

Recuperação de resíduo de cobre gerado em aulas práticas para se evitar contaminação ambiental

Recovery of copper waste generated in practical classes to avoid environmental contamination

DOI:10.34117/bjdv7n9-560

Recebimento dos originais: 07/08/2021

Aceitação para publicação: 30/09/2021

Joselito Nardy Ribeiro

Coordenador do Interdisciplinary Laboratory of Environmental Health-ILEH
Centro de Ciências da Saúde
Universidade Federal do Espírito Santo
Endereço: Avenida Marechal Campos 1468 Maruípe
Vitória-ES, Brasil
E-mail: Joselito.ribeiro@ufes.br

Angelo Fernando Melo Barbosa

Mestrando do Mestrado Profissional em Química-PROFQUI
Instituto Federal do Espírito Santo-IFES
Endereço: Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco
Vila Velha-ES, Brasil
E-mail: angelobarbosaraf@gmail.com

André Gruvira Fernandes Carlos

Graduando em Química Industrial
Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, campus de Vila Velha
Endereço: Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco
Vila Velha-ES, Brasil
E-mail: andre.gruvira@gmail.com

Skarlat Krishnah Marqus

Graduanda em Química Industrial
Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, campus de Vila Velha
Endereço: Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco
Vila Velha-ES, Brasil
E-mail: skarlat.krishnah@gmail.com

Madson de Godoi Pereira

Professor do Departamento de Ciências Exatas e da Terra-DCET
Universidade do Estado da Bahia-UNEB
Endereço: Rua Silveira Martins, 2071-2095 – Cabula
Salvador-BA, Brasil
E-mail: madson.pereira444@gmail.com

Araceli Verónica Flores Nardy Ribeiro

Professora do Instituto Federal do Espírito Santo-IFES
Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, campus Vila Velha

Endereço: Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco
Vila Velha-ES, Brasil
E-mail: araceli@fes.edu.br

RESUMO

Metais pesados como chumbo, cádmio, cobre, mercúrio, entre outros, são constantemente lançados no meio ambiente aquático provocando inúmeros danos em plantas, animais e em humanos. Várias são as fontes de contaminação, dentre as quais destacam-se: lixões de eletrônicos, esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos de aulas práticas de químicas descartados nas pias dos vários laboratórios espalhados pelo país. Neste trabalho, empregou-se uma metodologia, com algumas modificações, com o intuito de recuperar o cobre presente em resíduo de aulas práticas de química realizadas no Instituto Federal do Espírito Santo em Vila Velha-ES. Através do emprego de reagentes como hidróxido de sódio, ácido sulfúrico, além de procedimentos como filtração, aquecimento e calcinação, foi possível recuperar aproximadamente 74,13 % de cobre na forma de sulfato de cobre penta-hidratado. Tal recuperação evitou contaminação ambiental e permitiu o reuso do cobre nas aulas práticas, diminuindo o custo das mesmas.

Palavras-chave: aulas práticas de química, recuperação de cobre, proteção ambiental

ABSTRACT

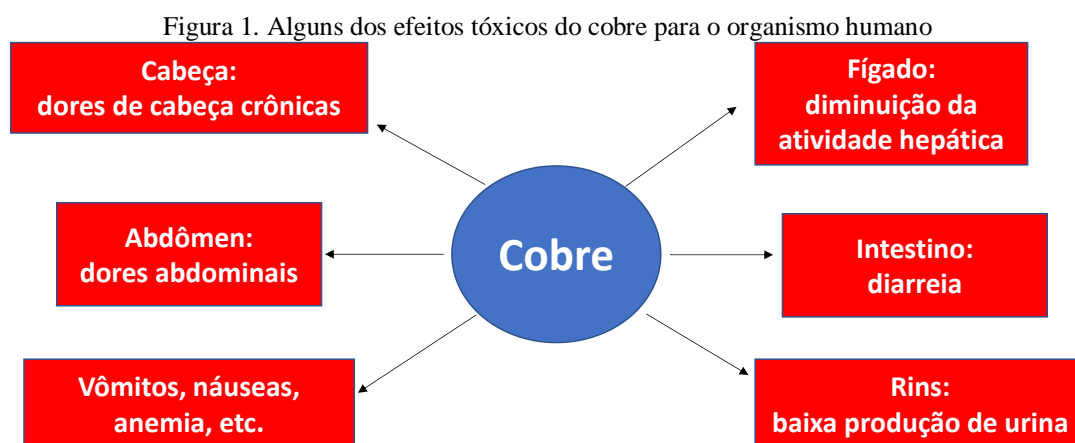
The heavy metals such as Pb, Cd, Cu, Hg, and others are released constantly on the aquatic environment. The presence of these metals provoke several negative effects in the plants, animals and humans. Different sources are responsible by environmental contamination such as: industrial and domestic effluents, e-waste, chemical practice classes, and others. In this work was utilized a know method, with some modifications, for copper removal from aqueous residues produced in the chemical practice classes realized on the laboratories of the Federal Institute of Espírito Santo, Brazil. The utilization of chemical reactants such as sodium hydroxide and sulfuric acid, beside procediments as filtration, heating, and burning allowed for recovery of 74.13 % of copper of as a solid salt of copper sulfate. The result allowed to reduce the amount of copper discarded in the environment and also its reuse in practical classes, reducing their costs.

Keywords: chemical practice classes, copper recovery, environmental protection

1 INTRODUÇÃO

A presença de poluentes orgânicos e inorgânicos na atmosfera (AZEVEDO et al., 2021), no solo (YANG et al., 2020), na água (WU et al., 2015; RIBEIRO et al., 2021), em vegetais (LUO et al., 2011), nos animais (ZENG et al., 2014) e nos humanos (LUBRAN et al., 1980) representa graves problemas de saúde pública (RIBEIRO et al., 2004). Dentre os poluentes mais perigosos destacam-se metais como: Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Fe e Co (MEABA et al., 2021). A presença de metais no meio ambiente aquático pode elevar os níveis de radiação, como aconteceu no Rio Doce, Brasil, após o desastre de Mariana-MG (CARMO et al., 2018). Além disso, pode ocorrer intoxicação de peixes

(ZENG, et al., 2014), contaminação de plantas aquáticas (LI et al., 2018), de animais domésticos que bebem de fontes naturais (YANG et al., 2013), de vegetais cultivados próximos a essas fontes (YANG et al., 2013) e finalmente de humanos (HONG-GIANG et al., 2021). Alguns metais, como Pb e Cd, são extremamente tóxicos até mesmo em baixíssimas concentrações e, assim, incompatíveis com a vida (SKERFVING e BERGDAHL, 2007). O Pb, por exemplo, reage facilmente com biomoléculas, principalmente com grupo tiol presentes no aminoácido cisteína, causando a perda da função dessas biomoléculas. Além disso, o chumbo é capaz de causar a inibição da síntese do grupamento heme das hemoglobinas, provocando um quadro de anemia severa (LUBRAN, 1980). Em relação ao cobre, em termos nutricionais, ele é considerado um micronutriente essencial a vida. Em pequenas concentrações ele atua como cofator de várias enzimas (STERN, 2010), dentre elas a superóxido dismutase (SOD-Cu) que protege nosso organismo do ânion superóxido, umas das espécies reativas de oxigênio que é bastante danosa para as células. Além disso, o cobre é importantíssimo no processo de fosforilação oxidativa que, nas mitocôndrias, produz energia na forma de ATP para manutenção da vida. Entretanto, em concentrações elevadas, o cobre pode ser tóxico para o organismo (HORN e BARRIENTOS, 2008). Várias são as consequências oriundas das elevadas concentrações de cobre em humanos. Dentre estas destacam-se: diminuição da atividade hepática, baixa produção de urina, diarreia, vômitos, náuseas, dores abdominais, anemia, perda parcial da visão, gosto metálico na boca, convulsão muscular, dor de cabeça crônica, insônia, ansiedade, acne etc. (Figura 1) (GAETKE e CHOW, 2003).



As fontes de contaminação do meio ambiente aquático por metais são várias. Dentre estas destacam-se: efluentes industriais (HONG-GIANG et al., 2021), esgotos domésticos (JORDÃO et al., 2005), lixo eletrônico (WONG et al., 2007), resíduos de

aulas práticas (FERREIRA et al., 2016), entre outras (SANKHLA et al., 2018). No Brasil, ocorreu aumento significativo de instituições de ensino superior desde meados de 1990 (BARROS, 2015). Isso implica, em um considerável aumento na geração de resíduos provenientes das atividades de ensino, pesquisa e extensão, especialmente resíduos químicos tais como rejeitos de aulas experimentais e de pesquisas. Dentre as atividades desenvolvidas nessas instituições, estão as aulas experimentais, onde comumente são gerados resíduos químicos, biológicos e radioativos, com alto grau de contaminação e toxicidade. O fato é que, na maioria das vezes, não existe plano de gestão para esses resíduos, os quais acabam sendo descartados de modo incorreto no meio ambiente (MACHADO e MOL, 2008). Dentre os diversos resíduos gerados, existem os que são considerados perigosos e podem acarretar grave risco para saúde pública e meio ambiente. Diante desse fato, tem sido crescente o desenvolvimento de metodologias sustentáveis de manejo dos resíduos, que são baseadas no conceito da Química Verde (FERREIRA et al., 2016). Com o passar do tempo algumas dessas instituições de ensino passaram a demonstrar interesse em modificar esse panorama de descuido. Processos têm sido implementados para tratamentos dos resíduos gerados nas variadas atividades dessas instituições. Entretanto, segundo AFONSO et al. (2003), a implementação de um programa de gestão de resíduos exige primordialmente mudança de atitudes e, portanto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer a reeducação e persistência contínuas. Por isso, além da Instituição, disposta a implementar e sustentar o programa, o aspecto humano é muito importante, pois o êxito depende muito da colaboração de todos os membros da unidade geradora. Sendo assim, neste trabalho empregou-se uma metodologia sustentável para tratamento e recuperação do cobre (VOGEL, 1981) oriundo das aulas práticas de Química Analítica ministradas para os cursos de Bacharelado em Química Industrial, Licenciatura em Química e Técnico em Química do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha-ES, Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

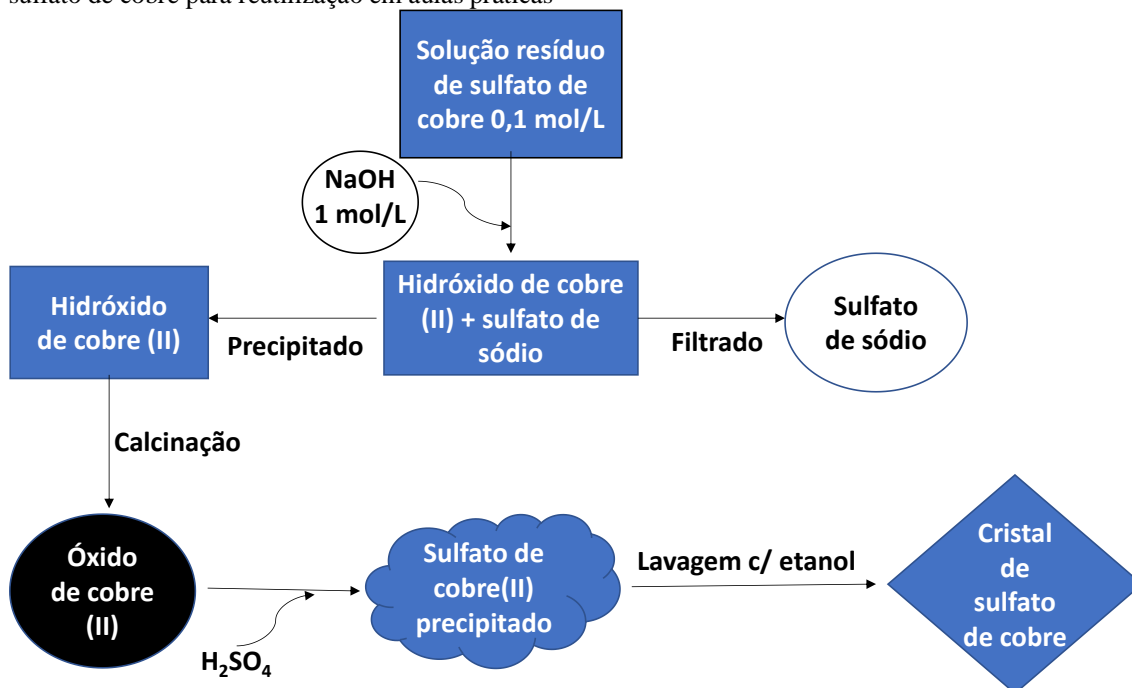
O resíduo gerado nas aulas práticas foi obtido de um frasco contendo sulfato de cobre 0,1 mol/L. A água destilada usada no preparo de soluções foi obtida do destilador Quimis (Q241-22 model, Diadema-SP, Brazil). Foram utilizados: papel indicador, papel de filtro, mangueira, funil de buchner, placas de petri, além várias vidrarias comuns de laboratório. Entre os equipamentos foi empregada uma estufa de laboratório Quimis (Q-

317 B model, Brazil), uma balança analítica (Shimadzu AY 220 model, Japan), um pHmetro (PHTEK, Labitec, Londrina-PR, Brazil), um agitador magnético (Warmnest, 78HW-1 model, Brazil) e uma mufla Spencer / Hipperquímica (Iperó-SP, Brasil).

2.2 MÉTODOS

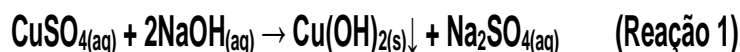
Neste trabalho, os procedimentos empregados para recuperação de cobre foram realizados como descrito em DALPASQUALE et al., 2011 com algumas modificações. Para isso, empregou-se uma solução de sulfato de cobre oriunda de aulas práticas anteriores. Um volume de 500 mL da solução de resíduo de sulfato de cobre 0,1 mol/L foi transferida para um béquer de 1000mL. O pH da solução foi aferido para aproximadamente 9,0 com a adição gota a gota de hidróxido de sódio 1 mol/L. A solução foi agitada em agitador magnético à medida que se adicionava o hidróxido de sódio. A formação de um precipitado gelatinoso de hidróxido de cobre (II) foi observada durante a agitação. Em seguida, a solução foi filtrada, por filtração simples. A fase líquida foi armazenada separadamente. Já o precipitado foi coletado e armazenado em estufa à 70 °C por 12 horas. Após esse período, observou-se um escurecimento do precipitado, tratando-se, provavelmente de óxido de cobre (II). Embrulhou-se o papel de filtro contendo o precipitado e o inseriu dentro de um cadinho de porcelana. Para calcinação do precipitado, o cadinho foi armazenado em uma mufla à 600 °C durante seis horas, onde o papel de filtro foi destruído, obtendo-se óxido de cobre (II) somente. Em seguida, o material resultante da calcinação foi pesado para posteriormente ser transferido para um béquer de 250 mL, onde adicionou-se, também, 10 mL de solução de ácido sulfúrico 0,5 mol/L com a finalidade de gerar sulfato de cobre penta-hidratado. O ácido sulfúrico foi adicionado gota a gota com o béquer em banho maria. Em seguida o béquer foi resfriado em uma bacia de plástico contendo gelo, onde houve formação de solução azulada e em seguida a formação de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado. Os cristais foram filtrados a vácuo e, para sua purificação, foram lavados com álcool absoluto (etanol). O material cristalizado foi armazenado em dessecador por 24 horas para posterior pesagem e cálculos de rendimento de recuperação. Todo o procedimento foi realizado em quintuplicata e de acordo com o resumo na Figura 2.

Figura 2. Esquema de tratamento de resíduo de cobre em laboratório e sua conversão em cristais sólidos de sulfato de cobre para reutilização em aulas práticas



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi obtido o $\text{Cu}(\text{OH})_2$ [hidróxido de cobre (II)] de cor azulada de cor azulada (SCIENCE PHOTO LIBRARY, 2021) a partir da solução resíduo de CuSO_4 0,1 mol/L com o uso aproximado de 15mL de solução de NaOH 1 mol/L padrão (adicionada gota a gota), como mostrado na Reação 1:



O precipitado obtido foi o $\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$ (Figura 3), enquanto o filtrado foi uma solução de $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$. Ressalta-se que, como mostrado na Figura 3, o aspecto gelatinoso do precipitado tornou demorada a filtração de forma simples. Recomenda-se, então, a realização de filtração à vácuo. Em outro trabalho, AFONSO et al., 2003 também isolou cobre na forma de $\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$ a partir de resíduo de aulas práticas de laboratório contendo outros íons.

Figura 3. Hidróxido de Cobre (II) filtrado em repouso no papel de filtro



Como resultado da secagem do precipitado em estufa e posterior calcinação em mufla obteve-se o composto escuro de óxido de cobre (II) (Figura 4) como mostrado na Reação 2:

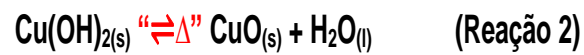
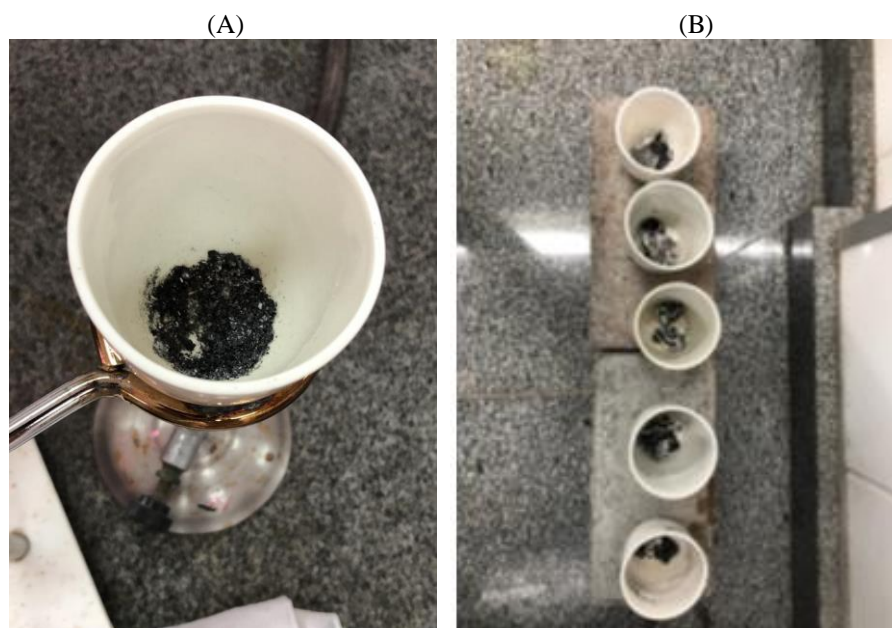
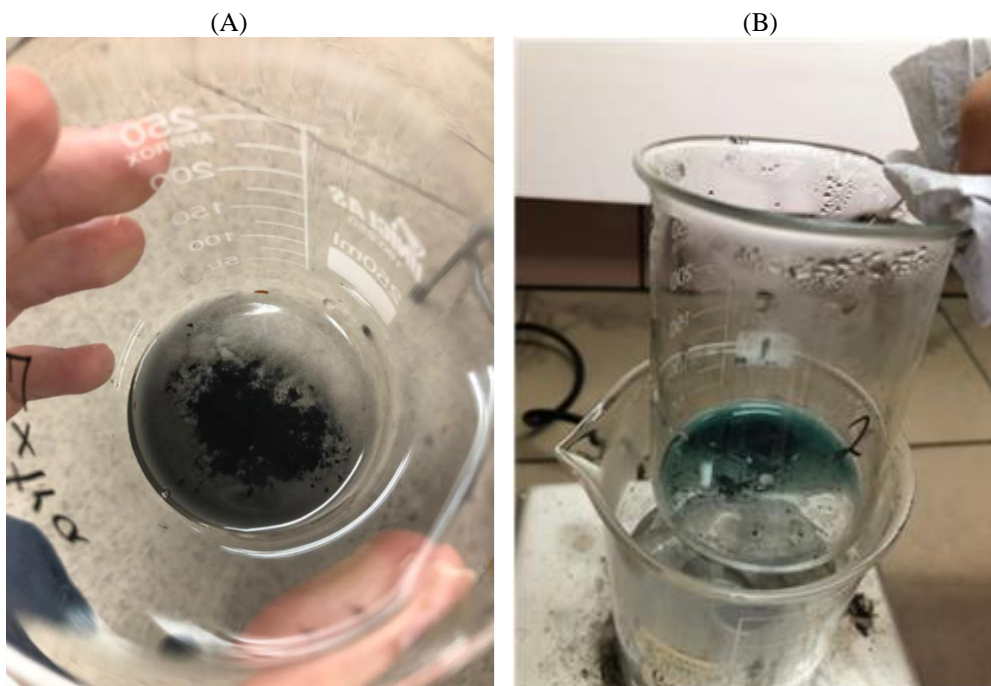


Figura 4. Cadinho de porcelana após calcinação contendo óxido de cobre (II) (A) com experimento feito em quintuplicata (B)



A posterior adição de ácido sulfúrico 0,5 mol/L sobre o óxido de cobre (II), em banho maria, foi tornando a solução azul esverdeada sinalizando o surgimento de sulfato de cobre penta-hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Figura 5) como descrito na Reação 3. Em outro trabalho, utilizando uma metodologia bastante eficiente, WANG e CHEN., 2019 empregaram NaHS e peróxido de hidrogênio, para separar cobre de outros íons na forma de precipitado de CuS ,

Figura 5. Início da adição de ácido sulfúrico no béquer contendo óxido de cobre (II) (A). Adição de mais ácido sulfúrico, com agitação, e aparecimento de uma cor azul esverdeada sinalizando o início da produção de sulfato de cobre penta-hidratado (B)



O posterior resfriamento da solução em uma bacia plástica com gelo potencializou a formação de um sólido de cristais de sulfato de cobre penta-hidratado que, após lavado com álcool absoluto (etanol) e filtrado a vácuo, apresentou um aspecto bastante límpido (Figura 6). Resultado semelhante foi obtido por DALPASQUALE et al., 2011.

Figura 6. Sulfato de cobre penta-hidratado límpido formado após lavagem do mesmo com álcool absoluto (etanol).



O passo seguinte foi secar o precipitado em um dessecador e transferi-lo para um pote de plástico para posterior reutilização em aulas práticas.

Os volumes e massas medidas no procedimento, permitiram obter os valores das massas de sulfato de cobre penta-hidratado recuperado em cada amostra de resíduo da quintuplicata, bem como os volumes de NaOH empregados para a recuperação (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores dos dados coletados ao longo da metodologia aplicada.

Alíquota	Volume gasto de NaOH 1 mol/L	Massa cristais de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
1	15,0 mL*	1,7144 g
2	18,5 mL	2,3766 g
3	16,0 mL	1,8625 g
4	17,0 mL	1,6787 g
5	16,5 mL	1,5407 g
Média	16,6 mL	1,8346 g
Total	83,0 mL	9,1729 g

Utilizando-se as equações (1) e (2), foi possível calcular as médias e desvio padrões do volume gasto de NaOH e massa recuperada de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ gerando resultados de $16,60 \pm 1,35$ mL e $1,8346 \pm 0,5339$ g respectivamente. A Tabela 1 permite, também, calcular o volume total gasto de NaOH e massa total recuperada de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ que foi de 83,0 mL e 9,1729 g respectivamente.

Equação (1)

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{5}$$

Equação (2)

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

Uma noção do rendimento real da reação foi possível através do emprego da relação estequiométrica dos dados obtidos com os dados teóricos. Calculou-se esse rendimento pela estequiometria da Reação 3, utilizando-se, como exemplo, os dados da Alíquota 3 da Tabela 1 devido aos seus valores aproximados da média; sabendo-se os valores das massas moleculares dos espécimes.

Cálculo do número de mol (n) de CuO(s) real (Alíquota 3):

1 mol de CuO(s) → 79,544 g

n → 0,9632 g

n = 0,012 mol de CuO real.

Como pode-se observar pela Reação 3, a reação do óxido de cobre para sulfato de cobre penta-hidratado é uma reação de 1:1, o que significa que 1 mol de CuO(s) é igual a 1 mol de CuSO₄.5H₂O_(aq). Sabendo disso, realizou-se o cálculo da massa (m) de CuSO₄.5H₂O teórico (Alíquota 3) da seguinte maneira:

1 mol de CuSO₄.5H₂O → 159,609 g

0,012 mol → m

m = 1,9327 g de CuSO₄.5H₂O teórico.

Comparando-se com o valor real da massa de CuSO₄.5H₂O obtida no processo (Alíquota 3 = 1,8625 g de CuSO₄.5H₂O) foi possível calcular o rendimento em porcentagem (n%) da reação empregando-se a equação 3, que indicou um resultado considerável de 96,37 %.

Equação (3)

$$\eta(\%) = (\text{valor real} / \text{valor teórico}) \times 100\%$$

$$\eta(\%) = (1,8625 / 1,9327) \times 100\%$$

$$\eta(\%) = 96,37\% \text{ de rendimento.}$$

Foi possível, também, comparar a quantidade inicial de cobre, contida na solução de resíduo de sulfato de cobre, com a quantidade de cobre final recuperada, no sulfato de cobre penta-hidratado. Como a solução de resíduo tinha uma concentração de 0,1 mol/L, pôde-se afirmar, então, que em 0,1 mol de CuSO_4 tinha-se 0,1 mol de Cu. Como foi utilizado 500mL desta solução, tem-se então 0,05 mol de Cu. Sendo assim, a massa de cobre pôde ser calculada da seguinte maneira:

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

$$0,05 \text{ mol Cu} - m_{\text{Cu}}$$

$$m_{\text{Cu}} = 3,17\text{g}$$

Se do sólido recuperado, obteve-se um total de 9,1729g, pôde-se deduzir que:

$$1 \text{ mol CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 249,68\text{g}$$

$$n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} - 9,1729\text{g}$$

$$n_{\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 0,037\text{mol}$$

Já que em 0,037mol de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ também se tem 0,037mol de Cu, isto leva a:

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

$$0,037 \text{ mol Cu} - m_{\text{Cu}}$$

$$m_{\text{Cu}} = 2,35\text{g}$$

Finalmente, comparando as massas inicial e final, obteve-se o rendimento do experimento para a recuperação de cobre.

$$\eta(\%) = (2,35 / 3,17) \times 100\%$$

$$\eta(\%) = 74,13\% \text{ de cobre recuperado}$$

4 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a metodologia aqui empregada foi eficiente para recuperação considerável de sal de sulfato de cobre penta-hidratado, a partir de solução de sulfato de cobre. O que não se pode afirmar é que a mesma metodologia apresentaria a mesma eficiência caso o cobre estivesse na presença de outros metais. Entretanto, recuperar resíduo de cobre em um líquido transformando-o num sal que possa ser reutilizado nas aulas práticas, evita seu descarte futuro nas pias dos laboratórios. Essa abordagem diminui os impactos ambientais causados por metais como o cobre, bem como diminui os custos das aulas práticas com a compra de sais. A ampliação dessa abordagem para outros metais, além do cobre, será a meta para o tratamento de outros resíduos nos laboratórios de aulas práticas do Instituto Federal do Espírito Santo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFES de Vila Velha-ES pela disponibilização de material e recursos humanos fundamentais para a execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS

AFONSO, J.C., NORONHA, L.A., FELIPE, R.P., FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. *Química Nova*. v.26, n.4, p.1-16, 2003.

AZEVEDO, D.G., FERNANDES, A.C.H., SANTOS, B.P., SILVA, L.S., ALVES, A.A.R., VIEIRA, L.M.M., Air pollution: a theme for teaching chemistry. *Brazilian Journal of Development*. v.7, n.2, p.19670-19682, 2021.

BARROS, A.S.X. Expansão da educação superior no Brasil: limites e possibilidades. *Educação e Sociedade*. v.36, n.131, p.361-390. 2015.

CARMO, R.F., EVANGELISTA, H.S., TRINDADE FILHO, O. L., RIBEIRO, A.V.F.N., RIBEIRO, J.N., PEREIRA, M.G., LICINIO, M.V.V. J. Dose estimation and calculation of radiological hazard index at Doce River / Brazil due to Fundão dam rupture. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*. v.6, p.1-22, 2018.

DALPASQUALE, M., FUKAMACHI, C.R.B., FERREIRA, E.S. Tratamento e recuperação de resíduos de cobre provenientes de aulas experimentais. *Synergismus Scientifica*. v.6, n.1, p.1-7, 2011.

FERREIRA, C.P., GONZALEZ, M.H., VIANA, L.S. Gestão e gerenciamento de resíduos químicos dos laboratórios didáticos do departamento de química e ciências ambientais e do entreposto de resíduos do IBILCE/UNESP. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*., v.12, n.1, 2016

FLORES, A.V., RIBEIRO, J.N., NEVES, A.A., QUEIROZ, E.L.R. Organochloride: a public health problem. *Ambiente & Sociedade*. v.2, n.2, p.111.125, 2004.

GAETKE, L.M., CHOW, C.K. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology*. v.189, n.1-2, p.147-163, 2003.

HONG-GIANG, H., CHOW-FENG, C., CHITSAN, L., CHENG-YEN, W., CHIA-WEI, L., NICHOLAS, K.C., HUU-TUAN, T., XUAN-THANH, B. Human health risk simulation and assessment of heavy metal contamination in a river affected by industrial activities. *Environmental Pollution*. v.285, p.117414-117422, 2021.

HORN, D., BARRIENTOS, A. Mitochondrial copper metabolism and delivery to cytochrome c oxidase. *IUBMB Life*. v.60, n.7, p.421-429, 2008.

JORDÃO, C.P., PEREIRA, M.G., MATOS, A.T., PEREIRA, J.L. Influence of domestic and industrial waste discharges on water quality at Minas Gerais State, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. v.16, n.2, p.241-250, 2005

LI, B., XIAO-LONG, L., JIAN, H., JUN, L., ZHONG-LIANG, W., GUILIN, H., SI-LIANG, Li., CONG-QIANG, L. Heavy metal accumulation in common aquatic plants in rivers and lakes in the Taihu Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. v.15, p.2857-2868, 2018.

LUBRAN, M.M. Lead toxicity and heme biosynthesis. *Annals of Clinical & Laboratory Science*. v.10, n.5, p.402-413, 1980.

LUO, C., LIU, C., WANG, Y., LIU, X., LI, F., Zhang, G., Xiangdong, Li. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, South China. *Journal of Hazardous Materials*. v.186, n.1, p.481-490, 2011.

MACHADO, P.F.L., MOL, G.S. Resíduos e rejeitos de aulas experimentais: o que fazer? *Química Nova na Escola*. v.29, n.3. p. 38-41. 2008.

MEABA, W., KUMARI, R., PRASAD, S. Spectroscopic assessment of heavy metals pollution in roadside soil and road dust: a review. *Applied Spectroscopy Reviews*. v.56, n.7, p.588-611, 2021.

RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N., SILVA, A.R., PEREIRA, M.G., OLIVEIRA, J.P., TOMAZ, A.T., VITORIA, B. Vermicompost for indigo blue and congo red removal. *Journal of Water Resource and Protection*. v.13, p.419-434, 2021.

SANKHLA, M.S., KUMARI, M., SHARMA, K., KUSHWAH, R.S., KUMAR, R. Heavy metal pollution of Holy River Ganga: a review. *International Journal of Research*. v.5, n.1, p.424-436, 2018.

SCIENCE PHOTO LIBRARY.
<https://www.sciencephoto.com/media/780485/view/copper-hydroxide-precipitate>.
Acessada em 07/09/2021.

SKERFVING S., BERGDAHL, I.A. *Handbook on the Toxicology of Metals (Third Edition)*, 2007.

STERN, B.R. Essentiality and toxicity in copper health risk assessment: overview, update and regulatory considerations. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. v.73, n.2-3, p.114-127, 2010.

VOGEL, A.I. *Química Analítica Qualitativa*. 5 ed. Mestre Jou, 1981

YANG, S., GU, S., HE, M., TANG, X., Q.MA, L., XU, J., Liu, X. Policy adjustment impacts Cd, Cu, Ni, Pb and Zn contamination in soils around e-waste area: Concentrations, sources and health risks. *Science of the Total Environment*, v.741, p.140442-140450, 2020

YANG, Y., LU, X.S., LI, D.L., YU, Y.J. Effects of environmental lead pollution on blood lead and sex Hormone levels among occupationally exposed group in An E-waste Dismantling Area. *Biomedical and Environmental Sciences*. v.26, n.6, p.474-484, 2013.

ZENG, Y.H., LUO, X.J., ZHENG, X.B., TANG, B., WU., J.P., MAI, B.X. Species-specific bioaccumulation of halogenated organic pollutants and their metabolites in fish serum from an e-waste site, South China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. v.67, p.348-357, 2014.

WANG, L.P., CHEN, Y.J. Sequential precipitation of iron, copper, and zinc from wastewater for metal recovery. *Journal of Environmental Engineering*. v.145, n.1, p.04018130, 2019.

WONG, C.S.C., DUSGOREN-AYDIN, N.S., AYDIN, A., WONG, M.H. Evidence of excessive releases of metals from primitive e-waste processing in Guiyu, China. *Environmental Pollution*. v.148, p.62-72, 2007

WU, Q., LEUNG, J.Y.S., GENG, X., CHEN, S., HUANG, X., LI, H., HUANG, Z., ZHU, L., CHEN, J., LU, Y. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals. *Science of the Total Environment*. v.506-507, p.271-225, 2015.