

RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA PRESERVADA COM ARSENIATO DE COBRE CROMADO (CCA): PRINCIPAIS FORMAS DE TRATAMENTO

Jéssica Dutra Ferreira, Cristiane dos Santos Vergílio.

Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, SN, Guararema - 29500-000 – Alegre-ES, Brasil, jessicadutra017@gmail.com, cristiane.vergilio@ufes.br.

Resumo

A madeira pode ter a sua durabilidade comprometida por fatores ambientais e ação de agentes biológicos. Neste sentido, se faz necessário um tratamento para sua preservação. Atualmente, o mais utilizado é o tratamento químico com arseniato de cobre cromado (CCA). O seu uso traz algumas preocupações relacionadas à geração de resíduos contendo metais (Cr, Cu e As). O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre as principais formas de tratamento de resíduos sólidos de madeira preservada com CCA. Os principais tratamentos encontrados foram a lixiviação ácida e eletrorremoção. Estas técnicas se mostraram eficazes no tratamento dos resíduos sólidos de madeira, possibilitando o seu descarte adequado em aterros, no entanto, geram efluentes tóxicos que precisam de tratamento. Além disso, os resíduos de madeira tratada podem ser reutilizados em outros setores, favorecendo a economia circular. Dessa forma, novos estudos devem se concentrar na implementação de tratamento em escalas maiores e reutilização dos resíduos.

Palavras-chave: Metais. Eletrorremoção. Lixiviação. Efluentes.

Área do Conhecimento: Ciências biológicas - Biologia geral.

Introdução

A madeira é um material versátil, cujas características físicas e mecânicas permitem a sua utilização em diferentes setores. No entanto, quando a madeira fica exposta ao ambiente, pode sofrer ação de diferentes fatores, como a umidade e temperatura, além da ação de agentes biológicos, como insetos e fungos. Estes fatores podem comprometer a estrutura física da madeira, causando deformações e afetando a sua durabilidade. Com isso, muitas vezes se faz necessário o uso de tratamentos preservativos. Atualmente, o método mais utilizado é o tratamento químico com arseniato de cobre cromado (CCA), que contém na sua composição cromo (Cr), cobre (Cu) e arsênio (As) (Araujo; Magalhães; Oliveira, 2012; Townsend *et al.*, 2004).

Embora seja considerado um tratamento eficiente na preservação da madeira, conferindo uma vida útil elevada, o uso do CCA como preservante levanta algumas preocupações, principalmente relacionado aos metais presentes na sua composição. Ao final da vida útil da madeira, serão gerados resíduos contendo Cr, Cu e As, que podem sofrer lixiviação e contaminar o solo e a água, causando prejuízos à biota e à saúde humana (Mercer; Frostick, 2012; Moraes *et al.*, 2021; Scussel *et al.*, 2022;).

Os resíduos sólidos de madeira tratada com CCA podem ser gerados em diferentes setores que fazem uso da madeira. A principal fonte de resíduos são as madeiras retiradas de serviço, como substituição de postes, cercas, decks e outras estruturas após o final da sua vida útil. Nas indústrias de tratamento também podem ser gerados resíduos, como peças de madeira quebrada rejeitadas. Já em serralherias e marcenarias, que utilizem madeira tratada para fabricação de seus produtos, os resíduos gerados são cavacos, serragem e pó de madeira gerados durante cortes, lixamentos e acabamentos (Caetano; Depizzol; Reis, 2017; Mercer; Frostick, 2012; Santos *et al.*, 2022).

Em alguns países, como Estados Unidos e Reino Unido, a preservação de madeira com CCA é proibida para uso doméstico, mas o uso industrial é permitido e representa uma grande quantidade de madeira tratada, que gera resíduos. No Brasil não existem restrições para o uso do CCA como preservante, e cerca de 80 % do tratamento em madeira utiliza esse produto, o que desperta atenção para uma possível geração de grandes quantidades de resíduos potencialmente tóxicos (Mercer; Frostick, 2012; Ribeiro *et al.*, 2025; Vidal *et al.*, 2015).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sobre as técnicas de tratamento existentes para os resíduos sólidos de madeira tratada e identificar possíveis lacunas de pesquisa, de

modo a contribuir para o direcionamento de novos estudos que possam subsidiar melhores estratégias de tratamento e destinação desses resíduos.

Metodologia

A metodologia adotada consistiu em uma revisão de literatura sobre as técnicas de tratamento de resíduos sólidos de madeira preservada com CCA. A base de dados escolhida foi a Web of Science, por se tratar de uma plataforma reconhecida pela abrangência e qualidade de periódicos indexados, abrangendo mais de 9200 periódicos na área científica, incluindo a área das ciências ambientais (Singh *et al.*, 2021).

A busca foi realizada utilizando como descritores termos em inglês relacionados ao tema combinados com operadores, organizados da seguinte forma: "chromated copper arsenate" OR "CCA" AND "wood" AND "waste" OR "residue" AND "recycling" OR "disposal" AND "treatment". O período de busca foi delimitado de 2010 a 2025, a fim de englobar as pesquisas mais recentes sobre o tema.

Para a seleção dos documentos foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão foram: (1) abordar técnicas ou processos de tratamento, técnicas de reciclagem ou instruções para a disposição final de resíduos de madeira preservada com CCA e (2) apresentar resultados experimentais. E os critérios de exclusão foram: (1) apresentar, exclusivamente, caracterização dos resíduos, (2) apresentar, exclusivamente, problemas ambientais e (3) artigos de revisão.

A seleção dos documentos foi realizada em duas etapas. Primeiro foi realizada a leitura de títulos e resumos para identificação da adequação ao tema e depois uma leitura integral a fim de confirmar a adequação aos critérios estabelecidos. Inicialmente foram encontrados 17 artigos e, após o processo de seleção, 9 foram utilizados para a revisão. Os artigos que abordavam técnicas de tratamento foram organizados em uma tabela comparativa e os demais passaram apenas por uma leitura detalhada. Esta organização possibilitou uma análise crítica dos estudos e a identificação de tendências e lacunas na literatura.

Resultados

Atualmente a maior parte dos resíduos sólidos de madeira tratada com CCA é descartada em aterros ou queimada em instalações de geração de energia, porém a crescente demanda por tecnologias mais sustentáveis e regulamentações ambientais mais rigorosas vem tornando essas técnicas inadequadas. A remoção dos metais As, Cr e Cu desses resíduos é de extrema importância para que estes possam ser reciclados ou depositados em aterros de forma adequada (Castro *et al.*, 2021; Coudert *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, algumas técnicas de tratamento para remoção dos metais da madeira tratada com CCA vem sendo amplamente estudadas (Tabela 1), dentre elas, destaca-se a lixiviação ácida, que consiste na utilização de diferentes ácidos para a remoção de metais dos resíduos de madeira tratada. Essa técnica converte os metais presentes no CCA em suas formas solúveis em água, facilitando a sua remoção da madeira, o que torna essa técnica muito eficaz no tratamento desse resíduo (Ferrari *et al.*, 2016).

Tabela 1 - Técnicas de tratamento de resíduos sólidos de madeira tratada com arseniato de cobre cromado.

Técnica de tratamento	Descrição	Escala	Autores
Eletrorremoção	madeira submersa em solução de ácido oxálico ($C_2H_2O_4$) e ácido fosfórico (H_3PO_4) com eletrodos de grafite.	Laboratorial	Castro <i>et al.</i> , 2021.
Lixiviação Ácida	3 ciclos de lixiviação com Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).	Laboratorial	Coudert <i>et al.</i> , 2014; Ferrari <i>et al.</i> , 2016; Santos <i>et al.</i> , 2020.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Lixiviação Ácida	3 ciclos de lixiviação com Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).	Piloto	Coudert <i>et al.</i> , 2013; Janin <i>et al.</i> , 2012.
------------------	---	--------	--

Fonte: O autor.

Outra técnica relevante é a eletrorremoção (Tabela 1). Essa técnica consiste na aplicação de um campo elétrico em meio ácido, que é gerado por uma fonte de tensão entre eletrodos. Esse campo induz o movimento dos íons na solução e facilita a migração dos sais do CCA para fora da madeira (Castro *et al.*, 2021).

Ambos os processos de tratamento geram um efluente líquido com baixo pH e concentração elevada de metais. Dessa forma, são necessários tratamentos adicionais, visando a remoção ou recuperação dos metais e possibilitando o seu descarte adequado. Alguns exemplos de tratamentos para remoção dos metais encontrados descrevem o uso de técnicas de precipitação e coagulação (Coudert *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2018).

Os resíduos de madeira preservada com CCA podem ser reciclados e utilizados para a fabricação de novos produtos. Um exemplo de reciclagem encontrado na literatura é a utilização do resíduo de madeira tratada com CCA para a produção de compósitos de madeira-plástico, que podem ser utilizados na construção civil. Tanto os compósitos produzidos com resíduos de madeira previamente tratado por lixiviação ácida com H_2SO_4 (Zimmermann; Zattera, 2013), como resíduos de madeira sem tratamento prévio (Nelson; Pickering; Beg, 2023), se mostraram eficientes. Os resíduos de madeira sem tratamento prévio passam por processos de extração e branqueamento da fibra da madeira, onde ocorre a remoção dos metais característicos do CCA (Nelson; Pickering; Beg, 2023).

Discussão

Segundo Ferrarini *et al.* (2016), o método de lixiviação ácida é eficaz para a descontaminação dos resíduos de madeira preservada com CCA, o que minimiza seu impacto ambiental, possibilitando seu descarte adequado. Os dados obtidos por esses autores através dos ensaios de lixiviação ácida com H_2SO_4 corroboram com essa afirmação. Através de três ciclos de extração, utilizando $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ de H_2SO_4 seguido de três etapas de lavagem em água, foi obtido uma extração de mais de 90% dos metais Cr e As, tornando os resíduos testados seguros para serem descartados em aterros, segundo as normativas brasileiras (Associação, 2004).

Santos *et al.* (2020) obtiveram resultados similares utilizando uma técnica parecida de extração com H_2SO_4 e lavagem, com percentuais de remoção médios de 85% para Cr, 93% para As e 94% para Cu. No entanto, esses autores fizeram a reutilização dos efluentes ao longo dos ciclos de extração, e foi observado que nos ciclos finais, a concentração dos elementos Cr, Cu e As no efluente era alta. Embora esse fato não tenha interferido no resultado da extração, os autores ressaltam que soluções extratoras já contendo os elementos de interesse podem diminuir a eficiência da descontaminação, dessa forma, o reuso de efluentes deve ser feito com cautela para otimizar o processo de extração.

Coudert *et al.* (2014) testaram a lixiviação ácida com H_2SO_4 em resíduos de madeira preservada com CCA com diferentes cargas iniciais de metal e tempo decorrido entre o tratamento de preservação e a remediação. Os resultados obtidos demonstram que o tratamento foi eficiente, no entanto os autores afirmaram que o desempenho da lixiviação ácida pode ser influenciado pela concentração inicial de metais e pelo tempo decorrido entre o tratamento de preservação e a remediação. Os autores observaram que resíduos sólidos de madeira tratada mais novas (2005, 2009 e 2010) apresentaram maior solubilização de Cr e Cu do que madeiras antigas (1991, 1996, 1999), possivelmente pela fixação dos metais se tornar mais forte ao longo do tempo e para melhorar a extração em madeiras mais antigas foi necessário uma maior concentração de H_2SO_4 . Nesse sentido, se faz necessário uma caracterização detalhada dos resíduos, visando utilizar concentrações adequadas da solução de extração, otimizando o processo.

De acordo com os estudos analisados, o ácido mais comumente utilizado para essa extração é o H_2SO_4 . Esse produto possui alta eficiência na extração somada a um baixo custo, o que o torna uma boa opção para utilização em grande escala (Ferrarini *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2018).

A eletrorremoção também se mostrou uma técnica eficaz na remoção de metais dos resíduos sólidos de madeira tratada com CCA. Castro *et al.* (2021) obtiveram uma remoção de cerca de 79% para Cu, 87 % para Cr e 81% para As. Os autores observaram crescimento de fungos nos resíduos de madeira

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

que passaram pelo tratamento de eletrorremoção, visto que o CCA possui características fungicidas, o crescimento fúngico na madeira evidencia que houve a remoção dos componentes do CCA.

Ambos os tratamentos geram efluentes com alta concentração de metais, altos teores de matéria orgânica e baixo pH, o que o torna um efluente tóxico e impróprio para descarte direto no ambiente (Santos *et al.*, 2018). A principal técnica encontrada para o tratamento desses efluentes líquidos é feita através da precipitação/coagulação utilizando cloreto de ferro (III) (FeCl_3) como coagulante, e hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) como agentes alcalinizantes. Estudos de Coudert *et al.* (2014) utilizando FeCl_3 e NaOH, se mostraram muito eficazes no tratamento de efluentes, com uma eficiência de cerca de 99% na remoção dos metais. Desta forma, o tratamento de resíduos sólidos de madeira preservada com CCA utilizando lixiviação ácida ou eletrorremoção, associados ao tratamento dos efluentes líquidos por precipitação/coagulação é uma alternativa ambientalmente segura e eficaz para a gestão de resíduos de madeira preservada com CCA.

A maioria dos estudos encontrados foi realizado em escala laboratorial, porém a aplicação em larga escala pode ter alguns desafios operacionais. Apenas dois trabalhos sobre lixiviação ácida (Coudert *et al.*, 2013; Janin *et al.*, 2012) analisaram a eficácia em escala piloto, utilizando volumes maiores de solução e sistemas mais robustos. Buscando avaliar, além da eficiência na extração, a viabilidade técnica e econômica do processo.

Outra alternativa relevante para os resíduos de madeira preservada com CCA é a fabricação de compósitos de madeira-plástico, que tem diversas aplicações na construção civil, como decks, madeira de paisagismo e cercas (Zimmermann; Zattera, 2013). A utilização de resíduos de madeira preservada com CCA na fabricação de compósitos se mostrou eficiente (Nelson; Pickering; Beg, 2023; Zimmermann; Zattera, 2013), apresentando um bom desempenho mecânico e funcional, além de baixa toxicidade, devido a remoção dos metais tóxicos. Essa possibilidade de reaproveitamento reduz a quantidade de resíduos depositados em aterros e promove a economia circular, agregando valor a um material que seria descartado, podendo gerar problemas ambientais.

Conclusão

A partir dessa revisão de literatura foi possível observar que a geração de resíduos sólidos de madeira preservada com CCA é preocupante, devido a sua composição contendo Cr, Cu e As. Desta forma, se faz necessário um tratamento para a remoção desses metais, tornando os resíduos aptos para descarte seguro em aterros. Os tratamentos mais utilizados atualmente são a lixiviação ácida com H_2SO_4 e a eletrorremoção. Estes tratamentos se mostraram promissores na remoção dos metais, no entanto, ainda existe uma escassez de estudos em escala piloto ou industrial, que permitam avaliar a viabilidade técnica e econômica desses métodos. Além disso, existem poucos estudos que avaliem o potencial dos resíduos sólidos de madeira preservada com CCA para reaproveitamento na fabricação de novos produtos. Neste sentido, futuros trabalhos devem ter como foco a investigação em escala piloto e industrial e reutilização dos resíduos, promovendo a economia circular.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: 2004 - Classificação de Resíduos, Rio de Janeiro, 2004.

ARAUJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 49-58, 2012.

CAETANO, M. D. D. E.; DEPIZZOL, D. B.; REIS, A. O. P.. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos e proposição de melhorias: estudo de caso em uma marcenaria de Cariacica, ES. **Gestão e Produção**, v. 24, n. 2, p. 382-394, 2017.

CASTRO, R. J. *et al.* Eletro-remoção de cobre, cromo e arsênico de resíduos de madeira tratada com arseniato de cobre cromado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 211-219, 2021.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

COUDERT, L. *et al.* Demonstration of the efficiency and robustness of an acid leaching process to remove metals from various CCA-treated wood samples. **Journal of environmental management**, v. 132, p. 197-206, 2014.

COUDERT, L. *et al.* Pilot-scale investigation of the robustness and efficiency of a copper-based treated wood wastes recycling process. **Journal of hazardous materials**, v. 261, p. 277-285, 2013.

FERRARINI, S. F. *et al.* Decontamination of CCA-treated eucalyptus wood waste by acid leaching. **Waste Management**, v. 49, p. 253-262, 2016.

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.

MERCER, T. G.; FROSTICK, L. E. Leaching characteristics of CCA-treated wood waste: a UK study. **Science of the Total Environment**, v. 427, p. 165-174, 2012.

MORAIS, S. *et al.* Environmental and health hazards of chromated copper arsenate-treated wood: A review. **International journal of environmental research and public health**, v. 18, n. 11, p. 5518, 2021.

NELSON, J.; PICKERING, K. L.; BEG, M. D. H. Assessment of the potential of waste copper chromium and arsenic (CCA)-treated timber fibre reinforced polypropylene composites for construction. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 2, p. 48, 2023.

RIBEIRO, A. *et al.* Diffusion of potentially toxic elements from CCA-treated wood into clayey and sandy Brazilian soils. **Journal of Hazardous Materials**, p. 138703, 2025.

SANTOS, C.E. *et al.* Madeira preservada com CCA: proficuidade, potencial deletério, toxicidade dos resíduos e tecnologias de recuperação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 153-166, 2022.

SANTOS, H. S. *et al.* Counter-current process for CCA-treated wood decontamination and treatment of effluent generated by electric recovery and precipitation. **Scientia Forestalis**, 48 (127), e3234, 2020.

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, n. 2, p. 1299-1309, 2018.

SCUSSEL, R. *et al.* Ecotoxic, genotoxic, and cytotoxic potential of leachate obtained from chromated copper arsenate-treated wood ashes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 27, p. 41247-41260, 2022.

SINGH, Vivek Kumar *et al.* The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. **Scientometrics**, v. 126, n. 6, p. 5113-5142, 2021.

TOWNSEND, T. *et al.* Leaching of CCA-treated wood: implications for waste disposal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 114, n. 1-3, p. 75-91, 2004.

VIDAL, J. M. *et al.* Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

ZIMMERMANN, M.V. G.; ZATTERA, A. J. Recycling and reuse of waste from electricity distribution networks as reinforcement agents in polymeric composites. **Waste management**, v. 33, n. 7, p. 1667-1674, 2013.

Agradecimentos

*A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO***

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).