



ARTIGO ORIGINAL

Avaliação da eletrorremocão por meio de ensaio biológico com madeira tratada

Evaluation of electro-removal technique through biological test with wood treated in laboratory

Luana Candaten¹ , Tauana de Souza Mangini¹ , Laura da Silva Zanchetta¹ , Rômulo Trevisan¹ , Stela Maris Kulczynski¹ 

¹Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen, Frederico Westphalen, RS, Brasil

Como citar: Candaten, L., Mangini, T. S., Zanchetta, L. S., Trevisan, R., & Kulczynski, S. M. (2023). Avaliação da eletrorremocão por meio de ensaio biológico com madeira tratada. *Scientia Forestalis*, 51, e4014. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.23>

Resumo

A utilização da madeira em seu estado natural está sujeita a ataques de xilófagos, sendo assim, para prolongar a vida útil da mesma se faz necessário o uso de preservativos químicos, como, o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), sendo o mais utilizado atualmente. O presente estudo teve como objetivo a avaliação da eletrorremocão por meio de ensaio biológico com madeira tratada em diferentes concentrações de CCA. Para a execução do experimento realizou-se a impregnação de CCA do tipo C, onde partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, em formato de serragem, foram submetidas ao processo de imersão em tratamentos de 2, 4, e 6% de concentração do preservante, durante o período de 48 horas. Após o tratamento químico o material passou pelo processo de eletrorremocão, e, em seguida, realizou-se a quantificação da eficácia dos tratamentos envolvendo os fungos de *Trametes versicolor* no material tratado com CCA-C e eletrorremovido. Os resultados demonstraram um crescimento micelial superior dos fungos nos casos em que ocorreram a eletrorremocão dos metais presentes, confirmando deste modo que houve redução da quantidade de metais do CCA-C nas amostras através da aplicação da técnica de eletrorremocão.

Palavras-chave: Tratamento químico; *Trametes versicolor*; Preservação da madeira.

Abstract

The use of wood in external environments is subject to the attack of xylophagous agents such as fungi and termites, causing the deterioration of the material. Therefore, it is necessary to use chemical preservatives in order to protect the material from the respective damages that these organisms can cause. Among the existing chemical preservatives, Chromated Copper Arsenate (CCA) can be mentioned, which is currently the most used agent. The present study aimed to evaluate the electro-removal technique by means of a biological assay with treated wood, analyzing the treatment with CCA in the laboratory, so that it is possible to verify the potential of the electro-removal technique using spectrometry and also to analyze the potential of growth of rotting fungi on decontaminated wood. For the execution of the experiment, the CCA type C treatment was carried out, where particles of *Eucalyptus grandis* wood, in sawdust format, were submitted to the immersion process in treatments of 2, 4, and 6% of preservative concentration, during a 48 hour period. First, the samples were analyzed for the concentration of the metals of Cu, Cr and As through the analysis of electronic spectrophotometry of x-rays. Then the quantification of the effectiveness of the treatment of metals retained in the analyzed material was carried out so that later it would be possible to compare with the results obtained from the technique of mycelial growth of the fungi of *Trametes versicolor* in the material treated with CCA-C and electro-removal. This allowed a comparison between the developments of fungi in each treatment, and with it, the amount of each element of the treatments. The results showed a superior evolution of the fungi in the cases in which the electro-removal of the metals present occurred, thus confirming that there was a reduction in the amount of CCA-C metals in the samples.

Keywords: Chemical treatment; *Versicolor Trametes*; Preservation of wood.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: luana_candaten@outlook.com

Recebido: 12 maio 2023.

Aceito: 4 julho 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

A madeira é uma fonte de matéria prima única, destacando-se por ser um material orgânico, heterogêneo, higroscópico, anisotrópico e poroso. Além disso, a mesma possui constituição biológica hidrofóbica e fibras hidrofílicas, conferindo-lhe propriedades físico-mecânicas que a difere de outros materiais (Ferrarini et al., 2012). Apesar disso, possui a desvantagem de estar propensa a deterioração, o que afeta diretamente a sua vida útil quando exposta a algumas adversidades como, por exemplo, variações de temperatura, umidade, luminosidade, acidez do solo e organismos xilófagos (Araújo et al., 2012). Com a finalidade de prolongar a sua durabilidade, o material é submetido a impregnação com diferentes preservativos químicos, principalmente os solúveis em água como, por exemplo, o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) (Mohajerani et al., 2018; Kim et al., 2020).

O CCA-C desempenha função inseticida e fungicida quando aplicado na madeira e, atualmente é considerado o preservante mais eficiente, atuando nas camadas externas permeáveis do material e bloqueando a deterioração por agentes químicos, físicos e biológicos (Arantes et al., 2017; Castro et al., 2021). No entanto, essa mistura de produtos inorgânicos é altamente tóxica e pode causar sérios danos ao meio ambiente, visto que, o mesmo fica impregnado no material (Dhillon et al., 2017). Exemplo disso, são os postes de madeira tratados com CCA-C, os quais, após a sua vida útil, são dispostos no ambiente em razão da sua inutilidade causada pelo tratamento químico aplicado (Santos et al., 2022).

Desta maneira, em função da demanda por produtos com selo de qualidade e que respeitem os critérios sustentáveis aplicados ao mercado (Hüller et al., 2019), bem como, por materiais com alta durabilidade, há conseqüentemente um aumento da preocupação acerca da destinação dos mesmos (Santos et al., 2022). Assim, para que não haja necessidade de descarte, surge a possibilidade de reutilização da serragem por meio da técnica de eletrorremocão. A mesma consiste na utilização de ácidos e de uma corrente elétrica como agente de limpeza para que deste modo, combinando o campo elétrico com a agitação magnética, os poluentes possam ser removidos (Mateus et al., 2010).

Após o processo de remoção é possível realizar uma análise dinâmica, estrutural, cristalina, química e elementar dos materiais, com a utilização da espectrofotometria (International Atomic Energy Agency, 2019). O método é executado por meio da detecção e medição de fótons, os quais possuem comprimento de onda na faixa dos raios X. Assim, são aplicados feixes de raios X nos locais de interesse e após são realizadas as medições das interações dos diferentes raios X em uma devida faixa de energia (Carvalho et al., 2017).

Sendo assim, para se analisar a efetividade dos tratamentos e da eletrorremocão, pode-se utilizar os fungos, pois com o auxílio e aplicação destes xilófagos é possível perceber em quais materiais haverá maior desenvolvimento. Vale ressaltar o fato de que para ter madeiras resistentes aos agentes biodeterioradores é necessário a aplicação de tratamento com fungicidas concomitantemente com os demais fatores, como secagem e armazenamento (Souza & Demenighi, 2017). Os resultados em que se terá maior evolução dos fungos tendem a ser no meio em que não há tratamento ou eletrorremovidos, quando comparado ao material que está tratado com o CCA-C.

Desta forma, em virtude da utilização de materiais tratados com CCA-C no Brasil, e a escassez de estudos relacionados a porcentagem de resíduos presentes ao final de sua vida útil, o presente trabalho teve por objetivo a avaliação da eletrorremocão por meio de ensaio biológico com madeira tratada.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen (UFSM/FW), Rio Grande do Sul a 27°23'40" S; 53°25'39" O, onde as atividades de tratamento da madeira com CCA-C e aplicação da técnica de eletrorremocão foram realizadas no Laboratório de Química, e a avaliação de bioindicadores da eficácia das técnicas empregadas foi conduzido no laboratório de Fitopatologia, e no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais.

O tratamento químico da madeira foi realizado com solução de CCA-C, de acordo com as formulações do tipo Tanalith – C. A madeira de *Eucalyptus grandis* em formato de serragem, foi impregnada nas concentrações de 2, 4 e 6% por meio de imersão, durante o período de 48 horas. Após, o material foi devidamente lavado, seco e analisado quanto a concentração dos metais de Cobre, Cromo e Arsênio com o auxílio de um espectrofotômetro de energia dispersiva de raios X.

A eletrorremocção foi realizada em cada concentração de CCA-C e baseou-se em montagem de escala de bancada. Para sua operação, uma fonte de tensão foi utilizada para aplicação de diferentes potenciais elétricos, entre os terminais de eletrodos de grafite, imersos em solução condutora eletrolítica, contendo ácido oxálico e ácido fosfórico nas concentrações de 5%, diluídos em água ultra-pura, combinado com agitação magnética para que fosse possível auxiliar a eletrorremocção.

O material tratado e eletrorremovido foi seco ao ar e após em estufa a 50°C, para garantir a secagem completa do material e, posteriormente, analisado por meio de espectrometria eletrônica de raios X, utilizando um espectrofotômetro Ray Ny EDX-720 da Shimadzo, para verificar a concentração dos metais presentes nas amostras e as taxas de extração que ocorreram a partir da aplicação da técnica.

O bioindicador utilizado foi o fungo *Trametes versicolor*, causador de podridão branca. Inicialmente as placas de Petri foram autoclavadas (Figura 1A) as placas e o meio de cultura, batata-dextrose-ágar (BDA) (Figura 1B), para em seguida realizar a multiplicação do fungo. Os mesmos foram repicados em câmara de fluxo laminar e levados para o desenvolvimento micelial em BOD por aproximadamente 7 dias, ou até o preenchimento total do recipiente em que estava alocado. Após esse período, foram retirados discos de 5 mm de diâmetro das colônias fúngicas (Figura 1C) e inoculados no centro das placas de petri contendo o BDA e 3g de madeira fracionada em formato de serragem proveniente dos dois diferentes tratamentos: eletrorremocção e tratamento químico com CCA, nas concentrações de 2, 4 e 6% (Figura 1D) e, posteriormente, incubadas em BOD a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas, visando otimizar o desenvolvimento fúngico (Figura 1E).

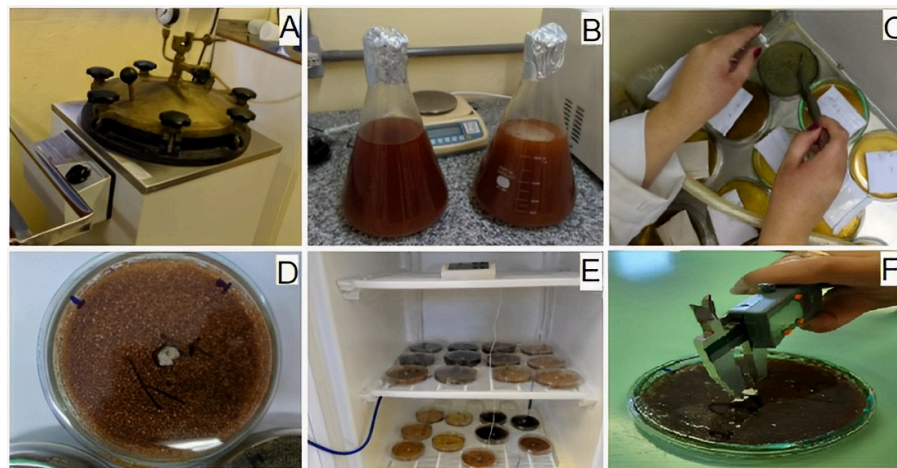


Figura 1. Passo a passo para a realização do experimento. Em que: A= autoclavagem; B= meio de cultura ágar-batata-dextrose (BDA); C= inserção da madeira fracionada ao BDA; D= inoculação do fungo; E= desenvolvimento micelial em câmara de temperatura, umidade e fotoperíodo controlados; F= medição do desenvolvimento micelial.

Em seguida, foram realizadas avaliações diárias (Figura 1F) com o período de mensuração de 24 horas entre uma medição e outra, durante uma semana. Posteriormente, para as medições do diâmetro das colônias do *Trametes versicolor* nos tratamentos, utilizou-se um paquímetro digital, avaliando o crescimento micelial através da média de duas medidas diametricamente oposta.

Após a obtenção desses dados por meio deste experimento de bioensaio de apodrecimento acelerado em laboratório, o qual foi executado com adaptações da norma

americana ASTM D-2017 (American Society for Testing and Materials, 2005) e metodologias propostas por Hüller et al. (2019), Silveira et al. (2003), foram realizados os cálculos do índice de crescimento micelial, a fim de determinar o desenvolvimento nos materiais eletrorremovidos e comparar nos demais tratamentos. Os valores obtidos a partir da mensuração do desenvolvimento micelial dos fungos foram analisados a partir do cálculo do Índice de Crescimento Micelial (ICM) pela equação a seguir (Equação 1):

$$ICM = \sum (Cn / Nn) \tag{1}$$

Onde: Cn = crescimento micelial para cada dia de avaliação (mm); Nn = número de dias após a inoculação, adaptação de Hüller et al. (2019).

Baseado na determinação do desenvolvimento micelial dos fungos foram utilizados os dados para a realização dos cálculos do Percentual de Inibição do Crescimento Micelial (PICM) pela Equação 2:

$$PICM (\%) = (Dt - Dn) / (Dt - 7) \times 100 \tag{2}$$

Onde: Dt = média das duas medições diametricamente opostas da testemunha (mm); Dn = média das duas medições de diâmetro das colônias do tratamento (mm) – diâmetro dos discos (mm) (Silveira et al., 2003).

O experimento foi montado a partir de um planejamento de Delimitação Inteiramente Casualizado, onde buscou-se observar a relação dos fatores: concentrações de CCA x Eletrorremocão x Desenvolvimento Micelial. Posteriormente, os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, no caso de diferença significativa, ao teste de comparação de médias DMS (Diferença Mínima Significativa), por meio do pacote estatístico *Statgraphics Plus* visando um comparativo entre o desenvolvimento fúngico nos materiais com a eletrorremocão, com os materiais com CCA-C, em cada concentração e testemunha.

RESULTADOS

A partir da Análise de Variância (ANOVA), verificou-se a interação entre os tratamentos analisados, seguindo para o teste de médias descrito a seguir. Os resultados da espectrofotometria mostraram que na concentração de 2% foi possível observar valores (em ppm) de 621,13; 2077,88 e 1544,03 de Cr, Cu e As respectivamente (Tabela 1), os quais apresentaram um crescimento significativo para as concentrações de 4 e 6%. O elemento Cu apresentou diferença entre a testemunha e as concentrações de 2, 4 e 6%, já entre 4 e 6% os resultados foram semelhantes. Enquanto que, para As as concentrações diferiram do esperado, onde em 4% é inferior ao identificado em 2%, por conta disso, a diferença estatística se dá em todos os tratamentos, em que a menor concentração se encontra na testemunha, seguido de 4, 2 e 6%.

Tabela 1. Análise de presença de Cobre (Cu), Cromo (Cr) e Arsênio (As), por meio de espectrofotometria eletrônica de raios X.

Concentrações CCA	Eletrorremocão					
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
	Cromo (ppm)		Cobre (ppm)		Arsênio (ppm)	
Testemunha	1,21 aA	1,21 aA	9,31 aA	9,31 aA	28,13 aA	28,13 aA
2	621,13 bA	4632,82 bB	2077,88 bA	2487,87 bB	1544,03 cA	10844,7 bB
4	689,48 bA	8222,62 cB	5332,63 cB	3675,27 cA	1405,51 bA	19189,2 cB
6	3044,97 cA	9799,09 dB	5437,09 cB	4064,42 dA	4021,49 dA	23461,9 dB

Em que: Letras maiúsculas comparam o material com e sem eletrorremocão e letras minúsculas comparam as concentrações de CCA-C de acordo com o teste DMS.

A Tabela 2 apresenta o ICM no material com e sem eletrorreemoção.

Tabela 2. Valores do índice de desenvolvimento micelial no material com e sem eletrorreemoção, nas concentrações de 2,4 e 6% de tratamento com CCA-C

Concentrações CCA-C	Eletrorreemoção	
	Sem	Com
Testemunha	49,2 (±0,7) aA	49,2 (±1,4) aA
2	5,8 (±0,7) bB	8,2 (±1,4) bA
4	7,2 (±0,7) bA	8,7 (±1,4) bA
6	7,1 (±0,7) bA	8,4 (±1,4) bA
Média	17,5 (±0,6) A	18,6 (±0,6) A

Em que: Letras maiúsculas comparam o material com e sem eletrorreemoção e letras minúsculas comparam as concentrações de CCA-C de acordo com o teste DMS. Valores apresentados do ICM se dão em porcentagem.

Para o Índice de Crescimento Micelial (ICM) observa-se que desenvolvimento dos materiais eletrorreemovidos foram semelhantes com os demais realizados na presença do CCA-C.

No teste de inibição do crescimento micelial foi possível notar que a testemunha não apresentou nenhum valor. Já para as amostras com CCA-C, as mesmas apresentaram resultados semelhantes entre as concentrações de 2 e 4%, as quais evidenciaram valor de 7,9% em ambos os casos (Tabela 3). Na concentração de 6% os resultados divergem dos valores apresentados na eletrorreemoção, pois esse tratamento seria o mais concentrado entre os 3.

Tabela 3. Valores do Percentual de inibição do crescimento micelial no material eletrorreemovido e aqueles que não passaram pela aplicação da técnica, em cada concentração de tratamento do CCA-C.

Concentrações CCA-C	PICM	
	Sem	Com
Testemunha	0 (±0,3) aA	0 (±0,3) aA
2	8,3 (±0,3) bA	7,9 (±0,3) bA
4	8,0 (±0,3) bA	7,9 (±0,3) bA
6	8,1 (±0,3) bA	7,1 (±0,3) bA
Média	6,0 (±0,5) A	5,6 (±0,5) A

Em que: Letras maiúsculas comparam o material com e sem eletrorreemoção e letras minúsculas comparam as concentrações de CCA-C de acordo com o teste DMS. Valores apresentados do PICM se dão em porcentagem.

As amostras com o eletrorreemoção apresentaram valores semelhantes entre as concentrações, diferindo estatisticamente apenas da testemunha, a qual apresentou valor de 0% comparado com as concentrações 2,4 e 6% as quais evidenciaram valores de 8,3%, 8,0% e 8,1% respectivamente. Portanto os valores de PICM demonstraram que neste quesito não foram efetivos, pois apresentaram resultados semelhantes entre com e sem tratamento.

DISCUSSÃO

Alguns fatores que afetaram negativamente o ICM, e que podem ter modificado a inibição do crescimento do fungo, são a dimensão das amostras ou até o uso dos ácidos para a remoção do tratamento com CCA-C, podendo ser o maior responsável pelos resultados semelhantes.

Ao analisar a concentração de cada elemento entre os tratamentos com e sem eletrorreemoção, verificou-se que para as concentrações de 4 e 6% os elementos de Cr e As apresentaram uma elevação na concentração, enquanto Cu apresentou uma redução entre o material eletrorreemovido e o tratado. O tratamento com a concentração de 2% apresentou diferença estatística entre o material tratado com CCA-C para o eletrorreemovido, evidenciando um aumento para todos os metais.

O aumento da concentração dos metais nas amostras pode ocorrer devido ao fato de que com o processo de eletrorremoção, os mesmos tenham se aglomerado na parte externa do material (Ferrarini et al., 2012), situação que poderia ser resolvida com agitação mecânica (lixando as amostras pré-análise) para que não aconteça o acúmulo dos elementos na sua área superficial. Ainda, vale ressaltar que a análise de espectrofotometria é muito refinada, realizado por meio de feixes de raios X de 5mm, por conta disso requer um processo muito meticuloso para que se tenha resultados mais efetivos. E pelo fato de que o experimento foi executado em escala de bancada, não foi realizada a agitação mecânica durante o período de eletrorremoção, isto se recomenda em caso de aplicação deste processo em escala industrial.

Uma condição que pode ter contribuído para os resultados, é a mobilidade desses metais, sendo o Cu um micronutriente responsável por inibir o desenvolvimento dos fungos, enquanto o Cr exerce função fixadora, formando complexos insolúveis por meio de relações químicas juntamente com os componentes da madeira, diante disso, pode ter impedido a remoção do Cu e do As (Ferrarini et al., 2012; Jang et al., 2002). Ainda, é possível que o modo em que foi conduzida a aplicação desse tratamento tenha interferido de maneira negativa, pois o mesmo foi realizado por meio de imersão, o qual não conta com a qualidade que é empregada nos tratamentos em escala industrial. Nesses locais usam pressão e vácuo para assegurar a penetração e impregnação do produto à madeira conforme apresentado no experimento de Candaten et al. (2021).

Este fator pode ter colaborado para que os microrganismos não tenham se desenvolvido de maneira esperada nos materiais eletrorremovidos (Tabela 2), pois além de não apresentar uma redução na quantidade de As ainda dispõe o tratamento com ácidos, os quais podem ter interferido de maneira negativa no crescimento dos fungos. As porcentagens de metais presentes nas amostras, apresentados pelo teste de espectrofotometria demonstram que a eletrorremoção efetivamente reduziu as porcentagens de Cr, enquanto o As e Cu tiveram valores superiores posteriormente ao teste de remoção do CCA-C.

Os testes de crescimento se mostram efetivos, pois de acordo com Cantera et al. (2022) os quais realizaram um experimento semelhante, todas as amostras modificadas com tratamentos obtiveram maior resistência ao ataque microbiológico quando comparado aos materiais testemunha, os quais não havia nenhum tipo de tratamento contra o ataque de *Trametes versicolor*.

Conforme apresentado na Tabela 2 é possível notar o desenvolvimento micelial dos fungos nas amostras de testemunha, validando o teste aplicado. Ainda conforme os autores Olher et al. (2021), Silveira et al. (2017), os microrganismos se desenvolvem melhor quando em ambiente que o favoreça, como o meio de cultura BDA que é aplicado na placa, e também alocando as mesmas com as colônias fúngicas em ambiente propício ao desenvolvimento na incubadora BOD.

Os resultados para o ICM no caso das testemunhas, obteve resultados já esperados para o crescimento micelial do *Trametes versicolor*, pois o mesmo se desenvolveu de maneira superior, diferenciando dos materiais que foram tratados com CCA-C ou eletrorremovidos. Fato que foi comprovado como mostra a Tabela 2 onde o ICM das testemunhas foi de 49,2%, observando-se diferença estatística do crescimento.

Já os materiais eletrorremovidos, comparado aqueles tratados com CCA-C, obtiveram um crescimento ligeiramente superior, variando na concentração de 2% onde o ICM foi de 5,8% no material com CCA-C e 8,2% para o material em que foi realizado o processo de eletrorremoção. Desta forma o desenvolvimento dos fungos no material eletrorremovido demonstram que o tratamento se mostrou eficaz nesta concentração.

Já o tratamento a 4% não apresentou diferença estatística entre o material eletrorremovido comparado àqueles que não passaram por este processo, pois os mesmos apresentaram valores muito próximos. Já no caso do material que passou pela técnica de eletrorremoção os resultados do crescimento micelial foram de 8,7%, enquanto aqueles que não receberam aplicação da técnica apresentaram um valor de 7,2%. Porém, mesmo desta forma é possível notar que o maior desenvolvimento das comunidades fúngicas se deu no material eletrorremovido, o que demonstra que o processo é eficaz na remoção dos metais presentes nas amostras. As concentrações dos metais superiores no tratamento de 2% podem justificar o que foi relatado.

A eletrorremocão no caso da concentraçãõ 6% se mostrou inferior aos outros casos, onde apresentou valor do desenvolvimento micelial de 8,4% para o material eletrorremovido e 7,1% para aquele que não passou pela técnica, demonstrando que o fungo cresceu de maneira semelhante nas duas condições. Vale ressaltar que os resultados obtidos a partir do experimento da espectrofotometria, a concentraçãõ de 6% de CCA-C, e posterior a eletrorremocão, apresentou inconsistências.

O procedimento realizado a 6% apresentou um aumento nas concentrações de Cu e As, posterior a eletrorremocão, isso pode ocorrer pelo fato de que os metais citados tenham se concentrado na parte superficial da madeira, ou seja, no alburno (Ferrarini et al., 2012), local que foi realizada a retirada do material para análise. Algo recomendado na execuçãõ de práticas futuras deste experimento seria realizar um processo de lixamento. Já a não reduçãõ do As pela técnica de eletrorremocão pode se dar em funçãõ de fatores como concentraçãõ de ácidos utilizados na prática, tempo da remocão, dimensões das amostras, e da mesma forma a alteraçãõ na mobilidade do metal, que pode ter comprometido a saída desse para o meio aquoso (Ribeiro et al., 2000).

Os resultados do crescimento micelial dos fungos nessas concentrações, de 4 e 6%, são diretamente ligados aos valores da espectrofotometria, pois nestas foi possível notar um acréscimo na concentraçãõ de Cr e As, enquanto o Cu apresentou uma reduçãõ em todos os casos. Conforme citado por Silva (2020) o As é o agente inseticida presente na soluçãõ, enquanto o Cu é fungicida e o Cr tem como funçãõ ser o elemento fixador, o que justifica o desenvolvimento do *Trametes versicolor* ter sido superior no caso da concentraçãõ de 2%, onde apresentou reduçãõ da quantidade de Cu nas amostras, enquanto nas outras houve um aumento.

Para o ICM os valores encontrados se mostraram em concordância com os dados da espectrofotometria e com o percentual de inibiçãõ de crescimento micelial (PICM), os quais demonstraram que os locais de maior desenvolvimento dos fungos, foram os meios que apresentaram menores valores de metais presentes como a testemunha, e que tenham menores valores de PICM.

CONCLUSÃO

As taxas de remocão no elemento Cu se destaca nos tratamentos de 4 e 6%. Já para os demais metais é possível concluir que na concentraçãõ de 2% em Cr e Cu, observa-se um acréscimo, ao mesmo tempo em que o elemento As apresenta aumento em todas as concentrações.

O desenvolvimento fúngico do *Trametes versicolor* se encontra comprometido, devido ao resultado da eletrorremocão e a concentraçãõ ácida envolvida na técnica, sendo menor que o esperado, mas ainda assim maior do que no material não eletrorremovido o qual indica a reduçãõ da toxidez das amostras, por conta dos dados de PICM e ICM. A técnica de ensaio de apodrecimento acelerado adaptada expõe resultados eficazes servindo de base para outros trabalhos que visam esse tipo de dados com rapidez.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials (2005). *ASTM D-2017: standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods*. West Conshohocken: ASTM Standards.
- Arantes, L. S., Hein, P. R. G., Silva, J. R. M., & Soares, V. C. (2017). Influência do tratamento preservativo com CCA-C na estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, 45(114), 285-293. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.05>.
- Araújo, H. J. B., Magalhães, W. L. E., & Oliveira, L. C. (2012). Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. *Acta Amazonica*, 42(1), 49-58. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100006>.
- Candaten, L., Trevisan, R., Bairros, P. R. S., Wastowski, A. D., Klingenberg, D., & Jankowsky, I. P. (2021). Remocão de cobre, cromo e arsênio da madeira tratada em diferentes concentrações. *Revista Príncipia-Divulgaçãõ Científica e Tecnológica do IFPB*, 57(57), 28-35. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5793>.

- Cantera, L., Alonso, R., Lupo, S., Bettucci, L., Amilivia, A., Martínez, J., & Dieste, A. (2022). Resistência ao apodrecimento da madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente contra linhagens selvagens de *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*. *Wood Material Science & Engineering*, 17(6), 478-487. <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2021.1892185>.
- Carvalho, R. M. D., Peixoto, J. G. P., Teixeira, G., & Cardoso, R. (2017). Espectrometria de raios X: princípios básicos. In *XVII IMEKO World Congress*. Recuperado em 12 de maio de 2023, de <http://bom.org.br:8080/jspui/handle/2050011876/735>.
- Castro, R. J. D., Kehl, G. D., Candaten, L., Santos, G. D. D., Silva, P. R. B. D., Trevisan, R., & Wastowski, A. D. (2021). Eletro-remoção de cobre, cromo e arsênio de resíduos de madeira tratada com arseniato de cobre cromado. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26, 211-219. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220190319>.
- Dhillon, G. S., Rosine, G. M. L., Kaur, S., Hegde, K., Brar, S. K., Drogui, P., & Verma, M. (2017). Novos biomateriais da fermentação do ácido cítrico como biossorventes para remoção de metais de resíduos de lixiviados de madeira de arsenato de cobre cromado. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 147-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.014>.
- Ferrarini, S. F., Santos, H. S. D., Miranda, L. G., Azevedo, C., Pires, M. J., & Maia, S. M. (2012). Classificação de resíduos de madeira tratados com preservativos à base de arseniato de cobre cromado e de boro/flúor. *Química Nova*, 35(9), 1767-1771. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000900012>.
- Hüller, A. S., Santini, E. J., Talgatti, M., Da Silveira, A. G., Valcorte, G., De Oliveira, L. H., & Estigarribia, M. G. (2019). Capacidade antifúngica do extrato vegetal de ruta graveolens sobre o desenvolvimento dos fungos apodrecedores *Gloeophyllum trabeum* e *Pycnoporus sanguineus*. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 6(6), 31-43.
- International Atomic Energy Agency – IAEA. (2019). *X ray spectrometry*. Recuperado em 12 de maio de 2023, de <https://www.iaea.org/topics/x-ray-spectrometry>.
- Jang, Y. C., Townsend, T. G., Ward, M., & Bitton, G. (2002). Lixiviação de arsênio, cromo e cobre em um solo contaminado em um local de preservação de madeira. *Boletim de Contaminação Ambiental e Toxicologia*, 69(6), 808-816. PMID:12428157. <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-002-0132-4>.
- Kim, J. Y., Oh, S., & Park, Y. K. (2020). Overview of biochar production from preservative treated wood with detailed analysis of biochar characteristics, heavy metals behaviors, and their ecotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121356. PMID:31628056. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121356>.
- Mateus, E. P., Zrostlíková, J., Ribeiro, A. B., Marriott, P., & Silva, M. (2010). Análise de resíduos contaminados com creosoto por cromatografia gasosa bidimensional abrangente (GC× GC): uma nova ferramenta analítica para amostras ambientais complexas. *Scientia Chromatographica*, 2(2), 57-68.
- Mohajerani, A., Vajna, J., & Ellcock, R. (2018). Madeira de arseniato de cobre cromado: uma revisão de produtos, estudos de lixiviados e reciclagem. *Journal of Cleaner Production*, 179, 292-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.111>.
- Olher, M. L. D. A. R., Pereira, D. C. S., Martins, M. L., Martins, E. M. F., & Campos, A. N. R. (2021). Controle in vitro do crescimento micelial e da germinação de conídios de *Botrytis cinerea* por metabólitos e extratos de *Pisolithus microcarpus*. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 15008-15025. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-225>.
- Ribeiro, A. B., Mateus, E. P., Ottosen, L. M., & Bech-Nielsen, G. (2000). Remoção eletrodialítica de Cu, Cr e As de resíduos de madeira tratados com arseniato de cobre cromado. *Ciência e Tecnologia Ambiental*, 34(5), 784-788.
- Santos, C. E., Candaten, L., Silva, P. R. B., & Trevisan, R. (2022). Madeira preservada com CCA: proficuidade, potencial deletério, toxicidade dos resíduos e tecnologias de recuperação. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(1), 153-166. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n1e8871>.
- Silva, J. L. B. L. (2020). *Impregnação da madeira de Ceiba pentandra (L.) Gaerth a partir de bioextratos e seu comportamento a agentes xilófagos* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Brasil.
- Silveira, A. G., Santini, E. J., Kulczynski, S. M., & Trevisan, R. (2017). Atividade antifúngica do extrato natural da acácia-negra à *Pycnoporus sanguineus*. *Scientia Forestalis*, 45(114), 383-391. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.14>.
- Silveira, S. F. D., Alfenas, A. C., Maffia, L. A., & Suzuki, M. S. (2003). Controle químico da queima de folhas e da mela de estacas de eucalipto, causadas por *Rhizoctonia* spp. *Fitopatologia Brasileira*, 28(6), 642-649. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582003000600010>.

Souza, R. V., & Demenighi, A. L. (2017). Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil. *Mix Sustentável*, 3(1), 84-92. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2017.v3.n1.84-92>.

Contribuição dos Autores: LC e RT: planejamento; LC, LSZ, SMK: execução; LSZ: coleta de dados; RT: estatística dos dados; LC, TSM: redação; RT: Revisão final.