados das extrações realizadas com ácido clorídrico e água destilada (a). Armazenamento das soluções após a lavagem (b).

O primeiro sobrenadante formado do material sólido apresentou coloração amarela, sendo assim, houve a repetição do procedimento de tratamento com tiosulfato de sódio para retirar o dicromato que ainda estava em solução. Ressalta-se que deve-se considerar também que esse método pode ser trabalhado com acadêmicos de química em aulas práticas, os alunos têm a oportunidade única de acompanhar o processo analítico de forma completa, desde a realização de testes e geração de resíduos até a transformação em insumos técnicos, bem como envolvendo todos os aspectos do debate sobre o papel da química no desenvolvimento da sociedade, buscando o tratamento de resíduos que são gerados em aulas e nas pesquisas realizadas (Felisberto *et al.*, 2008).

### 5.2.2 Tratamento do sobrenadante do resíduo de cromato de prata após a filtração do precipitado e do resíduo oriundo do pré-tratamento do precipitado.

O líquido resultante após a filtração do sobrenadante foi transferido para um béquer. Por meio da adição controlada (gota por gota) de solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) com concentração de 3,0 mol/L, o pH foi ajustado para um valor inferior a 3. A mudança de cor ocorreu inicialmente de amarelo para amarelo mais escuro e se manteve nesse tom, indicando a redução permanente, a mudança de cor de amarelo para um amarelo mais escuro, representam características de dicromato e cromato, conforme é possível observar na reação 14. Isso é



representado pela figura 18, que ilustra a adição de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e a subsequente transformação de coloração.

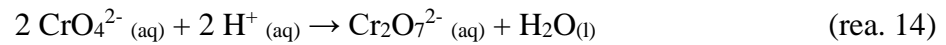
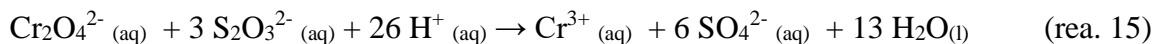


Figura 18 - Mudança de coloração do amarelo (béquer da direita) para laranja (béquer da esquerda).

Após isso, adicionou-se  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ao líquido enquanto agitava-se a solução. Esse processo foi continuado até que uma alteração na coloração, de laranja para verde, se tornou visível. A figura 19 retrata o sistema no momento da adição do tiosulfato de sódio. Essa mudança de coloração está diretamente associada à redução do cromo hexavalente ( $\text{Cr(VI)}$ ) para o cromo trivalente ( $\text{Cr(III)}$ ), a reação 15 apresenta a mudança que ocorre na solução.



Com a adição de gotas de  $\text{NaOH}$  a 3,0 mol/L, ainda sob agitação, o pH foi elevado acima de 10. Isso permitiu a formação de  $\text{Cr(OH)}_3$ , um composto pouco solúvel em água, que precipitou, a reação 16 representa a formação do Hidróxido de Cromo III. A mistura resultante foi deixada em repouso durante um período de 24h. A demonstração do sistema é ilustrada na figura 19.



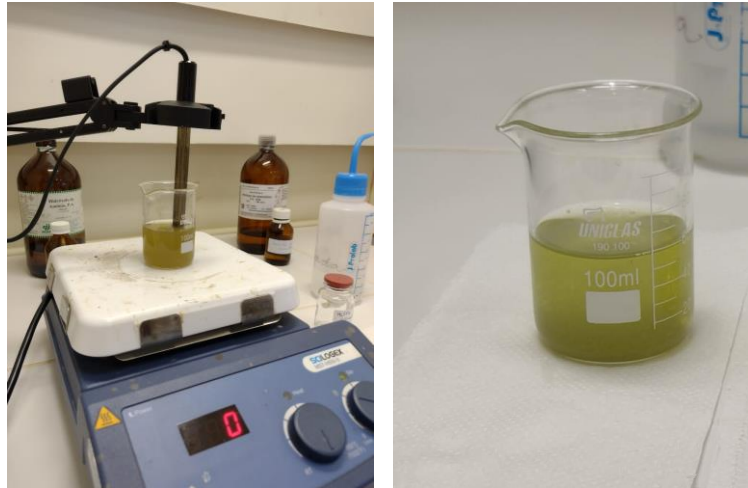


Figura 19 - Adição de tiosulfato de sódio ao sobrenadante.

A Figura 20 apresenta o sistema após ser deixado em repouso por 24 horas e a primeira filtração realizada. Após esse período, uma vez mais, ocorreu uma etapa de decantação e filtração para separar o precipitado de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  do líquido restante. O precipitado foi então submetido à secagem em estufa a uma temperatura de  $120^\circ\text{C}$ , visando o seu armazenamento adequado. É importante ressaltar que todo o procedimento é repetido caso a coloração da filtração não seja incolor.

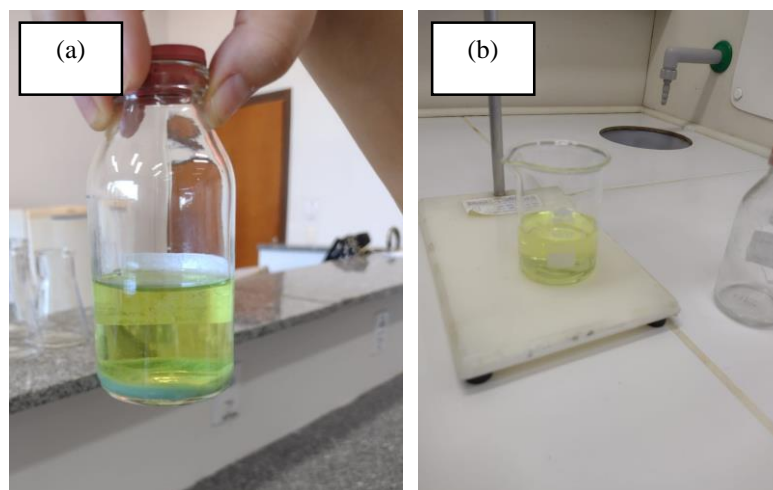


Figura 20 - Solução após ser deixada em repouso (a). Primeira filtração realizada (b).

Tendo em vista que o primeiro líquido apresentou coloração amarela, todo o procedimento foi realizado novamente até o momento em que a coloração do filtrado foi incolor. Para o resíduo utilizado foram necessárias apenas duas repetições do procedimento para que a solução apresentasse uma coloração incolor. É importante ressaltar que a quantidade de ácido adicionado é mínima, no máximo 2,0 mL e a quantidade de hidróxido de sódio

adicionada foi de no máximo 5,0 mL, para cada repetição realizada durante o processo. A figura 21 representa a etapa de separação do precipitado formado através da filtração simples.



Figura 21 - Filtração simples do precipitado formado.

Para o processamento adequado do resíduo incolor obtido para descarte é preciso fazer uma análise de espectroscopia na região do ultravioleta-visível, técnica também conhecida como UV-vis, para conferir se a concentração de cromo presente em solução está conforme o padrão estabelecido pela resolução CONAMA N° 430/2011. Se a concentração de cromo trivalente for igual ou inferior a  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , o sobrenadante pode ser descartado na pia em água corrente, caso exceda, o procedimento deve ser repetido novamente até que a quantidade de cromo esteja de acordo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias empregadas neste estudo possibilitaram o processamento de resíduos provenientes de experimentos laboratoriais, resultando na recuperação de substâncias, o que, por sua vez, viabilizou novas aplicações para esses materiais e aprimorou o manuseio e a gestão dos resíduos laboratoriais. Este trabalho tem o potencial de iniciar a sensibilização de estudantes e professores do Curso de Licenciatura em Química quanto à importância do manejo adequado dos resíduos, promovendo a conscientização de todos os usuários do laboratório acerca do armazenamento e tratamento apropriado dos resíduos gerados durante as atividades práticas. Adicionalmente, contribui para o compromisso do curso com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O trabalho alcançou resultados satisfatórios para o tratamento de soluções contendo Cobre, viabilizando a reutilização dos compostos recuperados. Portanto, as duas metodologias de recuperação de cobre podem ser de grande utilidade no tratamento de resíduos em laboratórios de química tendo em vista que os materiais e reagentes utilizados estão presentes em grandes quantidades em laboratórios dessa natureza. É importante notar que, apesar de algumas perdas no processo, o aproveitamento ainda foi significativo, resultando em 11,7394 g de cristais de sulfato cobre penta-hidratado, com rendimento de 82,45 %. No que diz respeito à aplicação dos cristais de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  recuperados em aulas práticas de eletroquímica, observamos que as soluções preparadas com o  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  recuperado apresentaram resultados comparáveis aos da solução padrão, indicando claramente a viabilidade do uso desses cristais para fins acadêmicos.

Quanto ao tratamento de resíduos contendo íon prata e cromo, o método utilizado para tratar o precipitado  $\text{AgCl}$  e  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  mostrou-se eficaz, uma vez que foi possível a obtenção do  $\text{AgCl}_{(s)}$ . No entanto, o processo de gerenciamento de resíduos de cromato de prata revelou-se trabalhoso, exigindo até duas repetições das etapas do procedimento e aumentando o consumo de reagentes. Por outro lado, o tratamento da solução de cromato de prata sobrenadante foi considerado eficiente, uma vez que, foi possível precipitar toda a prata presente na solução e o cromo obtendo uma solução incolor que possivelmente poderá ser descartada na pia. A abordagem para o tratamento do resíduo de cromato de prata contribuiu para o desenvolvimento de uma consciência ambiental. Internamente, destacou a necessidade de otimização das atividades práticas, incluindo a substituição de reagentes mais poluentes, a redução de resíduos, o que resulta em benefícios financeiros e ambientais.

## REFERÊNCIAS

AHMED, M. K.; KUNDU, G. K.; AL-MAMUN, M. H.; SARKAR, S. K.; AKTER, M. S.; KHAN, M. S. Chromium (VI) induced acute toxicity and genotoxicity in freshwater stinging catfish, *Heteropneustes fossilis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 92, p. 64-70, 2013.

ALKIMIN, G. D.; DORNFELD, C. B. A Educação ambiental sob a ótica dos alunos do ensino médio no município de Ilha Solteira/SP. In: Encontro de Pesquisa em Educação Ambiental: Questões Epistemológicas Contemporâneas: O Debate Modernidade / Pós Modernidade, 2013 Rio Claro; UNESP, Rio Claro, 2013. Disponível em: [http://www.epea.tmp.br/epea2013\\_anais/pdfs/plenary/0066-1.pdf](http://www.epea.tmp.br/epea2013_anais/pdfs/plenary/0066-1.pdf). Acesso em: 17 mar. 2023.

AMARAL, S. T.; MACHADO, P. F. L.; PERALBA, M. C. R.; CAMARA, M. G.; SANTOS, T.; BERLEZE, A. L.; FALCÃO, H. L.; MARTINELLI, M.; GONÇALVES, R. S.; OLIVEIRA, E. R.; BRASIL, J. L.; ARAÚJO, M. A.; BORGES, A. C. A. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 419-423, mar. 2001.

AMORIM, P. M. S. **Estratégias de tratamento de resíduos químicos gerados da FCF/USP**. 2018. Tese (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9135/tde-03042018-155021/en.php>. Acesso em: 01 ago. 2023.

ARMOUR, M. A. **hazardous laboratory chemicals disposal guide**. 3ª edição. Florida: Boca Raton, 2005.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Físico-química**: volume 1. Rio de Janeiro: LTC, ed. 9, v. 1, 2012.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química**: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. Porto Alegre, Bookman Editora, ed. 7, 2018.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm). Acesso em: 19 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. (2005) *Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005*. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Publicada no DOU nº 84, de 04 de maio de 2005, Seção 1, p.63-65. Disponível em: [https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com\\_gmg&controller=document&id=815-resolucao-conama-nº-358-05-de-29-04-2005-sesmg](https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com_gmg&controller=document&id=815-resolucao-conama-nº-358-05-de-29-04-2005-sesmg). Acesso em: 19 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. p.182 – (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/manual-gerenciamento-dos-residuos-de-servicos-de-saude.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. DOU nº 92, de 16 de maio de 2011, p. 89-91. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>. Acesso em: 01 dez. 2023.

BROWN, T. L.; LEMAY J. R. H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: A Ciência Central**. 9ª edição. São Paulo, Person Prentice Hall, 2005.

CARLOS, A. G. F.; MARQUES, S. K. Tratamento e reaproveitamento de resíduos de cobre provenientes de aulas práticas. Orientadora: Dra. Araceli Verónica Flores Nardy Ribeiro. 2022. 43f. TCC (Graduação) – Curso de Química Industrial, Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2382>. Acesso em: 13 mar. 2023.

COUTO, M. S. D. S.; GUIMARÃES, C. S.; PEREIRA, M. F. Contribuições de uma experiência pedagógica em Educação Ambiental. **Pesquisa em Educação Ambiental**. São Paulo, v. 12, n1, p.26-41, 2017.

DALPASQUALE, M.; FUKAMACHI, C. R. B.; FERREIRA, E. S. Tratamento e recuperação de resíduos de cobre provenientes de aulas experimentais. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 6, n. 1, 2011. Disponível em:

<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1228>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FELISBERTO, R.; VIEIRA, L. O.; COUTO, A.; SCHUH, R.; ALBINO, C. T.; LIBARDI, D. B.; CUNHA, A. C. B. da. De resíduo a insumo: a construção do caminho para uma química mais limpa através de um projeto de ensino. **Química Nova**, v. 31, p. 174-177, 2008.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Vr7XMNznYw3xLpjh35rx6sM/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FILHO, G. B., **Bogliolo**: Patologia Geral, 3º edição, Guanabara: Rio de Janeiro, 2004.

GERBASE, A. E.; COELHO, F. S.; MACHADO, P. F. L. Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 28, p. 3-3, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NBwbRgZ6PdBsQSk6qsmr8f/?lang=pt>. Acesso em: 17 mar. 2023.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**. Campinas, v.21, n.5, p.671-673, 1998.

KARALE, R. S.; WADKAR, D. V.; NANGARE, P. B. Removal and recovery of hexavalent chromium from industrial waste water by precipitation with due consideration to cost optimization. v. 2, n. 2, p. 209-217, **Journal of Environmental Research And Devevelopment**, 2007.

MACHADO, P. F. L.; MÓL, G. S. Resíduo e rejeitos de aulas experimentais: o que fazer? **Química Nova na Escola**, n. 29, p. 38-41, 2008.

MORAIS, C. A.; ALBUQUERQUE, R. O.; LADEIRA, A. C. Q. Processos Físicos e Químicos Utilizados na Indústria Mineral. **Caderno Temáticos Química Nova na Escola**, v. 8, p. 9-17, 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbjq.org.br/online/cadernos/08/04-CTN2.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.

NOGUEIRA, L. S.; PASQUALETTO, A. Plano de Prevenção de Riscos Ambientais (PGRA) para Empresas de Galvanoplastia. Departamento de Engenharia - Engenharia Ambiental. Goiânia, p. 1-28, dez. 2008.

RUSSEL, J. B. **Química geral**, 2. ed. v. 1. São Paulo: Makron Books. 1994.

SILVA, J. M.; THEOPHILO, P. H. M.; BORGES, S. S. S. Tratamento do Resíduo Oriundo do Método de Mohr com Imobilização em Cápsula de PVC/Corpo de Prova. Periódico **Tchê Química**, v. 12, n. 24, p. 82-90, 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/83389569/82\\_P\\_24.pdf](https://www.academia.edu/download/83389569/82_P_24.pdf). Acesso em: 10 abr. 2023.

SILVA, L. A.; VICTOR, M. M.; LOPES, W. A.; CUNHA, S. Cobre: produção industrial e aplicação. **Química Nova**, v. 42, p. 1154-1161, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bbmWKK9cHSLRrnnrJ3BX3sr/>. Acesso em: 14 ago. 2023.