

Remoção de cobre, cromo e arsênio da madeira tratada em diferentes concentrações

Luana Candaten¹, Rômulo Trevisan², Paulo Roberto da Silva Bairros², Arci Dirceu Wastowski², Debora Kinglenberg¹,IVALDO Pontes Jankowsky¹

[1] luana_candaten@outlook.com. debora.kinglenberg@usp.br. jankowsky@usp.br. Departamento de Ciência Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

[2] romulo_trevisan@ufsm.br. wastowski@ufsm.br. paulobairros@politecnico.ufsm.br. Departamento de Engenharia Florestal; Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental; Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO

A madeira em seu estado natural está susceptível ao ataque de organismos xilófagos. Com isso, são necessários tratamentos que aumentem sua durabilidade e os locais de emprego desse material. O Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) atua de forma desejável quanto à preservação da madeira, porém, quando se trata das questões ambientais, seu uso é polêmico, principalmente com relação aos resíduos de material tratado gerados ao fim de sua vida útil, que por ter arsênio em sua formulação, as formas de reciclagem são quase nulas. Com isso, o objetivo deste trabalho foi aplicar o processo de eletrorremoção do CCA da madeira tratada, avaliando a eficácia da técnica. Para isso, foram aplicados tratamentos de CCA na madeira nas concentrações 1, 2, 3 e 4%, para posteriormente passarem pelo processo de eletrorremoção. Essa metodologia em escala de bancada, consistiu na aplicação de eletricidade numa solução condutora eletrolítica composta da combinação de ácido orgânico e inorgânico com água ultra-pura, por um período de 2 horas, onde o material ficou mergulhado nesse local. Os resultados indicaram que a eletrorremoção se mostrou eficaz, sendo que as médias de cobre, cromo e arsênio da madeira tratada reduziram com a aplicação da técnica, em todas as concentrações estudadas.

Palavras-chave: Eletrorremoção. Madeira tratada. CCA. Reaproveitamento de Resíduo. Metais pesados.

ABSTRACT

The wood in its natural state is susceptible to the action of xylophagous organisms, thus, treatments are necessary to increase its durability and the locations of employment of this material. The Chromated Copper Arsenate (CCA), acts in a desirable way regarding the preservation of wood, however, when it comes to environmental issues, its use is controversial, especially with regard to the waste of treated material generated at the end of its useful life, which because it has arsenic in its formulation, the forms of recycling are almost nil. Thus, the objective of this work was to apply the process of electroremoval of CCA from treated wood, evaluating the efficacy of the technique. To this end, CCA treatments were applied to wood in concentrations of 1, 2, 3, and 4%, to be later submitted to the electrowetting process. This bench scale methodology consisted in applying electricity in a conductive electrolytic solution composed of a combination of organic and inorganic acid with ultra-pure water, for a period of 2 hours, where the material was immersed. The results indicated that the electroremoval was effective, and that the mean levels of copper, chromium, and arsenic in the treated wood were reduced with the application of the technique, at all concentrations studied.

Keywords: *Eletrorremotion. Treated wood. CCA. Recycling of Residues. Hazardous metals.*

1 Introdução

A madeira, por suas características já conhecidas de ser um material heterogêneo, orgânico, anisotrópico, entre outros, está susceptível ao ataque de organismos xilófagos, de acordo com suas habilidades de durabilidade natural. A partir disso, são necessários tratamentos, em sua maioria, químicos que, quando aplicados no material melhorem suas propriedades biológicas, atuando como inseticidas e biocidas, a fim de impedir o ataque por fungos, cupins, brocas marinhas, entre outros.

Dentre os tratamentos químicos utilizados como preservantes da madeira, o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) se destaca como o mais utilizado no Brasil e no mundo (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012), embora a legislação de países da Europa e dos Estados Unidos tenha solicitado o impedimento do uso desse composto para madeiras tratadas aplicadas em ambientes internos (FERRARINI, 2012). No Brasil, a legislação delibera o seu uso e o CCA apresenta um desempenho satisfatório em sua função. Porém, quando se trata das questões ambientais, o uso desse preservativo se torna polêmico, principalmente por conter Arsênio em sua composição.

A problemática principal se trata do material preservado quando sai de serviço, pois não há formas de reutilização e, atualmente, a maneira mais correta é o descarte em aterros sanitários. Porém, outros problemas surgem em função da madeira tratada acumulada em um mesmo local, podendo lixiviar os componentes químicos (cobre, cromo e arsênio).

A respeito da reutilização do material tratado que sai de serviço, a parte superior dos postes de iluminação elétrica tratados, por exemplo, tem sido revendida, para uso principalmente em ornamentação de jardins e confecção de cercas que demandam toretes menores. Porém, quando se trata das áreas da zona de afloramento, local onde ocorreu um certo ataque dos organismos xilófagos, essa madeira não fica adequada para reutilização como maciça que demanda resistência mecânica (OHGAMI *et al.*, 2015).

Com isso, são necessárias pesquisas e aplicação de técnicas que possam apresentar uma solução do que fazer com esses resíduos de madeira tratada. Diante dessa hipótese, o presente estudo teve como objetivo verificar em escala laboratorial a aplicação da técnica de eletrorremoção, a fim de remover o CCA da madeira tratada nas concentrações de 1, 2, 3 e 4%.

2 Referencial teórico

A madeira é empregada para diversas funções, por apresentar inúmeras vantagens e opções de utilização (FERRARINI *et al.*, 2012). Um dos seus principais usos encontra-se na construção civil, devido ao baixo consumo de energia durante o seu processamento ao ser comparado a outros materiais, como o aço, o cimento e o alumínio. A origem biológica da madeira, constituída essencialmente por uma matriz relativamente hidrofóbica e de fibras hidrofílicas, a diferencia de outros materiais industriais. Porém, a grande desvantagem associada a esse fato é a propensão à deterioração (CLAUSEN, 1996; KIN, 2000).

Desde a década de 70, o CCA teve amplo uso no mundo todo. Na América Latina, o Brasil é o maior consumidor de madeira tratada, sendo aproximadamente 700.000 m³ no ano de 2012. Desse total, a maior parte é com CCA, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, que também são as maiores geradoras desse material a partir da presença de usinas de tratamento (FERRARINI, 2012).

Ainda sobre os dados brasileiros, no último relatório divulgado sobre os nichos do setor da madeira no país, no ano de 2018, 4% do total do material proveniente de florestas plantadas foi empregado no setor da madeira tratada (IBA, 2019).

Nos EUA, a *Environmental Protection Agency* (EPA), em 2003, declarou que as indústrias não empregariam mais esse tipo de preservante para materiais de uso residencial, devido aos altos índices de compostos tóxicos, porém não havendo restrições para a utilização no meio rural e industrial. Já em países da Europa, a exemplo da Suécia e Dinamarca, a aplicação de preservativos químicos na madeira foi proibida em 2004 para algumas finalidades, dentre as quais as domiciliares (FERRARINI, 2012).

Porém, apesar dessas restrições, estimam-se que os EUA, no ano de 2030, gerem um volume de resíduo de 20 mil toneladas anuais, sendo que, atualmente, pelo menos 16 mil toneladas de madeira tratada por ano ainda têm sido empregadas (JONES *et al.*, 2019).

Atualmente, postes, moirões e outras peças de madeiras tratadas com CCA, quando retiradas de serviço, são inseridos em aterros sanitários. Já a reutilização desse material, pode se dar pela fabricação de painéis a base de madeira, chapas de madeira-cimento e, fora do país, pelo processo Chartherm, que consiste na queima do material descartado a

altas temperaturas, transformando-o em carbono (HOERLLE; BREHM; MACIEL, 2015).

A técnica de eletrorremoção tem alcançado destaque recentemente (SANTOS *et al.*, 2018). Esse procedimento utiliza ácidos orgânicos (cítrico, acético, fórmico, oxálico, fumárico, tartárico, glucônico e maléico) e minerais (sulfúrico, clorídrico, nítrico e fosfórico) (FERRARINI, 2012). O ácido oxálico é um dos mais utilizados nessa técnica e quando associado com os ácidos sulfúrico, fosfórico ou com o oxalato de sódio, consegue remover, em amostras fracionadas de madeira tratadas com CCA, algo entre 98% e 100% de arsênio e 88 a 100% do cromo e do cobre (KAKITANI *et al.*, 2006a; KAKITANI *et al.*, 2006b).

A remoção dos metais do material tratado, quando esse é submetido ao processo de eletrorremoção, ocorre em razão de uma corrente elétrica que transporta os íons solúveis presentes na madeira, entre eles o cobre, cromo e o arsênio (PEDERSEN *et al.*, 2005). A aplicação dessa técnica foi estudada por diversos pesquisadores (STEPHAN; LEITHOFF; PEEK, 1996; DE GROOT; WOODWARD, 1998; MCMAHON *et al.*, 2009; KIM; CHOI; KIM, 2009; SIERRA-ALVAREZ, 2009; CHOI *et al.*, 2013) e, após esse processo, os níveis de toxicidade do material reduziram e o mesmo poderia ser reutilizado de diversas formas. Pesquisas apontam que, de maneira geral, a técnica da eletrorremoção é capaz de remover até 87% de cobre, 81% de cromo e 95% do arsênio presente em madeiras tratadas, em estudos com madeira fracionada (PEDERSEN *et al.*, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2000; OTTOSEN *et al.*, 1997).

Os metais contidos na solução aquosa lixiviada do processo podem passar por uma descontaminação antes de serem liberados ao ambiente (JANIN *et al.*, 2009). Quando uma extração química apropriada é realizada sob determinadas condições, o agente tóxico pode ser removido e, idealmente, recuperado para reutilização; ao mesmo tempo, a madeira limpa após a remediação poderia ser reutilizada (GEZER; COOPER, 2016).

Nos últimos anos, as técnicas de remediação da madeira tratada receberam considerável atenção devido à consciência da liberação do cobre, cromo e arsênio do material tratado com CCA. Esses métodos podem diminuir a contaminação nos solos e lençóis subterrâneos, visto que o material tratado vem sendo descartado em aterros, sem nenhuma restrição, na maior parte do mundo (KARTAL; KATSUMATA; IMAMURA, 2006).

Os processos de remoção dos constituintes químicos do material tratado ainda estão em fase experimental e a aplicação das técnicas depende de características específicas da madeira e da forma como a mesma foi preservada (JANIN *et al.*, 2012). Mais ainda, a aplicação dessas técnicas em escala comercial depende de fatores socioeconômicos (SANTOS *et al.*, 2018).

Para fins de avaliação da eficácia do processo de eletrorremoção, a técnica empregada na metodologia de espectrofotometria de raios-X pode atender esses quesitos, por promover a obtenção do espectro refletido pelo elemento químico; essa pode ser usada das mais diversas maneiras, como o caso da combinação da fluorescência raios-X com a energia dispersiva (EDX-RF) (PEREIRA JÚNIOR, 2014) e tem sido usada para analisar materiais de diversas áreas e se mostrado viável para analisar o CCA presente na madeira.

3 Método da pesquisa

Para a condução do estudo, quatro diferentes concentrações de CCA do tipo C foram diluídas (Equação 1) em água destilada, sendo essas 1, 2, 3 e 4%. Em cada uma das soluções foram imersos 10 corpos de prova de *Eucalyptus* sp. com dimensões de 2,5x2,5x0,9 cm de comprimento, largura e espessura, respectivamente, onde ficaram por 48 horas, sendo agitados periodicamente de 2 em 2 horas.

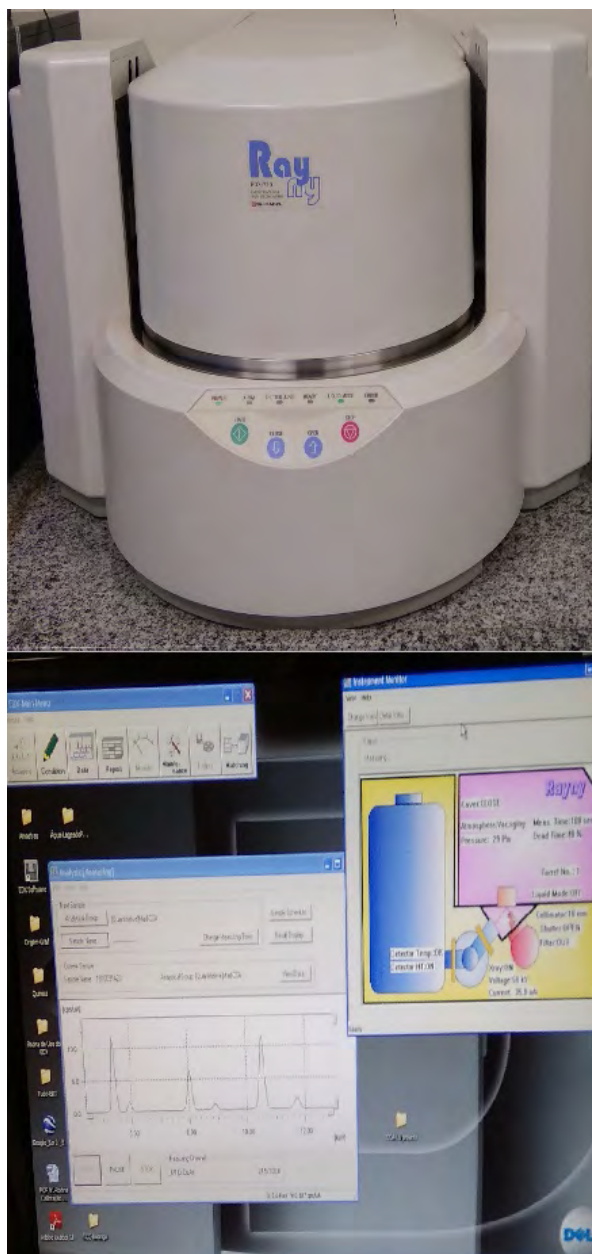
$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2 \quad (1)$$

nos quais: C1 é a concentração inicial; V1 é o volume inicial; C2 é a concentração final; V2 é o volume final.

Posteriormente esses materiais foram retirados das soluções e colocados para secagem ao ar e, em seguida, foram analisados quanto à concentração inicial dos metais pela espectrometria de raios-x (Figura 1). A etapa de eletrorremoção em escala de bancada foi realizada no Laboratório de Química Analítica da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen. O processo se deu com o auxílio de ácido orgânico, sendo o ácido oxálico, e o inorgânico, fosfórico, ambos sendo misturados em água ultra-pura por um agitador magnético em constante agitação. Essa solução eletrolítica foi colocada em um recipiente de vidro, onde as amostras foram mergulhadas, e a eletricidade foi aplicada com auxílio de eletrodos de grafite ligados a uma fonte

de tensão (Figura 2). O processo de eletrorremoção ocorreu durante 2 horas.

Figura 1 – Espectrofotômetro de energia dispersiva de raios-x, marco Shimatzu modelo 700-MS, utilizado nas medições de concentrações dos metais

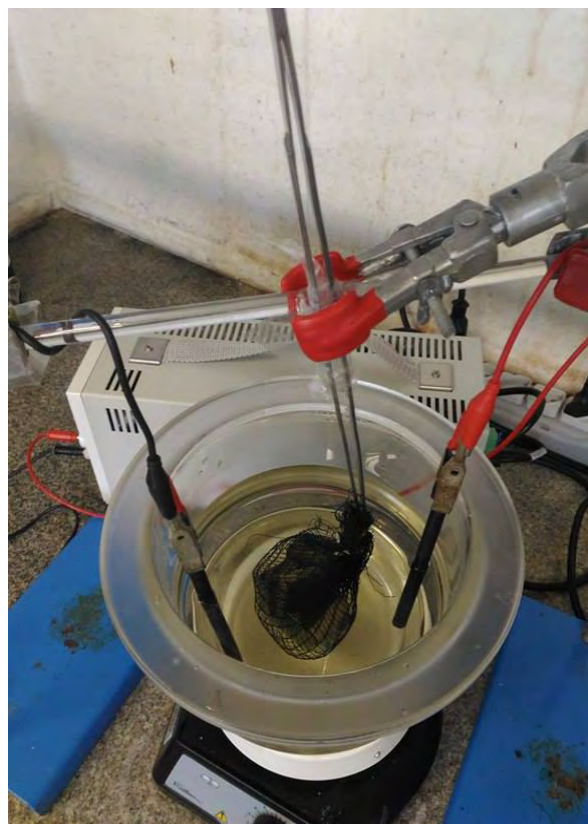


Fonte: arquivo dos autores

Após a eletrorremoção concluída, as amostras foram lavadas com água destilada e secas ao ar, posteriormente inseridas em estufa a 50 °C para adequação da umidade para análises de espectrometria. As concentrações de cobre, cromo e arsênio na madeira tratada, assim como no material

que passou pela eletrorremoção, foram medidas com auxílio de um espectrofotômetro de energia dispersiva EDX.

Figura 2 – Escala de bancada do processo de eletrorremoção



Fonte: arquivo dos autores

Os dados obtidos foram tabulados e foram também calculadas as médias das diferentes concentrações para cada metal analisado.

4 Resultados da pesquisa

As médias obtidas, a partir da aplicação da técnica da eletrorremoção em madeiras tratadas em laboratório com diferentes concentrações de CCA, podem ser observadas na Tabela 1.

Para as concentrações no material que não passou pelo processo de remoção de CCA, os resultados obtidos para o metal de Cobre foram os esperados, aumentando de acordo com a concentração aplicada. Já para os metais de Cromo e Arsênio, os valores médios foram curiosos, visto que não aumentaram proporcionalmente conforme a concentração de CCA aplicada durante o tratamento.

Da mesma forma, isso pode ser observado nas Figuras 2, 3 e 4, que representam as taxas de concentração desses metais de acordo com a aplicação da eletrorremoção e sem o uso da técnica.

Esse resultado pode ser decorrente da forma em que ocorreu a aplicação desse tratamento, sendo por imersão, sem a precisão dos tratamentos industriais que utilizam pressão e vácuo para garantir a penetração do produto à madeira. Com isso e de acordo com a capacidade de mobilidade de cada metal, o cromo e o arsênio podem ter sido desfavorecidos

nesse quesito, não garantindo que necessariamente com o aumento da concentração do CCA ocorresse o acréscimo dos metais.

Outro fator que pode ser discutido é sobre a macroestrutura da madeira, onde o preservativo só consegue adentrar no alburno da madeira, não atingindo o cerne. Apesar de se tomar o cuidado de coletar a madeira de alburno, no processo de aleatorização pode ter ocorrido essa situação e porções do cerne terem sido selecionadas, impossibilitando, dessa forma, a penetração do CCA, nesses casos.

Tabela 1 – Médias das concentrações de cobre, cromo e arsênio em cada um dos quatro tratamentos de CCA aplicados, antes e depois da eletrorremoção

Concentrações (%)	Metais - sem remoção (ppm)			Metais - com remoção (ppm)		
	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As
1	11071,7	60926,3	39848,4	8276,6	49793,1	51390,3
2	22746,7	82524,2	33713,7	8421,1	35282,5	18051,0
3	23732,3	34157,8	15358,5	7708,8	32774,6	21131,0
4	24618,2	29723,8	23683,9	11684,7	11848,5	10700,6

Fonte: dados da pesquisa

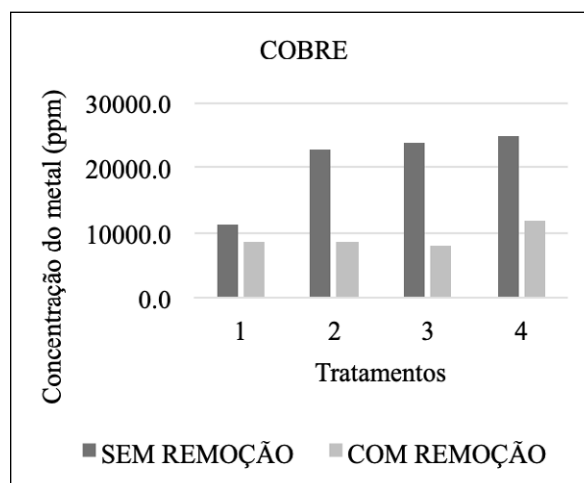
Com relação à comparação das amostras tratadas com CCA e ao material que foi tratado da mesma forma, mas que passou pela aplicação da eletrorremoção, visando reduzir as concentrações de cobre, cromo e arsênio da madeira, foi possível observar que para o cobre, a remoção foi eficaz, reduzindo a presença desse metal nessas amostras em todas as 4 concentrações testadas, havendo uma remoção média de 52,07%; para o cromo, também foi observada a redução da proporção do metal presente nas amostras, conferindo a eficácia do processo de eletrorremoção; para o arsênio, o sucesso dessa metodologia não foi observado, haja vista que nas concentrações de 1 e 3 % houve aumento desse metal, enquanto nas concentrações de 2 e 4 %, assim como para os demais metais, foi possível notar a redução da proporção, mostrando o potencial da aplicação dessa técnica.

A Figura 3, espelhando os resultados apresentados na Tabela 1, permite uma melhor visualização das médias de concentração de cobre com e sem a aplicação da eletrorremoção.

Conforme rapidamente exposto anteriormente, a eletrorremoção foi eficaz para o metal de cobre, onde em todos os tratamentos de concentrações de CCA testados (1, 2, 3 e 4%) foi possível observar que

a concentração desse componente reduziu com a aplicação da técnica.

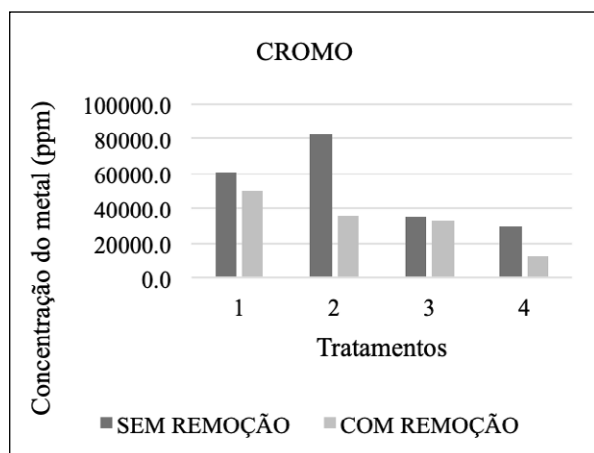
Figura 3 – Distribuição do metal de cobre nos diferentes tratamentos de CCA aplicados, nas concentrações de 1 a 3, de acordo com a taxa de remoção obtida



Fonte: dados da pesquisa

Da mesma forma, a Figura 4 apresenta os dados para o metal cromo.

Figura 4 – Distribuição do metal cromo nos diferentes tratamentos de CCA aplicados, nas concentrações de 1 a 3, de acordo com a taxa de remoção obtida



Fonte: dados da pesquisa

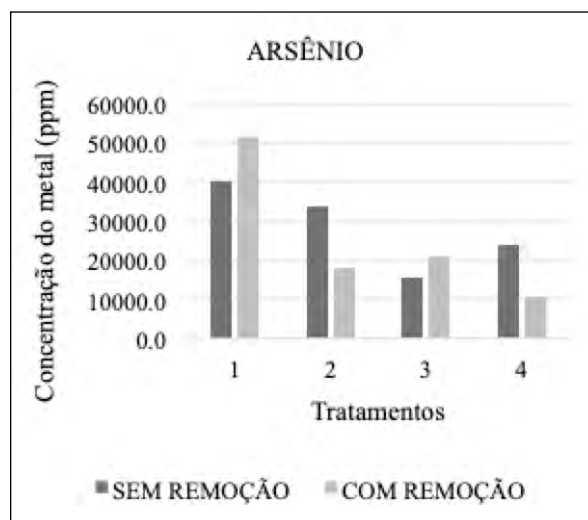
Para o cromo, a eletrorremoção também se mostrou eficaz, onde, apesar do tratamento com CCA apresentar algumas inconsistências, pode-se observar que as médias do metal com remoção, em cinza mais claro, são inferiores, para todas as quatro concentrações, indicando a efetividade desse processo.

Já na Figura 5, percebe-se que para o metal de arsênio os resultados da eletrorremoção não foram satisfatórios em todos os casos, ou seja, não houve a redução da concentração desse metal em todos os casos estudados. Para os tratamentos de concentração 2 e 4, a eletrorremoção foi bem sucedida, porém, para os de 1 e 3% de concentração de CCA, a remoção do arsênio não foi atendida.

De acordo com os resultados, a não redução do metal arsênio com a técnica da eletrorremoção pode se dar em função de diversos fatores, como concentração dos ácidos utilizados na solução, tempo da remoção e tamanho das amostras, assim como alteração na mobilidade do metal, que pode ter comprometido a saída desse para o meio aquoso (RIBEIRO *et al.*, 2000).

A Tabela 2 demonstra resumidamente as taxas de remoção obtidas com a aplicação da eletrorremoção nas quatro concentrações de CCA estudadas. Ficou evidente que, para o Arsênio, nas concentrações 1 e 3, a remoção não surtiu efeitos, porém, de maneira geral foi possível notar que a técnica trouxe resultados interessantes, removendo os metais de CCA da madeira em grandes proporções, na maioria dos casos.

Figura 5 – Distribuição do metal de arsênio nos diferentes tratamentos de CCA aplicados, nas concentrações de 1 a 3, de acordo com a taxa de remoção obtida



Fonte: dados da pesquisa

Tabela 2 – Taxas de remoção de cobre, cromo e arsênio da madeira tratada com CCA em diferentes concentrações

Concentrações (%)	Taxas de remoção (%)		
	Cu	Cr	As
1	25,25	18,27	-
2	62,98	57,25	46,46
3	67,52	4,05	-
4	52,54	60,14	54,82

Fonte: dados da pesquisa

Os índices de remoção apresentados foram inferiores aos encontrados por outros autores que estudaram técnicas de eletrorremoção (CRISTENSEN *et al.*, 2006; PEDERSEN *et al.*, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2000; OTTOSEN *et al.*, 1997). Porém, tais resultados podem ter sido influenciados, principalmente, pelo tamanho das partículas utilizadas, conforme discutido por Janin *et al.* (2012), sendo que os pesquisadores referenciados fizeram uso de madeira fracionada e o presente estudo utilizou madeira sólida.

Ainda, esses resultados possibilitam discutir acerca das variáveis existentes no processo de eletrorremoção, onde a tensão utilizada, distanciamento entre eletrodos e demais variáveis

(JANIN *et al.*, 2012) podem influenciar fortemente nos resultados finais do processo. Apesar disso, tais dados podem esclarecer e servir de base para novos estudos que envolvam a eletrorremoção da madeira tratada, sendo importante ressaltar que o presente estudo divulga resultados preliminares da pesquisa.

5 Considerações finais

A aplicação da técnica de eletrorremoção na madeira tratada com CCA foi satisfatória; de modo geral, apresenta redução da concentração dos metais de cobre e cromo do material tratado. A diminuição da concentração do arsênio não é eficaz com a aplicação do método na madeira preservada nas concentrações de 1 e 3 %. Mais estudos são recomendados a fim de aprimorar a técnica de aplicação da eletrorremoção, sendo que essa demonstra ter potencial.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 49-58, 2012.
- CLAUSEN, C. A. Bacterial associations with decayind wood: a review. **International Biodeteriorations & Biodegradation**, v. 37, n. 1-2, p. 101-107, 1996.
- CHOI, Y.- S. *et al.* Optimization of bioleaching conditions for metal removal from CCA-treated wood by using an unknown *Polyporales* sp. KUC8959. **Journal of Environmental Management**, v. 121, p. 6–12, 2013.
- DE GROOT, R. C.; WOODWARD, B. *Wolfiporia cocos* - a potential agent for composting or bioprocessing Douglas-fir wood treated with copper-based preservatives. **Material und Organismen**, v. 32, p. 195-215, 1998.
- FERRARINI, S. F. **Estabelecimento de metodologia para remoção de cobre, cromo e arsênio de resíduos de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado – CCA**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- FERRARINI, S. F. *et al.* Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de arseniato de cobre cromatado e de boro/flúor. **Química Nova**, Porto Alegre, v. 35, n. 9, p. 1767-1771, ago. 2012.
- GEZER, E. D.; COOPER, P. A. Effects of wood species and retention levels on removal of copper, chromium, and arsenic from CCA-treated wood using sodium hypochlorite. **Journal of Forestry Research**, v. 27, p. 433-442, 2016.
- HOERLLE, C. R.; BREHM, F. A.; MACIEL, E. F. Reciclagem da madeira tratada com arseniato de cobre cromatado – CCA. In: SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DO IFSUL, 4., 2015, Sapucaia do Sul. **Anais...** Sapucaia do Sul: IFSul, 2015.
- IBA. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**, 80 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2021.
- JANIN, A. *et al.* Optimization of a chemical leaching process for decontamination of CCA-treated wood. **Journal of Hazardous Materials**, v. 169, n. 1-3, p. 136-145, 2009.
- JANIN, A. *et al.* Design and performance of a pilot-scale equipment for CCA-treated wood remediation. **Separation and Purification Technology**, v. 85, p. 90-95, 2012.
- JONES, A. S. *et al.* Arsenic, copper, and chromium from treated wood products in the U.S. disposal sector. **Waste Management**, v. 87, p. 731-740, 2019.
- KAKITANI, T. *et al.* A novel extractant for removal of hazardous metals from preservative-treated wood waste. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 3, p. 912-917, 2006a.
- KAKITANI, T. *et al.* Designing a purification process for chromium-, copper- and arsenic-contaminated wood. **Waste Management**, v. 26, n. 5, p. 453-458, 2006b.
- KARTAL, S. N.; KATSUMATA, N.; IMAMURA, Y. Removal of copper, chromium, and arsenic from CCA-treated wood by organic acids released by mold and staining fungi. **Forest Products Journal**, v. 56, n. 9, p. 33-37, 2006.
- KIM, G.- H.; CHOI, Y.- S.; KIM, J.- J. Improving the efficiency of metal removal from CCA-treated wood using brown rot fungi. **Environmental Technology**, v. 30, n. 7, p. 673-679, 2009.
- MCMAHON, V. *et al.* Evaluation of the potential of applying composting/bioremediation techniques to wastes generated within the construction industry. **Waste Management**, v. 29, n. 1, p. 186-196, 2009.

OHGAMI, N. *et al.* Carcinogenic risk of chromium, copper and arsenic in CCA-treated wood. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 456-460, 2015.

OTTOSEN, L. M. *et al.* Electrodialytic remediation of soil polluted with copper from wood preservation industry. **Environment Science Technology**, v.31, n.6, p. 1711-1715, 1997.

PEDERSEN, A. J. *et al.* Electrodialytic remediation of CCA-treated waste wood in pilot scale. **Engineering Geology**, v. 77, n. 3-4, p. 331-338, 2005.

PEREIRA JÚNIOR, S. M. **Determinação de cobre, cromo e arsênio em madeira preservada (*Eucalyptus* sp.) pelas espectrometrias de fluorescência de raios x.** 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

RIBEIRO, A. B. *et al.* Electrodialytic removal of Cu, Cr, and As from chromated copper arsenate-treated timber waste. **Environmental Science and Technology**, v. 34, n. 5, p. 784-788, 2000.

SANTOS, H. S. *et al.* Removal of toxic elements from wastewater generated in the decontamination of CCA-treated *Eucalyptus* sp. and *Pinus canadense* wood. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, p. 1299-1309, 2018.

SIERRA-ALVAREZ, R. Removal of copper, chromium and arsenic from preservative-treated wood by chemical extraction-fungal bioleaching. **Waste Management**, v. 29, n. 6, p. 1885-1891, 2009.

STEPHAN, I.; LEITHOFF, H.; PEEK, R. D. Microbial conversion of wood treated with salt preservatives. **Material und Organismen**, v. 30, n. 3, p. 179-199, 1996.