



RECUPERAÇÃO DE RESÍDUO ELETRÔNICO PARA A SÍNTESE DE SULFATO DE COBRE(II) HIDRATADO E SULFATO DE ALUMÍNIO E POTÁSSIO DODECA-HIDRATADO

Gabriel Crispim Leite Vicente¹
Lucas Oliveira de Abreu Martins¹
Sandra Aparecida Silvestre Oliveira¹
Renan da Silva Leal¹
Thalita Farray Rocha^{1*}
Orientador Prof.^a Thais Taciano dos Santos

RESUMO

Este artigo tem por finalidade realizar a síntese dos sais inorgânicos: sulfato de cobre II e alumínio de potássio dodeca-hidratado, a partir de uma placa de televisão de 40", cujo o modelo é o Samsung Y-sus Pn43h4000/LJ41-10359^a, mediante a métodos hidro metalúrgicos, partindo da lixiviação dos metais cobre e alumínio. A placa foi analisada, e a partir de uma extração mecânica os metais foram retirados da bobina, do transformador e dos capacitores. A lixiviação aconteceu por meio de ácido e base fortes, sendo, para o cobre, ácido nítrico 6 mol.L⁻¹ e para o alumínio, hidróxido de potássio 1,5 mol.L⁻¹. Após os processos de lixiviação, iniciou-se as etapas reacionais para a obtenção dos sais. A análise de rendimento do cobre foi realizada através da quantificação por espectrofotometria de absorção molecular, em que o cátion Cu²⁺ foi o analito de interesse. Em contra partida, para o alumínio, foi realizada a marcha analítica geral, assim qualificando o método, a partir do cátion Al³⁺, devido à dificuldade em relação a quantificação, visto que o agente complexante, alizarina, apresentou intercorrências durante as análises. Através dos resultados obtidos, é possível validar a presente metodologia, levando em consideração o rendimento de aproximadamente 79% de Cu²⁺ e a presença de Al³⁺ nas amostras sintetizadas, ponderando o alcance em relação a resolução da problemática apresentada inicialmente.

Palavras-chave: Recuperação de resíduo eletrônico. Lixiviação de metais. Síntese de sais inorgânicos.

ABSTRACT

The purpose of this article is to perform the synthesis of the inorganic salts: copper sulfate II and potassium alum dodecahydrate, from a 40" television plate, whose model is the Samsung Y-sus Pn43h4000/LJ41-10359^a, by means of hydro metallurgical methods, starting from the leaching of the metals copper and aluminum. The board was analyzed, and from a mechanical extraction the metals were removed from the coil, the transformer and the capacitors. The leaching took place using a strong acid and base, being, for copper, 6 mol.L⁻¹ nitric acid, and for aluminum, 1.5 mol.L⁻¹ potassium hydroxide. After the leaching processes, the reaction steps to obtain the salts were initiated. The analysis of copper yield was performed through quantification by molecular absorption spectrophotometry, in which the Cu²⁺ cation was the analyte of interest. On the other hand, for aluminum, the general analytical march was performed, thus qualifying the method, starting with the Al³⁺ cation, due to the difficulty in relation to quantification, since the complexing agent, alizarin, presented problems during the analysis. Through the results obtained, it is possible to validate the present methodology, taking into account the yield of 79% and Cu²⁺ and the presence of Al³⁺ in the synthesized samples, considering the scope in relation to the resolution of the problem presented initially.

Keywords: Electronic waste recovery. Metal leaching. Synthesis of inorganic salts..

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
*tfarrayrocha@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos eletrônicos representam 5% de todo o lixo produzido pela humanidade, já que grande parte dos aparelhos eletroeletrônicos, eletrodomésticos, celulares, entre outros, são descartados de forma inadequada. Em escala mundial, os países que mais produzem resíduos desta categoria, são, em sua maioria, os mais populosos e não possuem recursos recicláveis para a alta demanda, tendo em vista o longo processo de decomposição destes componentes na natureza (GOMES, 2011).

O Brasil é o quinto maior país produtor de resíduo eletrônico no mundo, produzindo cerca de 2 milhões de toneladas por ano, das quais apenas 3% são reciclados, sendo que as quantidades estão aumentando ligeiramente devido a rápida obsolescência com a melhoria no poder de compra e acessibilidade da população nacional (BALDE, 2017).

Entretanto, os resíduos eletrônicos não possuem uma infraestrutura eficiente de reciclagem no próprio Brasil, conseqüentemente, os resíduos são dirigidos para outros países, em empresas habilitadas no seu tratamento, porém, quando não, são descartados inapropriadamente juntamente ao lixo comum (STAKONSKI, 2021).

Todavia, a presença de substâncias poluentes, na composição do resíduo eletrônico, gerada através dos metais, podem provocar em humanos, distúrbios no sistema nervoso, problemas renais e pulmonares, câncer, outras doenças e impactos negativos no meio ambiente, como degradação do solo. Ressaltando que todo o descarte e queima inadequados são um risco ao meio ambiente, biodiversidade e a saúde humana, pois se degradam no solo e emitem gases tóxicos. Sem contar as perdas econômicas por não reaproveitamento destes metais (RODRIGUES, 2007).

A lixiviação consiste na solubilização dos metais por meio de ácidos e bases fortes, partindo de processos hidro metalúrgicos, originando-se deste pressuposto, com o objetivo de evoluir com a questão da problemática apresentada anteriormente, foi proposta a implementação no ambiente acadêmico. Extraíndo os metais cobre e alumínio, mecanicamente, diretamente de placas eletrônicas, para realizar a síntese de sais inorgânicos: sulfato de cobre penta-hidratado e alúmen de potássio dodeca-hidratado (MORAES, 2011)

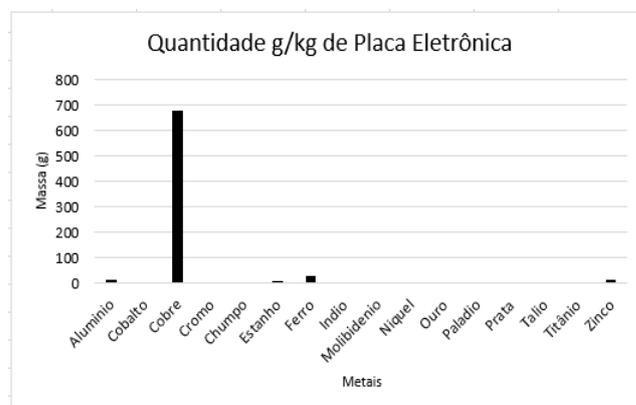
Levando em consideração que atualmente a progressão industrial está em larga escala, é possível que metais como o cobre, que possui alta condutibilidade elétrica, sejam 100% reciclados,

criando pouco ou praticamente nenhum lixo residual. Ressaltando que a reutilização deste metal possui um aproveitamento econômico em torno de 85%, trazendo consigo vantagens, visto que não existe diferença de qualidade do metal reciclado para o metal primário, desde que passe pelos processos adequados (TSCHIPTSCHIN, 2014).

Em contrapartida, para cada quilo de alumínio reciclado, cinco quilos do minério da bauxita são poupados, trazendo à tona a economia em 95% de energia elétrica em referência à extração feita diretamente da natureza, designando que a eficácia do reaproveitamento dos metais é muito maior em relação a extração primária (COSTA, 2007).

Os resíduos de equipamentos elétricos eletrônicos (REEE) são computadores, televisões, câmeras, monitores, impressoras, teclados, entre outros dispositivos descartados ou obsoletos, nesses resíduos há diversos metais pesados. Em placas eletrônicas de televisão como a Samsung Y-sus Pn43h4000/ LJ41-10359^a, cujo o objetivo é a melhoria da qualidade da imagem, podem ser encontrados até 27 diferentes metais, sendo 16 os mais comuns. No Gráfico 1, se evidenciam os metais com maior massa nas placas (MUNIZ, 2017).

Gráfico 1: Massa de metais por cada quilo de placa eletrônica.



Fonte: Adaptado de MUNIZ, 2017.

A vista disso, é necessário, para a resolução do problema, além do descarte adequado do resíduo, a possibilidade de reaproveitá-lo, reincorporando-o na cadeia produtiva. Sendo a reciclagem uma das fontes alternativas, apresentando possíveis aspectos quanto ao tratamento dos resíduos sólidos, a fim de constituir uma ação que além de diminuir a quantidade de resíduos e gerar renda, possibilita a diminuição da retirada de recursos minerais da natureza (SOUSA, 2018).

Dado isso, surge a necessidade de resoluções mais efetivas no descarte adequado desses resíduos.

2 METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os equipamentos utilizados para a realização desta metodologia foram lamparina, centrífuga, banho-maria, chapa de aquecimento, balança analítica e estufa. Os materiais que auxiliaram os experimentos foram espátulas, estilete, alicate universal, alicate de corte, tesoura, pinça, béquer, bastão de vidro, vidro relógio, funil de vidro, suporte universal, garra com argola, frasco de vidro âmbar, estante de tubo, tubo de ensaio, pinça de madeira, papel tornassol e fita de pH.

Tabela 1: Reagentes

Reagentes	Fórmula Molecular	Fornecedor
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	Química Moderna
Alizarina	C ₁₄ H ₇ NaO ₇ S	VE TEC
Ácido nítrico	HNO ₃	SYNTH
Bismuto de sódio	NaBiO ₃	SYNTH
Dimetilgloxina	C ₄ H ₈ N ₂ O ₂	SYNTH
Álcool etílico	C ₂ H ₆ O	SYNTH
Nitrato de bário	Ba(NO ₃) ₂	VE TEC
Tiocianato de amônio	NH ₄ SCN	CAAL
Peroxido de hidrogênio	H ₂ O ₂	Dinâmica
Sulfeto de amônio	(NH ₄) ₂ S	F-Maia
Tiocetamida	C ₂ H ₅ NS	F-Maia
Nitrato de amônia	NH ₄ NO ₃	Dinâmica
Tampão amoniacal pH 10	-	Química moderna
Nitrato de cobre II	Cu(NO ₃) ₂	Greentec
Hidróxido de sódio	NaOH	CAAL
Hidróxido de amônio	NH ₄ OH	Dinâmica
Hidróxido de potássio	KOH	Greentec

2.2. RETIRADA DOS METAIS

Considerando o melhor desenvolvimento da metodologia, esta foi separada por subitens, onde poderá se observar a origem dos metais utilizados, as sínteses e as análises de rendimentos dos sais sulfato de cobre II e alúmen de potássio dodeca-hidratado.

Inicialmente foi realizada a obtenção dos metais cobre e alumínio a partir da placa Samsung Y-sus Pn43h4000/ LJ41-10359^a.

A retirada foi realizada com o auxílio de um alicate universal, onde o alumínio foi extraído dos capacitores e o cobre obtido a partir do transformador e da bobina.

Tendo em vista a extração do alumínio, os capacitores foram retirados com alicate universal e o seu envoltório plástico removido com um estilete. Dando andamento, o alumínio foi fracionado com alicate de corte.

Para a obtenção do cobre: a bobina foi retirada com alicate universal e com o auxílio do alicate de corte foi fragmentada; no transformador, a proteção metálica foi desmontada e removeu-se a capa adesiva isolante com um estilete, assim acessando o carretel onde estava presente o metal.

É comum que em bobinas, devido ao enrolamento do metal, existam capas isolantes, para que não haja atrito, visto isso, para a melhor dissolução do metal as capas foram queimadas com o auxílio de uma lamparina, para aumentar a superfície de contato do metal com o ácido. Logo após, foram reservadas para os processos posteriores (GASPARIN, 2011).

2.3. SÍNTESE SULFATO DE COBRE II

Para o início da lixiviação do metal cobre foi realizada a preparação da solução de ácido nítrico 6 mol.L⁻¹.

Em um béquer de 50 mL foi pesado, aproximadamente, 0,2 g de cobre metálico, logo após, em uma capela de exaustão, adicionou-se 4 mL de HNO₃ 6 mol.L⁻¹ e aguardou-se o processo de lixiviação ser concluído, pelo tempo percorrido de aproximadamente 24 horas.

Adicionou-se 4 mL de NaOH 6 mol.L⁻¹ na solução, ocorrendo uma reação de simples troca, tornando o meio alcalino, com pH igual a 14, assim formou-se um precipitado azul gelatinoso, que denomina-se hidróxido de cobre.

O precipitado foi levado ao aquecimento, observando a formação de um precipitado preto, que por sua vez foi realizado em um sistema com lamparina e controle de temperatura com termômetro, para que não ultrapassasse 60°C, obtendo-se o óxido de cobre II, devido a desidratação do hidróxido.

Prosseguindo, colocou-se o óxido de cobre II em tubo de ensaio, este foi levado para a centrífuga e logo após separado do sobrenadante. O sobrenadante foi descartado, e no precipitado

fora adicionado aproximadamente 10 mL de H_2SO_4 3 mol.L⁻¹, obtendo-se o sulfato de cobre aquoso.

Tendo em vista a obtenção do sulfato de cobre II, a solução foi aquecida em um sistema com lamparina e temperatura controlada, não ultrapassando a margem de 100 °C, para a evaporação do excesso de água até a formação dos cristais. Logo após, o béquer com o sal foi coberto com filme de policloreto de vinila (PVC) durante 24 horas. Percorrido o período os cristais foram levados ao dessecador por uma semana, assim obtendo-se o sulfato de cobre penta-hidratado (SANTANA, 2013).

2.4. QUANTIFICAÇÃO DO CÁTION Cu^{2+}

Para realização da análise do Cu^{2+} , inicialmente preparou-se uma solução à 0,05 mol.L⁻¹ de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e verificou-se o comprimento de onda em 615 nm, segundo o método utilizado na literatura de Dias (2013). Em balões volumétricos de 10mL, foram adicionados os volumes da solução padrão de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, respectivamente, 500 μL , 1000 μL , 2000 μL , 3000 μL e 4000 μL e 2 mL de NH_4OH 28%, completando o menisco com água destilada. A preparação do branco foi feita em uma balão volumétrico de 10mL, onde pipetou-se o volume de 2 mL de NH_4OH 28% e o menisco foi atingido com água destilada.

As amostras de sulfato de cobre II lixiviadas foram pré dissolvidas e colocadas em balões volumétricos de 50 mL, acertando o menisco com água destilada. As soluções para a quantificação foram preparadas em balões volumétricos de 10 mL, onde foram pipetados 1 mL das amostras e 2 mL de NH_4OH , completando o menisco com água destilada (DIAS, 2013).

2.5. SÍNTESE DO SULFATO DE ALUMÍNIO E POTÁSSIO DODECA-HIDRATADO

Inicialmente para a produção do alumínio de potássio dodeca-hidratado, o alumínio foi lixiviado com hidróxido de potássio KOH 1,5 mol.L⁻¹.

Em um béquer de 50 mL pesou-se 0,5g do alumínio metálico, e logo após adicionado 25 mL de KOH 1,5 mol.L⁻¹. Com intuito de atingir a melhor eficiência na reação, a solução foi aquecida em uma chapa de aquecimento dentro da capela, de forma que não ultrapassasse 60 °C.

Após esta primeira etapa, com a solução ainda quente, para remover possíveis resíduos, filtrou-se, utilizando-se: suporte universal, papel de filtro e funil de vidro. Mantendo-se na solução os íons potássio e hidróxido de alumínio.

Em seguida adicionou-se 5 mL de H_2SO_4 9 mol.L⁻¹ formando o precipitado de hidróxido de

alumínio que dissolveu devido a concentração do ácido.

Por fim a solução foi esfriada rapidamente, utilizando-se banho de gelo, para que ocorresse a precipitação do alumínio. Então o precipitado obtido passou por uma nova filtração, e foi levado para estufa a 65 °C por 24 horas. No dia seguinte, levou-se o cristal para o dessecador por mais 24 horas, para obter-se o alumínio seco (SCHIOCHETT; FELIPPE; BASSANI, 2015).

2.6. QUANTIFICAÇÃO DO CÁTION Al^{3+}

A varredura do equipamento, foi realizada com o branco e o padrão 3, para a construção da curva analítica. Onde o pico do comprimento de onda encontrou-se em 472 nm.

Com a finalidade de determinar o rendimento do cátion Al^{3+} , utilizando o espectrofotômetro de absorção molecular, foi reparada uma solução padrão de nitrato de alumínio em água a 0,04 mol.L⁻¹ e uma solução de vermelho de alizarina em etanol 70% a $2,5 \cdot 10^{-3}$ mol.L⁻¹, no objetivo de reagir com o alumínio formando um complexo solúvel, atribuindo a solução uma cor de tonalidade avermelhada, em balões volumétricos de 10mL. Foi adicionado nos balões 50 μL , 150 μL , 250 μL , 350 μL e 500 μL , da solução padrão de nitrato de alumínio, 1 mL de vermelho de alizarina em etanol 70%, 1 mL de tampão amoniacal pH 10 e para completar o menisco água destilada. Para o branco, em um balão volumétrico de 10 mL, adicionou se 1 mL de alizarina, 1 mL de tampão amoniacal pH 10 e completou-se o menisco com água destilada.

A preparação das amostras foi realizada em balões volumétricos de 100 mL, onde a amostra lixiviada passou por uma pré dissolução, e completou-se o menisco com água destilada. Em contra partida, para a análise espectrofotométrica, separou-se balões de 10 mL e foram pipetados 1 mL de amostra, 1mL de alizarina em etanol, 1 mL de tampão amoniacal pH 10 e o menisco foi completado com água destilada (MOREIRA, 2011)

2.7. QUALIFICAÇÃO DO CÁTION Al^{3+}

A amostra foi preparada em um tubo de ensaio e aquecida no bico bunsen. Adicionou-se NH_4OH 3 mol.L⁻¹ para a formação do hidróxido de alumínio III aquoso, logo após adicionou-se NaOH 6 mol.L⁻¹ e 10 gotas de água oxigenada 10 vol. Aqueceu-se a solução e o precipitado foi lavado para a formação do complexo. Prossequindo, adicionou-se gota a gota HCl 3 mol.L⁻¹ para indicar a presença de Al^{3+} .

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. COLETA E PREPARAÇÃO

A PCI utilizada foi a Samsung Y-sus Pn43h4000/ LJ41-10359^a (figura 1), aplicada para a eficiência de imagem de uma televisão de 40", cedida por um dos integrantes para aplicar os experimentos de reaproveitamento de metais presentes.

Figura 1: Resíduo eletrônico, placa de televisão.



Com objetivo de retirar manualmente os metais cobre e alumínio, a placa foi previamente desmontada e seus componentes contendo esses metais foram separados das demais partes sem relevância como: revestimento plástico e capsulas de porcelana (Figuras 2, 3 e 4).

Figura 2: Bobina pré fracionamento



Figura 3: Transformador encapsado.

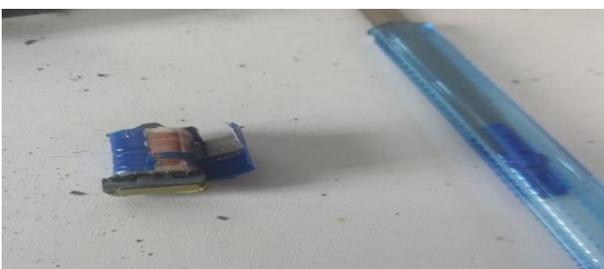


Figura 4: Capacitor no processo de desencapamento.



A partir dos procedimentos executados foi possível obter as seguintes quantidades de metais, descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidades de metais obtidos

Metal	Componentes	Massa obtida (g)
Cobre	Bobina	19,1640

Cobre	Transformador	3,8628
Alumínio	Capacitores	10,3869

Pode-se observar que as quantidades de cobre a partir da bobina foram maiores que a quantidade de cobre retirada do transformador. As quantidades aproveitadas foram bastante significativas, tendo material suficiente para a execução do trabalho.

3.2. SULFATO DE COBRE II

Tendo em vista o melhor desenvolvimento das sínteses, as lixiviações foram separadas em lotes com 5 amostras, sendo, respectivamente, três para o metal extraído da bobina e duas para o metal retirado do transformador. Ao final das práticas em laboratório foram realizados três lotes.

O primeiro lote não apresentou bons resultados pois durante a separação do óxido de cobre do meio reacional, notou-se grande quantidade de perdas no método de filtração a vácuo, levando em consideração o precipitado presente no papel de filtro. Desta forma optou-se pelo método de centrifugação descrito na metodologia, o qual apresentou resultados muito melhores, diminuindo a quantidade de perdas de material (Figuras 5 e 6).

Figura 5: Precipitado após a filtração do óxido de cobre.

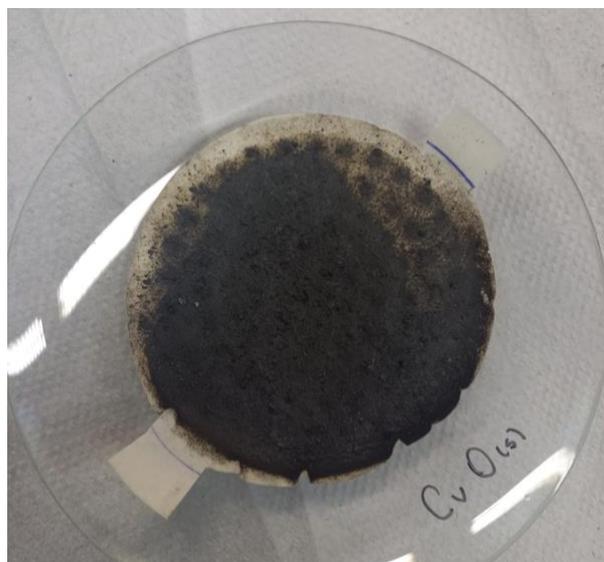
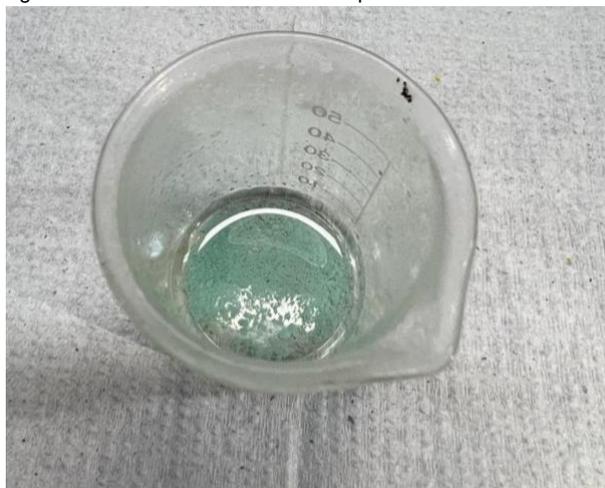


Figura 6: Adaptação do método. Centrifugação do precipitado.

Após realizar a síntese de mais um lote, visto que inicialmente o objetivo era produzir sulfato de cobre penta-hidratado, a cristalização não

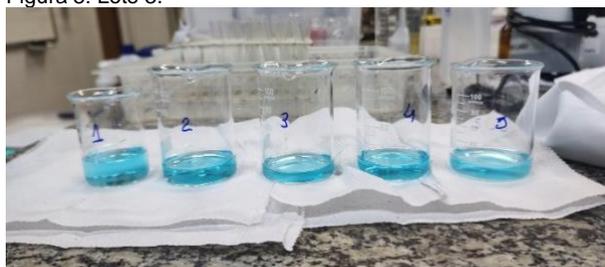
aconteceu como o esperado, todavia o sal permaneceu úmido, devido as suas propriedades higroscópicas (Figura 7).

Figura 7: Cristais de sulfato de cobre penta-hidratado úmidos



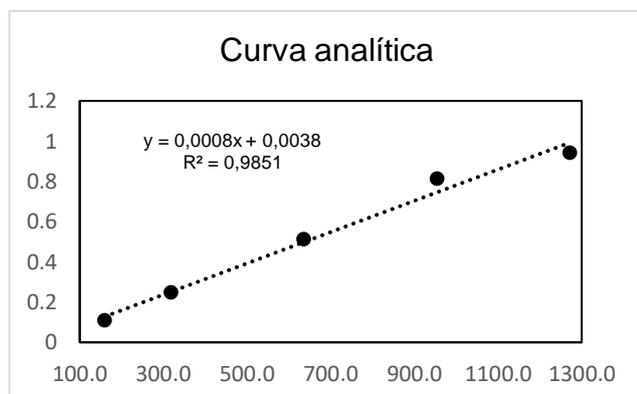
Contudo, realizou-se o último lote, com as adaptações necessárias, em relação aos anteriores. Assim, decidiu-se pela produção de uma solução de sulfato de cobre II (Figura 8).

Figura 8: Lote 3.



A curva analítica preparada a partir dos padrões está descrita na Figura 9.

Figura 9: Curva analítica dos padrões utilizados na quantificação do sulfato de cobre II.



Os resultados de rendimento da solução de sulfato de cobre(II) foram realizados a partir da concentração das amostras por espectrofotometria. Ressaltando que a média foi realizada por componente, levando em consideração a triplicata

de amostras da bobina e a duplicata de amostras do transformador, como podem ser observados na tabela 3 e 4.

Tabela 3: Rendimento percentual de cobre na bobina

Bobina		
Amostra	Massa (g)	Rendimento (%)
1	0,2106	83,8
2	0,2045	81,5
3	0,2032	70,5
Média		78,6
Desvio padrão		7,13

Tabela 4: Rendimento percentual de cobre no transformador

Transformador		
Amostra	Massa (g)	Rendimento (%)
4	0,1978	83,3
5	0,2116	73,5
Média		78,4
Desvio padrão		6,88

3.3. SULFATO DE ALUMÍNIO E POTÁSSIO DODECA-HIDRATADO

Em decorrência ao melhor desenvolvimento das sínteses, as amostras foram separadas em lotes, onde o primeiro conteve uma amostra e os posteriores 5 amostras, com a finalidade de reproduzir resultados mais precisos. A partir disso, foram necessários três lotes para que as soluções pudessem ser preparadas para a quantificação posteriormente.

Inicialmente, o primeiro lote foi realizado com apenas uma amostra, porém durante o processo de filtração, ao adicionar-se água destilada a amostra ficou laranja, indicando contaminação externa, que no momento era de fonte desconhecida (Figura 10). Embora houvesse contaminação, para a possível validação do método, adicionou-se o reagente precipitante, e aguardou-se o tempo necessário para a formação dos cristais (Figura 11).

Figura 10: Coloração após a contaminação externa.

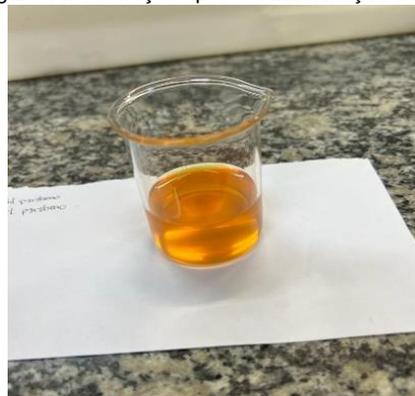


Figura 11: Adição de H_2SO_4 9 mol.L⁻¹.



Dando andamento, um lote com cinco amostras foi iniciado, paralelamente. Porém, por falta de cuidado, na etapa de aquecimento as amostras ficaram descansando para serem aquecidas no próximo dia, inesperadamente resultou na perda de grande parte das amostras 1, 4 e 5 (Figura 12). Entretanto, como as amostras 2 e 3 apresentaram condições o suficiente para a realização da metodologia, o reagente precipitante foi adicionado e aguardou-se o tempo necessário para a cristalização. As amostras precipitaram, como esperado, porém com algumas ressalvas, como: turbidez e suspensão (Figura 13).

Figura 12: Resíduo das amostras 1, 4 e 5.

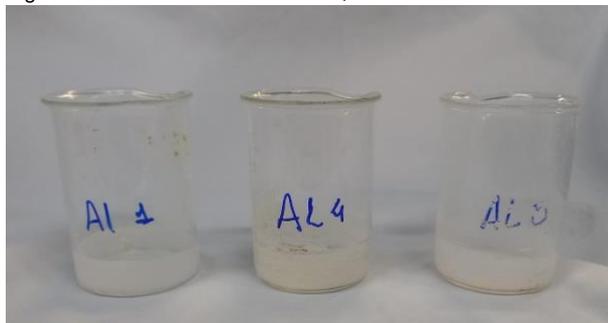


Figura 13: Amostra com turbidez e suspensão.



Com o intuito de obter-se uma solução cristalina, para não interromper as análises de rendimento, um novo lote foi realizado com 5 amostras. Neste lote, apenas a amostra 1 sofreu variação, ficando extremamente turva e com precipitado (Figura 14). Com isso, a amostra foi substituída pelo primeiro lote, levando em consideração que os cristais foram lavados e após

a contaminação apresentava a cristalização esperada (Figura 15).

Figura 14: Amostra com cristalização turva



Figura 15: Cristalização da amostra do lote 1.



As amostras escolhidas foram separadas conforme descrito na metodologia, para a quantificação. Porém, ao adicionar o agente complexante e o tampão amoniacal, as amostras turvaram, podendo-se observar que conforme os minutos passavam, todas as amostras ficaram cada vez mais suspensas, acumulando um precipitado ao fundo do balão volumétrico (Figura 16). Invalidando este método, nessas condições.

Figura 16: Amostra suspensa após a complexação



Todavia, para qualificar a síntese do alúmen de potássio, foi realizada a marcha analítica

geral nas 5 amostras utilizadas anteriormente. Através deste método, a amostra 1 apresentou um precipitado característico do metal chumbo (Figura 17), o que pode ser explicado devido a contaminação que ocorreu no primeiro lote. Todas as amostras qualificaram o método com a presença de alumínio (Figura 18).

Figura 17: Presença de chumbo na amostra 1.

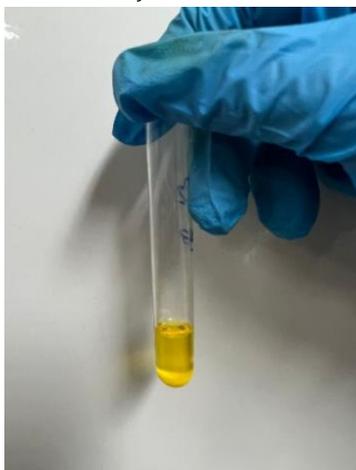


Figura 18: Qualificação do alumínio



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizado este trabalho, considera-se que a recuperação de metais em resíduos eletrônicos é viável para indústrias, principalmente aquelas que produzem esse tipo de resíduo, levando em consideração que o tratamento correto destes componentes pode tornar vantajoso todos os processos econômicos em relação a extração primária. Pontuando que o destino destes metais tratados podem ser tanto para a constituição de novas PCI's, quanto como para os fins deste trabalho, implementando esta recuperação no ambiente acadêmico, tornando o sulfato de cobre II e o alúmen de potássio objeto de estudo.

Portanto, a metodologia, previamente adaptada, foi um sucesso, visto que o rendimento do metal cobre de, aproximadamente, 79% é aceitável comparado ao que o fabricante estipula como pureza dos componentes do resíduo utilizado, neste caso 99%. A margem do desvio é compreendida, levando em consideração que durante os processos de diluição, entre outros, pode-se ter ocorrido perdas do metal.

Porém, para o alumínio, embora a quantificação não tenha sido possível, a validação pelo método qualitativo se faz necessária, uma vez que pode identificar a presença do cátion Al^{3+} . Deixando como perspectiva, o desenvolvimento de melhores condições em relação a complexação do alumínio, tendo em vista as dificuldades em relação ao pH da alizarina e das amostras. Fazendo-se ressalva, que a pureza do sal é de extrema importância para o desenvolvimento de análises posteriores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus que nos deu forças para chegarmos até aqui. Agradecemos a Escola Técnica Estadual Irmã Agostina pela infraestrutura e disponibilidade em horários além dos propostos pela grade. A todos os funcionários desta instituição e em especial a nossa orientadora Thais Taciano dos Santos e aos professores Doutor Fábio Rizzo Aguiar e Doutor Alexandre de Jesus Barros por todo apoio que significou muito neste momento. Aos nossos colegas que contribuíram com toda a nossa evolução e desenvoltura durante este percurso e aos nossos familiares e amigos que nunca deixam de segurar as nossas mãos.

REFERÊNCIAS

BALDE, C. P. et.al. The Global E-waste Monitor – 2017: **Quantities, Flows, and Resources**. **United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA)**, Bonn/Geneva/Vienna, 2017.

COSTA, Guilherme Monteiro et al. **Análise e recuperação de cobre de placa de circuito impresso (PCI)**. 2007.

DIAS Bittenbender, M.; PIAIA Ramborger, B.; DENARDIN, E.; DA SILVA Rosa, A.; ROEHRS, R. **Desenvolvimento de método espectrofotométrico para determinação de Cu por complexação com hidróxido de amônio**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 4, n. 2, 15 mar. 2013

GASPARINI, Alexandre. **Adesão metal-polímero: dispositivos de medição e correlações físico-químicas**. Orientador: Dr. Ricardo Vinicius Bof de Oliveira. Porto Alegre. 2011. Tese (Doutorado em

ciências dos materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

MORAES, Viviane, **Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidro metalúrgico de placas de circuito impressos de celulares obsoletos**. Orientador: Dr. Jorge Alberto Soares Tenório. São Paulo. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2011.

MOREIRA, Eduardo, **Tratamento eletroquímico e eletroquímico irradiado do corante vermelho de alizarina S**. Orientador: Dr. Artur de Jesus Motheo. São Carlos. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, 2011.

RODRIGUES, Angela Cassia. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós consumo no Brasil**. Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Andrade de Gouveia Vilela. Santa Bárbara D'Oeste, 2007

SANTANA, Vanessa Neves. **Do cobre ao cobre**. Jequié, 2013.

SANTOS, Carlos; NASCIMENTO, Luis; Daiane NEUTZLING. **A Gestão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) e as Consequências para a Sustentabilidade: As Práticas de Descarte dos Usuários Organizacionais**. 2017.

SCHIOCHETT, Douglas Rodrigo; FELIPPE, Arlindo Cristiano; BASSANI, Leandro. **Viabilidade do uso do alumínio, sintetizado a partir de alumínio reciclável, na etapa de coagulação e floculação da eta de Chapecó-SC**. Orientador: Dr. Arlindo Cristiano Felipe. Chapecó. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal da Fronteira Sul, 2015.

SOUSA, Mayara, **Extração de metais das placas de circuito impresso – reciclagem do lixo eletrônico**. Orientadora: Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal. Fortaleza. 2018. Monografia (Química). Universidade Federal do Ceará, 2018.

STAKONSKI, Alexandre. **O ouro escondido: estudo de caso em uma cooperativa de reciclagem de resíduos eletrônicos**. Orientadora: Dra. Enise Barth. Chapecó. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Administração) Universidade Federal da Fronteira do Sul, 2021.

TSCHIPTSCHIN, André Paulo. **Efeito de impurezas nas propriedade mecânicas do cobre UNS C12200***. São Paulo, 2014.