

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Édina Regina Dal Molin

**ANÁLISE DA LIXIVIAÇÃO DO CCA DA MADEIRA TRATADA NO
SOLO**

Frederico Westphalen, RS
2021

Édina Regina Dal Molin

ANÁLISE DA LIXIVIAÇÃO DO CCA DA MADEIRA TRATADA NO SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) campus Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Florestal**.

Orientador: Prof. Elder Eloy, Dr.

Frederico Westphalen, RS
2021

Édina Regina Dal Molin

ANÁLISE DA LIXIVIAÇÃO DO CCA DA MADEIRA TRATADA NO SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) campus Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Florestal**.

Aprovado em:

Professor Dr. Elder Eloy (UFSM/FW)
(Presidente/Orientador)

Professor Dr. Rômulo Trevisan

Eng. Florestal Luana Candaten

Frederico Westphalen, RS
2021

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria por me proporcionar um ensino de excelência, público e gratuito.

A todos os professores que tive ao longo da graduação, aprendi muito com cada um, minha eterna gratidão. Em especial ao meu professor orientador Elder Eloy por todo auxílio, incentivo, contribuições e confiança em mim depositada, obrigada!

Ao professor Rômulo Trevisan e Eng. Florestal Luana Candaten, por além de terem contribuído na realização desse trabalho, aceitaram prontamente fazer parte da banca de avaliação.

Aos meus pais, Roberto e Mirna, por sempre estarem ao meu lado me incentivando e dando forças a nunca desistir e buscar sempre mais. Ao meu irmão Arthur, por todo apoio e carinho. Vocês são minha base, minha força e minha inspiração. Dedico a vocês todas minhas conquistas, amo vocês.

A todos meus familiares e amigos queridos que sempre estiveram torcendo por mim e me dando apoio, mesmo que distante, especialmente meus avós, José Alcides e Erna, por todas as orações e aos meus anjinhos José Antônio e Maria Georgina que iluminaram meu caminho até aqui.

A minha prima Ana Paula Born que compartilhou comigo o sonho de ingressar em uma universidade pública e viveu comigo momentos muito especiais durante a graduação, que foi meu abrigo e amparo quando precisei, amo você!

A todos os colegas e amigos que tive o privilégio de conhecer e conviver durante o período de graduação, com certeza cada um deixou marcas muito especiais em minha vida. Agradeço especialmente aos meus colegas e amigos Eduardo Rieder e Guilherme Farias, pelo companheirismo, amizade e cooperação desde o início da graduação, inclusive na realização desse trabalho, vocês se tornaram irmãos aos longos dos anos, sou muito grata por tê-los em minha vida.

Ao grupo PET Eng. Florestal por me proporcionar experiências únicas e por contribuir de forma significativa com o meu crescimento. Agradeço ao professor tutor Edner Baumhardt, por sempre me incentivar, acreditar no meu potencial e não me deixar desistir.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho: muito obrigada!

RESUMO

ANÁLISE DA LIXIVIAÇÃO DO CCA DA MADEIRA TRATADA NO SOLO

AUTORA: Édina Regina Dal Molin

ORIENTADOR: Elder Eloy

O presente trabalho teve como objetivo analisar a lixiviação do CCA de madeiras tratada no solo. Para tanto, foram implantados cinco moirões do gênero *Eucalyptus*, previamente tratados com CCA, sob condições climáticas naturais, em campo aberto. O experimento foi avaliado utilizando o delineamento casualizado. O arranjo experimental foi caracterizado por um bifatorial 6x2, ou seja, seis períodos e duas profundidades. As amostras de solo foram coletadas nas proximidades dos moirões nos períodos de 0, 94, 226, 318, 460 e 880 dias após a implantação do experimento. Antes e após a instalação do mesmo, foram coletadas amostras de madeira e solo, para que pudesse ser analisada a concentração dos constituintes do preservativo antes e após a finalização do experimento. Os resultados mostraram que o preservativo da madeira apresentou lixiviação de 55% para As, 44,7% para Cr e 52% para Cu, todavia o solo apresentou um aumento na concentração apenas do elemento As. Os constituintes químicos preservativos da madeira lixiviam da madeira para o solo no entanto, a concentração dos mesmos é maior na parte do solo abaixo do moirão quando comparado com o solo nas laterais do moirão. Os níveis de contaminação do solo por As, Cu e Cr não apresentam riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

Palavras-chave: Preservação de madeiras, contaminação do solo, CCA.

ABSTRACT

ANALYSIS OF LEACHING CCA FROM TREATED WOOD IN SOIL

AUTHOR: Édina Regina Dal Molin

ADVISOR: Elder Eloy

The present work aimed to analyze the CCA leaching of treated wood in the soil. For this purpose, five fence posts of the *Eucalyptus* genus, previously treated with CCA, under natural climatic conditions, in an open field were implanted. The experiment was evaluated using a randomized design. The experimental arrangement was characterized by a two-factor 6x2, that is, six periods and two depths. The soil samples were collected in the vicinity of the fence posts at 0, 94, 226, 318, 460 and 880 days after the implementation of the experiment. Before and after its installation, samples of wood and soil were collected, so that the concentration of the constituents of the wood could be analyzed before and after the end of the experiment. The results showed that the wood preservative showed leaching of 55% for As, 44.7% for Cr and 52% for Cu, however the soil showed an increase in the concentration only of the element As. The chemical preservative constituents of the wood leach from the wood for the soil however, their concentration is higher in the part of the soil below the fence when compared to the soil on the sides of the fence. The levels of soil contamination by As, Cu and Cr do not present potential risks, direct or indirect, to human health.

Keywords: Wood preservation, soil contamination, CCA.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Valores médios mensais de temperatura mínima, máxima e média, radiação solar incidente acumulada e precipitação acumulada durante o período experimental (28/01/2018 a 12/06/2020), onde $T_{Média}$ = temperatura média, $T_{Máx}$ = temperatura máxima e $T_{Mín}$ = temperatura mínima. 11
- Figura 2–Imagens da instalação do experimento. (A) Discos de madeira dos moirões retirados para análise; (B) Preparação das covas; (C) Primeira coleta de solo na cova; (D) Moirões já instalados no campo..... 13
- Figura 3 - Imagens do local de coleta das amostras de solo nos diferentes períodos avaliados (A); Coleta de solo da segunda avaliação (B)..... 14
- Figura 4–Imagem da preparação das amostras para as avaliações. (A) secagem das amostras de madeira e solo; (B) Maceração do solo; (C) Acondicionamento o material macerado; e (D) Cadinhos prontos para a análise no Espectrômetro de Fluorescência de Raios X. 15
- Figura 5 – Imagens do (A) Espectrofotômetro utilizado para determinação de teores dos elementos requeridos; (B) Aparelho pronto para análise, com as amostras posicionadas..... 16
- Figura 6 – Concentração dos elementos no material madeira (A) e solo (B), antes e depois da implantação do experimento..... 18
- Figura 7–Variação das médias para os constituintes químicos preservativos da madeira nas profundidades do solo 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B), nos diferentes períodos analisados. 20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de variância para os constituintes químicos preservativos da madeira e do solo para os períodos antes da instalação e depois de finalizado o experimento.	17
Tabela 2 – Análise de variância para os constituintes químicos preservativos da madeira, nas diferentes profundidades e períodos de avaliação do experimento.	19
Tabela 3 Comparação dos valores encontrados com os valores de investigação apresentados pelo CONAMA.	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MATERIAIS E MÉTODOS	10
2.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	10
2.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	11
2.3	AMOSTRAGEM E AVALIAÇÕES	12
2.4	ANÁLISE DOS DADOS	16
3	RESULTADOS	16
4	DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO	23
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

A preservação da madeira é essencial, principalmente quando exposta a condições naturais sujeitando-se a decomposição e ao ataque de organismos xilófagos. Para que sua vida útil seja ampliada é feito o uso de tratamentos químicos. Para tanto, existem diferentes processos, embora os tratamentos de pressão utilizando Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) sejam considerados os mais eficazes. Esses tratamentos são conhecidos por melhorar a vida útil do poste em mais de 50 anos (MOHAJERANI; VAJNA; ELLCOCK, 2018).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, IBÁ (2019) estima-se que a produção brasileira de madeira tratada foi de 1,4 milhões de m³ em 2018, tendo como principais produtos os moirões de cerca, postes, cruzetas, dormentes e estruturas para a construção civil. Os produtos de madeira tratada mais utilizados no Brasil são os moirões. Estima-se que 40 milhões de unidades são produzidas por ano, sendo que 90% das usinas brasileiras de preservação de madeiras usam o CCA em seu tratamento preservativo.

Entretanto, o uso do CCA foi proibido ou restrito em muitos países, uma vez que proporciona risco de contaminação ambiental e à saúde humana, devido à presença de arsênio em sua formulação (VIDAL et al., 2015). Comercialmente, o uso do CCA é uma ótima opção para aumentar a resistência da madeira, porém em relação ao meio ambiente e a saúde pública seu uso ainda é questionável. Em vários países há restrição quanto ao seu uso, devido aos seus componentes As e Cr apresentarem alta toxicidade e possível risco de contaminação a saúde humana e ao meio ambiente quando lixiviados ou volatilizados em altas concentrações (FERRARINI et al., 2012).

Os postes de madeira utilizados como estrutura das redes de distribuição de energia elétrica e telefonia no Brasil, são produzidos na sua grande maioria a partir da madeira do gênero *Eucalyptus*. A preferência pelo uso das espécies desse gênero está ligada a algumas vantagens nelas encontradas, como o rápido crescimento e incremento anual, propriedades mecânicas adequadas e alborno com boa permeabilidade, o qual permite que seja feita uma boa preservação da madeira (SCHNEID; GATTO; CADERMARTORI, 2013).

Os produtos usados na preservação de madeiras podem lixiviar de forma intermitente pela chuva, principalmente quando recém-tratada, podendo se infiltrar nas águas subterrâneas, ser descarregado nas águas superficiais, ou se infiltrar no solo. O Cu lixiviado pode ser tóxico para os microrganismos do solo e representam riscos para a saúde humana em níveis residuais

(TAO; SHI; KROLL, 2013). As altas concentrações de Cu também preocupam devido a essas limitarem o crescimento da vegetação (MARCO et al., 2017), além de poderem ser prejudiciais à saúde humana, e inibir o desenvolvimento de microrganismos no solo (ANDREAZZA et al., 2013).

Existe uma grande preocupação quanto ao aumento do As no solo, devido a esse elemento causar toxidez em plantas e animais. Seu acúmulo em plantas além de afetar seu crescimento, causa a entrada desse elemento na cadeia trófica, podendo causar riscos tanto ao ecossistema quanto a saúde humana, como câncer de pele entre outros (RAHMAN et al., 2020).

Apesar de os riscos ambientais relacionados com a madeira preservada serem considerados pequenos, julga-se importante serem realizados estudos na área, devido ao fato de existirem na literatura poucos trabalhos em relação a contaminação do solo por madeira tratada em serviço. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a lixiviação do CCA da madeira tratada no solo.

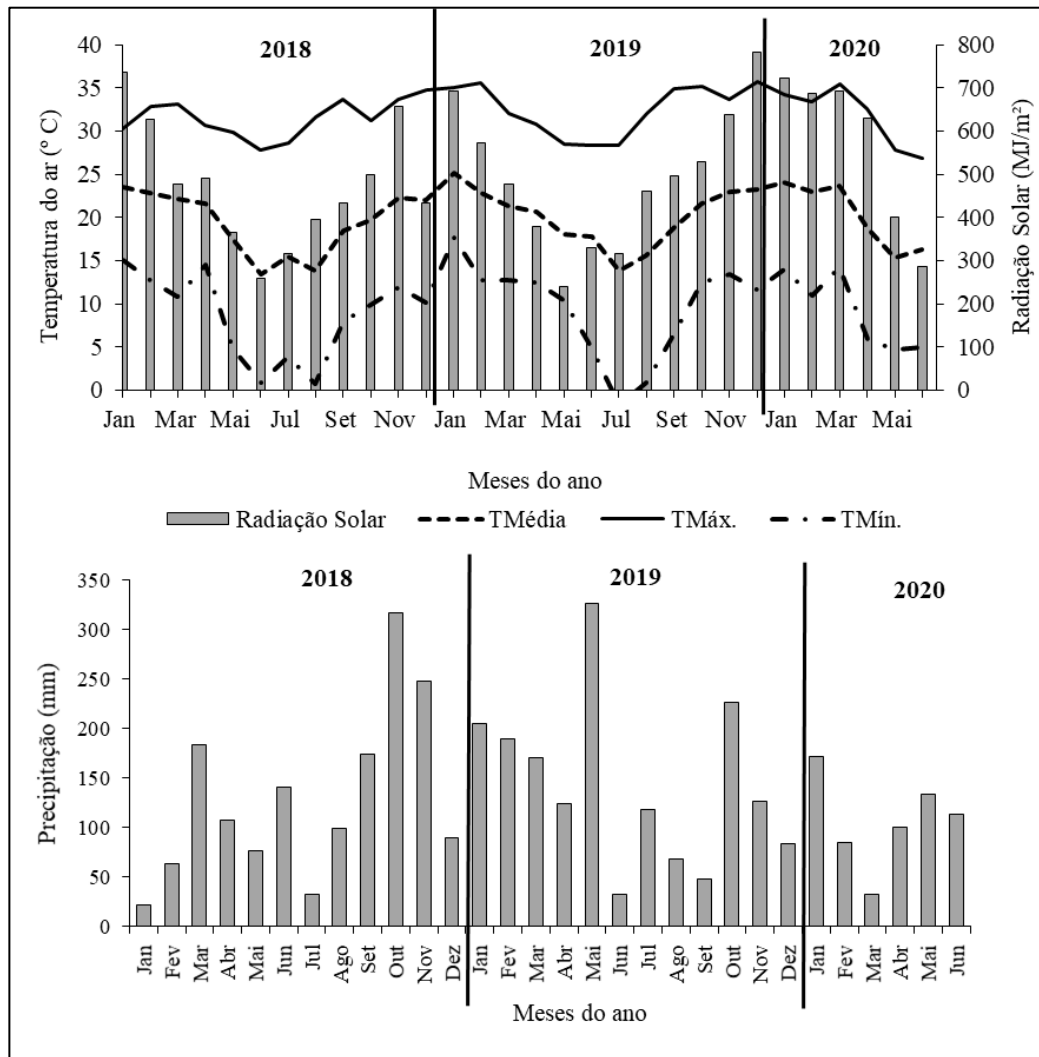
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi implantado em uma área pertencente a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Frederico Westphalen, sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude, no município de Frederico Westphalen, RS.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa. O experimento está distante de Iraí à aproximadamente 30 km, sendo o município tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de Maluf (2000) Iraí apresenta clima de tipo subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C. Na Figura 1 é possível observar a variação da temperatura média, mínima e máxima na estação meteorológica de Frederico Westphalen, situada a 500 metros do experimento, assim como a radiação global média mensal e a precipitação durante os dias de condução do experimento. O solo predominante na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho distrófico.

Figura 1 – Valores médios mensais de temperatura mínima, máxima e média, radiação solar incidente acumulada e precipitação acumulada durante o período experimental (28/01/2018 a 12/06/2020), onde TMédia = temperatura média, TMáx = temperatura máxima e TMín = temperatura mínima.



Fonte: Autora (2020).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi avaliado utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado. O arranjo experimental foi caracterizado por um bifatorial 6x2, ou seja, seis

períodos (0, 94, 226, 318, 460e 880 dias após a implantação do experimento e duas profundidades (0-20cm e 20-40cm) a partir no nível do solo, com 5 repetições.

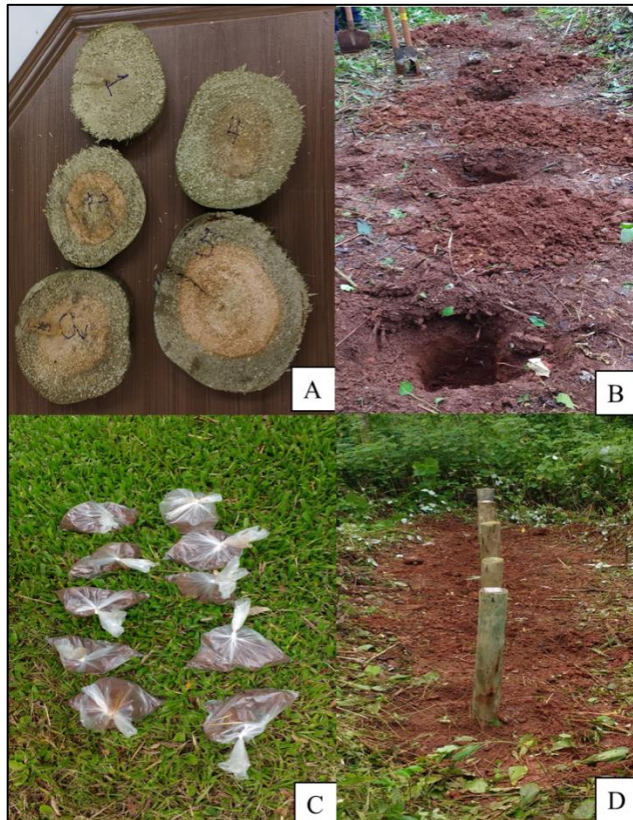
2.3 AMOSTRAGEM E AVALIAÇÕES

Foram implantados a campo, sob condições climáticas naturais, 5 moirões do gênero *Eucalyptus* com 1,5 metros de comprimento, e aproximadamente 20 centímetros de diâmetro, que foram enterrados no solo a uma profundidade de 40 centímetros.

Os moirões foram obtidos na empresa Machry Florestal®, localizada na cidade de Riqueza – SC, que realiza o tratamento e o beneficiamento de madeira de reflorestamento, a partir de métodos de vácuo-pressão utilizando como preservante o CCA.

Anterior à implantação do experimento foi retirado um disco de cada moirão para caracterizar os teores do preservativo na madeira (Figura 2a). Após, preparou-se o local da implantação do experimento com covas (Figura 2b), onde foram coletadas amostras de solo com trado holandês a fim de se obter uma análise de solo inicial do local, retirada no dia 28/01/2018 e denominada como período 1 (Figura 2c). Por fim, os moirões foram alocados, com 2 metros de distância entre si (Figura 2d).

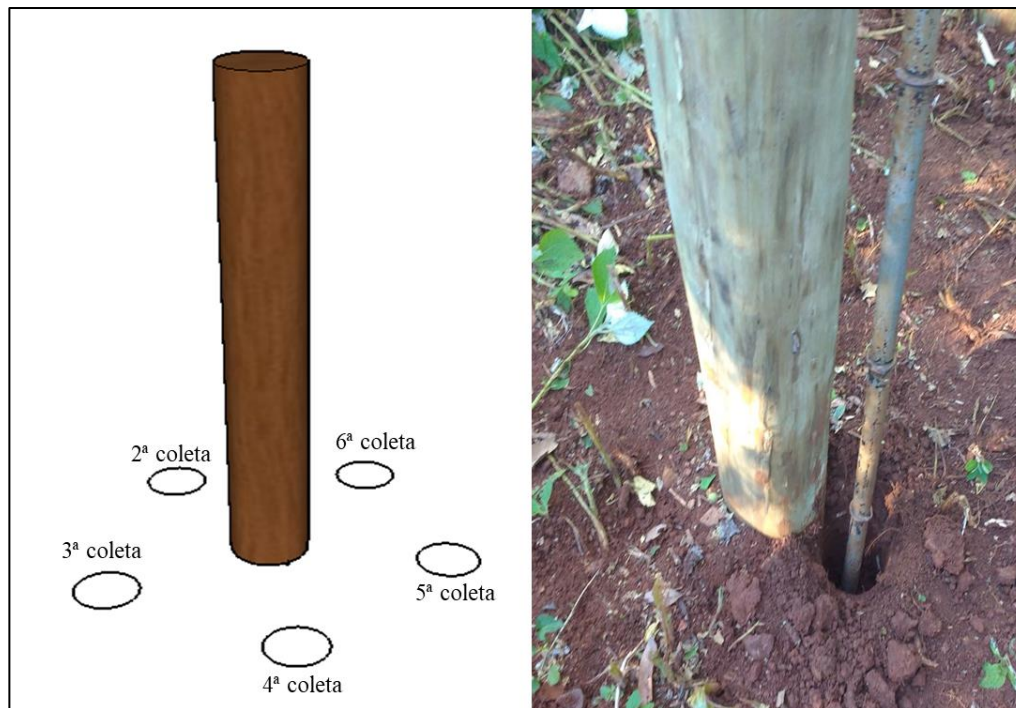
Figura 2—Imagens da instalação do experimento. (A) Discos de madeira dos moirões retirados para análise; (B) Preparação das covas; (C) Primeira coleta de solo na cova; (D) Moirões já instalados no campo.



Fonte: Autora, 2020.

As avaliações das amostras de solo a campo foram realizadas aos 94 (18-04-18), 226 (28-08-19), 318 (28-08-19), 460 (19-04-19), e 880 (12-06-2020) dias após a implantação do experimento que ficou no campo durante um período de 2,4 anos. A última coleta de solo fora retirada da cova quando retirados os moirões. As amostras foram retiradas a uma distância de 5 cm de cada moirão, nas diferentes profundidades. Abaixo pode-se observar a Figura 3, que foi elaborada com o intuito de demonstrar a metodologia e condução utilizada no experimento, e assim haver um melhor entendimento acerca do mesmo.

Figura 3 - Imagens do local de coleta das amostras de solo nos diferentes períodos avaliados (A); Coleta de solo da segunda avaliação (B).

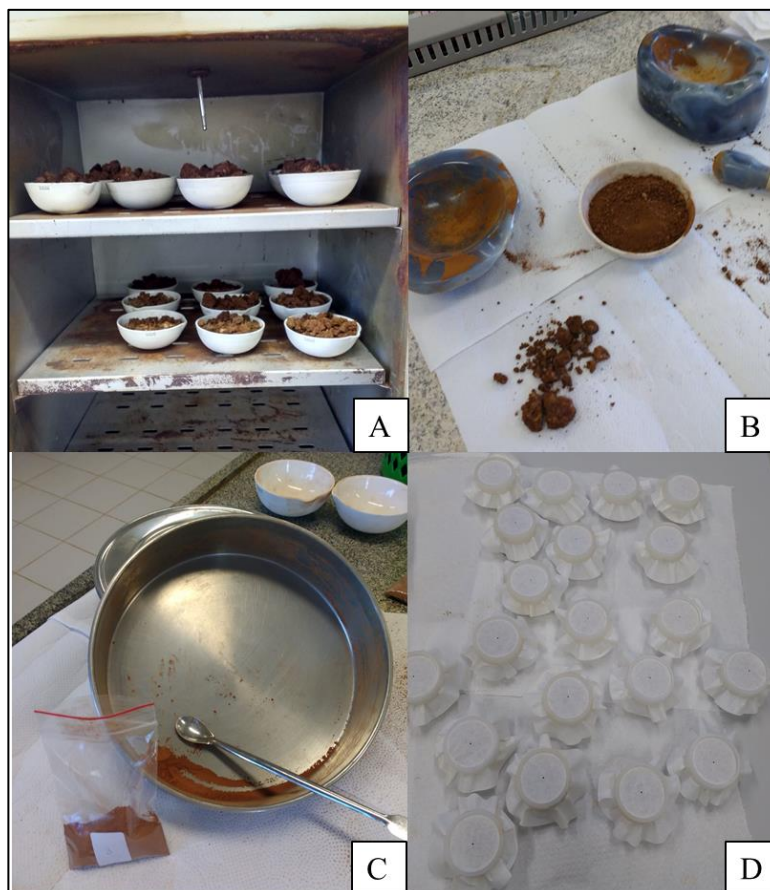


Fonte: Autora, 2020.

Após a finalização do experimento, no mesmo momento da última coleta de solo, foram retirados discos da parte inferior de cada moirão, com o objetivo de se analisar a presença dos preservantes após a finalização do experimento.

As amostras de solo e de madeira coletadas foram inicialmente acondicionadas em sacos plásticos e transferidas ao laboratório onde permaneceram secando ao ar livre. Posteriormente, uma parte das amostras foram acomodadas em cadinhos de porcelana e levados a estufa para secagem a aproximadamente 50°C (Figura 4a). Após secas, as amostras de madeira foram moídas em moinho de facas e as amostras de solo foram trituradas a partir de maceração em cadinhos a fim de que fosse reduzida a sua granulometria e homogeneizadas (Figura 4b), posteriormente foram peneiradas com peneira granulométrica com abertura de 53mm (Figura 4c) e preparadas para análise (Figura 4d).

Figura 4—Imagem da preparação das amostras para as avaliações. (A) secagem das amostras de madeira e solo; (B) Maceração do solo; (C) Acondicionamento o material macerado; e (D) Cadinhos prontos para a análise no Espectrômetro de Fluorescência de Raios X.



Fonte: Autora, 2020.

As amostras de madeira e solo foram analisadas de acordo com o método de espectrofotometria seguindo a norma NBR 16137 (ABNT, 2016) com equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, EDX-720 Shimadzu, para determinação de teores de Cobre, Cromo e Arsênio (Figura 5).

Figura 5 – Imagens do (A) Espectrofotômetro utilizado para determinação de teores dos elementos requeridos; (B) Aparelho pronto para análise, com as amostras posicionadas.



Fonte: Autora, 2020.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *Software “Statistical Analysis System”* (SAS, 2003), em que se determinou a análise de variância, teste F, análise de verificação da normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk e a heterocedasticidade pelo teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias, e o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS

A partir da análise de variância pode-se observar que houve diferença significativa tanto para solo quanto para a madeira, entre os períodos antes da instalação e depois da finalização do experimento, para os três metais presentes no preservativo da madeira analisado (Tabela 1).

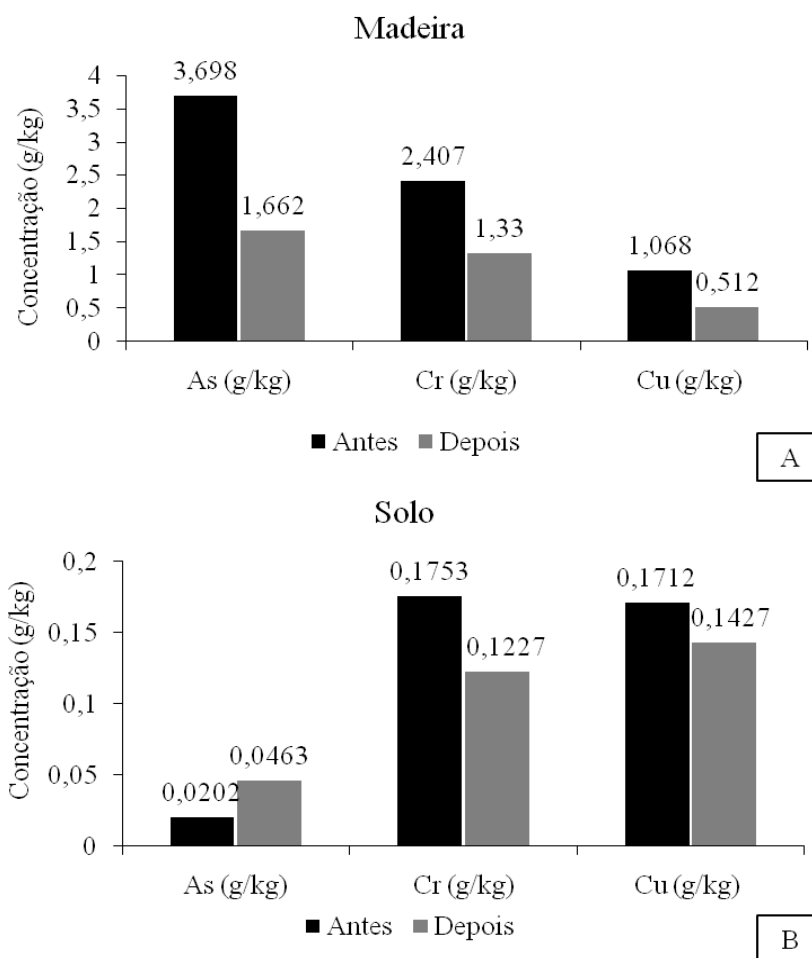
Tabela 1 – Análise de variância para os constituintes químicos preservativos da madeira e do solo para os períodos antes da instalação e depois de finalizado o experimento.

FE	GL	Quadrado Médio		
		As	Cr	Cu
Madeira				
Período	1	10,365*	2,899*	0,772*
Erro	8	1,071	0,411	0,087
R ²		0,55	0,47	0,53
CV (%)		38,6	34,3	37,3
Solo				
Período	1	0,0017*	0,0069*	0,0020*
Erro	8	0,00004	0,00004	0,00003
R ²		0,84	0,95	0,88
CV (%)		19,0	4,4	3,6

* = significativo a 5% de probabilidade.

Na Figura 6 pode-se observar a concentração dos metais do preservativo, durante os períodos antes e depois da instalação do experimento. Para a madeira, os três constituintes químicos apresentaram os maiores valores antes da instalação. Para o As, a quantidade variou de 3,698 a 1,662 g/kg, isso corresponde a uma redução 2,036 g/kg, ou seja, de 55,0%. Já para o Cr esta redução foi de 44,7% e para o Cu observou-se uma redução de 52,0%. Para o componente solo, observou-se que houve uma variação de 0,0202 a 0,0463 g/kg o que representou um aumento de 129,2% do valor inicial, que corresponde a 0,0261 g/kg do elemento As, e os elementos Cr e Cu apresentaram uma diminuição na concentração do solo, de 0,0526 g/kg e 0,0285 g/kg, respectivamente.

Figura 6 – Concentração dos elementos no material madeira (A) e solo (B), antes e depois da implantação do experimento.



Fonte: Autora, 2020.

A partir da análise de variância que foi realizada para avaliar a influência dos diferentes períodos e das diferentes profundidades nas concentrações dos constituintes químicos preservativos da madeira, pode-se observar que os seis períodos influenciaram de forma significativa. Já as profundidades não apresentaram esta característica. Para a interação período x profundidade relatou-se diferença somente para os constituintes Cr e Cu (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de variância para os constituintes químicos preservativos da madeira, nas diferentes profundidades e períodos de avaliação do experimento.

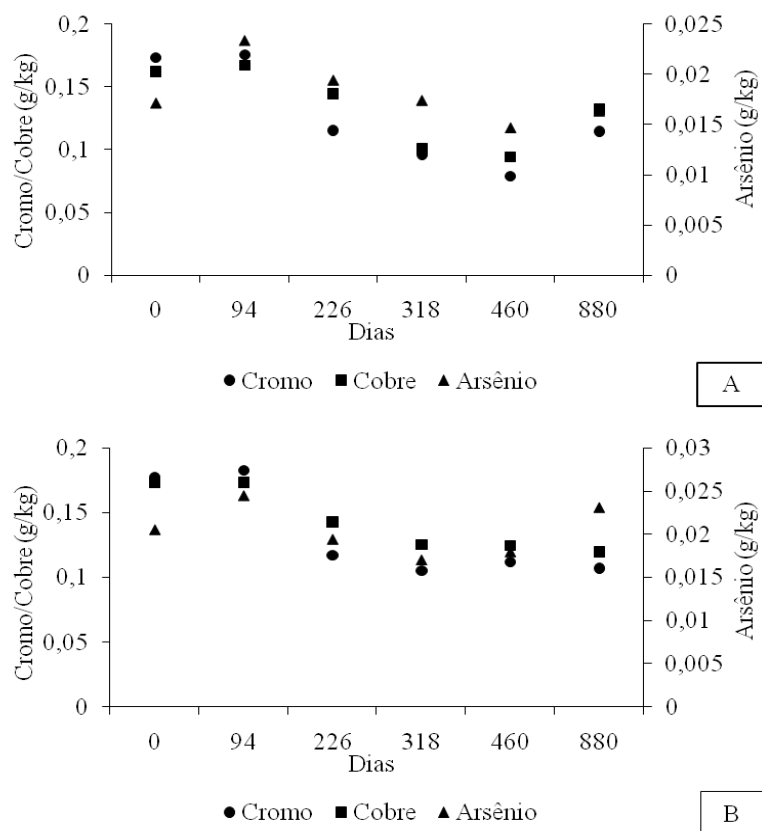
Fatos de estudo	Grau de liberdade	Quadrado Médio		
		As	Cr	Cu
		Solo		
Período (Per)	5	0,000063*	0,01086*	0,00461*
Profundidade (Prof)	1	0,000002 ^{ns}	0,00019 ^{ns}	0,00015 ^{ns}
Per x Prof	5	0,000009 ^{ns}	0,00021*	0,00012*
R ²		0,44	0,94	0,92
CV (%)		13,9	6,2	4,5

Em que: * = significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} = não significativo.

Para a melhor observação destes resultados, foi elaborada a Figura 7 em que se verifica graficamente a variação dos elementos químicos no solo ao longo dos seis períodos avaliados, nas diferentes profundidades. Pode-se observar que entre a primeira e a segunda avaliação na profundidade 0-20 cm, que corresponde aos períodos antes da instalação dos moirões e 94 dias após a instalação, respectivamente, houve um aumento na concentração dos elementos químicos no solo, em especial do As. Em contrapartida, a partir dos 94 dias até os 460 dias, ocorreu uma redução da concentração dos elementos, com um posterior aumento até a última avaliação aos 880 dias (Figura 7A).

Na profundidade 0-40 cm, podemos observar resultados semelhantes aos da profundidade 0-20 cm, visto que houve um aumento na concentração de todos os elementos químicos no solo até os 94 dias, em especial do As. Posterior a este período, houve uma diminuição até a última avaliação aos 880 dias, com exceção do constituinte As que na última avaliação entre os 460 e 880 dias apresentou um aumento da sua concentração no solo (Figura 7B).

Figura 7–Variação das médias para os constituintes químicos preservativos da madeira nas profundidades do solo 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B), nos diferentes períodos analisados.



Fonte: Autora, 2020.

4 DISCUSSÃO

A partir da análise do teste de médias que avaliou a concentração dos constituintes químicos dos preservativos durante os períodos antes da instalação e depois da finalização do experimento (Tabela 2), observou-se uma grande diminuição da concentração dos elementos químicos As, Cr e Cu na madeira. Resultados semelhantes de perda de produto na madeira por lixiviação também foram encontrados por Jankowsky e Takeshita (2011), após 30 anos de um campo de apodrecimento, o que ressalta o resultado de que o produto lixivia da madeira migrando para o solo. Nesse trabalho foi possível relatar que os teores de Ar, Cr e Cu no solo das proximidades das estacas revelou estar abaixo do valor de referência adotado pela Companhia de

Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), e se mantiveram praticamente iguais aos níveis encontrados no solo testemunha. O elemento As apresentou valores abaixo de 0,4 mg/kg em todos os pontos analisados, com exceção de apenas um que apresentou 2,2 mg/kg, mas que ainda assim esteve abaixo do valor de referência estabelecido pela Cetesb de 3,5 mg/kg.

Para as amostras de solo, apenas o elemento As mostrou-se em concentração mais alta. Tanto a avaliação inicial que foi realizada antes da instalação dos moirões, quanto para a final que foi realizada após a retirada dos moirões aos 880 dias, feita no solo na parte inferior dos moirões. Isso significa que existe uma grande lixiviação do preservativo da madeira no sentido longitudinal dos moirões, e que os constituintes químicos lixiviam da madeira pelo processo de capilaridade no sentido longitudinal. Magalhães, Mattos & Missio (2012) relataram em seu trabalho após ser observado que as concentrações de Cr e Cu diminuem com a profundidade do solo. Esses resultados sugerem que a lixiviação causada pela água da chuva escorrendo pela parte exposta dos postes da cerca é muito mais importante do que a água lixiviada abaixo da superfície do solo, apesar do alto teor de umidade no solo. Embora os lixiviados de íons metálicos atinjam o solo, eles acabam sendo retidos em maiores concentrações na superfície por apresentarem dificuldades de mobilidade em solos argilosos.

A concentração de As no solo apresentou um aumento de 0,0261g/kg, o que corresponde a 129,2% quando comparado a seu estado inicial antes da instalação do experimento, isso pode estar diretamente relacionado com a diminuição deste mesmo constituinte na madeira, o qual relatou-se uma diminuição da concentração de 2,036 g/kg, que corresponde a 45% quando exposto ao ambiente. Do mesmo modo, os resultados observados por Mercer e Frostick (2014) corroboraram com este trabalho, quando avaliada a contaminação do solo por preservativos de madeira CCA em condições climáticas naturais por cavacos de *Pinus* através do uso de lisímetros. Onde o solo apresentou um aumento significativo dos metais e uma diminuição dos constituintes químicos na madeira de 15,13, 17,76 e 13,40% para As, Cr, e Cu, respectivamente. Os mesmos autores ainda concluíram que à medida que os elementos são lixiviados da madeira, os mesmos acumulam-se na camada subjacente do solo, podendo contaminá-lo e ser absorvidos pelas plantas, afetando os microrganismos que ali habitam.

O mesmo pôde ser observado por Kallen; Gosselin & Zagury (2020) em que solos coletados perto de postes tratados com CCA em serviço apresentaram alta concentração de

metais potencialmente nocivos em todas as frações estudadas. As concentrações de metal aumentaram conforme menor foi o tamanho das partículas do solo.

Analisando a Figura 6B, podemos observar que apesar de o As ter apresentado um aumento em sua concentração no solo, o Cu e o Cr apresentaram diminuição na concentração, mesmo sabendo que esses lixiviaram da madeira. Em contrapartida, Usman et al. (2012) relatam em seus estudos que as concentrações de As presentes em um solo contaminado com CCA, eram inferiores ao dos outros elementos devido ao fato de que a maior parte do As original fica fixado na madeira ou então que devido à alta mobilidade desse elemento, ele pode ter migrado verticalmente e horizontalmente para solos vizinhos, pois sua mobilidade é muito maior do que a dos outros dois elementos estudados.

A Figura 7 demonstra graficamente a variação dos elementos no solo ao longo dos seis períodos avaliados, nas diferentes profundidades. Pode-se perceber que na primeira avaliação, realizada antes da instalação do experimento, os valores de Cr, Cu e As foram maiores do que na última avaliação, após o período de 880 dias. Isso pode ser explicado pelo fato de que após esse período houve a lixiviação dos elementos para camadas mais inferiores do solo.

Ressalta-se que o solo analisado ao longo do tempo foi retirado da lateral dos moirões, sendo que o moirão lixivia seus elementos químicos no sentido longitudinal, o que foi observado devido ao solo que se encontrava logo abaixo do moirão, apresentar com um valor elevado desses elementos. Assim como Usman et al., (2012) relatam em seus estudos que as concentrações de Cr, Cu e As foram respectivamente 8,1%, 50,7% e 195,8% maiores quando adjacentes aos moirões, do que em amostras de solo coletadas a 75 cm de distância dos mesmos. Da mesma forma, Macchioni; Pizzo & Capretti (2016) observaram em seu trabalho que o estado da preservação da madeira está relacionado a diferentes fatores, tais como: a posição em que a madeira se encontra, frisando que no sentido vertical há uma maior lixiviação dos elementos para o solo devido ao fluxo de seiva ser mais constante nesse sentido.

De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 420 de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009) o Valor de Investigação (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. Esta resolução delimita o VI para os constituintes As, Cu e Cr de 0,055g/kg, 0,400g/kg e 0,300g/kg, respectivamente.

Os valores encontrados no solo após a finalização do experimento, a 880 dias da implantação, para os constituintes As, Cu e Cr, foram de: 0,0463 g/kg, 0,1427 g/kg e 0,1227 g/kg, ou seja, todos os valores estão abaixo do VI delimitado pela resolução do CONAMA, não causando risco a saúde humana (Tabela 3).

Tabela 3 Comparação dos valores encontrados com os valores de investigação apresentados pelo CONAMA.

	Valor de Investigação conforme o CONAMA	Valores encontrados após 880 dias
As (g/kg)	0,055	0,0463
Cu (g/kg)	0,400	0,1427
Cr (g/kg)	0,300	0,1227

Dessa forma, recomenda-se o uso de moirões tratados com o preservativo da madeira CCA, pelo fato do mesmo não apresentar riscos potenciais à saúde humana e a biota do solo, podendo ser utilizado para aumentar a vida útil e, conseqüentemente, a durabilidade dos moirões de madeira.

5 CONCLUSÃO

Após a análise da contaminação do solo pelo preservativo da madeira CCA, pode-se concluir que:

Os constituintes químicos preservativos da madeira lixiviam da madeira para o solo. A concentração dos constituintes químicos preservativos da madeira é maior na parte do solo abaixo do moirão quando comparado com o solo nas laterais do moirão.

Os níveis de contaminação do solo por As, Cu e Cr não apresentam riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAZZA, R. et al. **Biorremediação de áreas contaminadas com cobre**. Revista de Ciências Agrárias, [S.L.], v. 2, n. 36, p. 127-136, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16137**: Ensaio não destrutivo - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica.. 2 ed. Rio de Janeiro. 2016. 5 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>> Acesso em: 26 de outubro de 2020.

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, São Paulo, v. 35, n. 9, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2019: ano base 2018. Brasília, p. 73, 2019.

JANKOWSKY, I. P.; TAKESHITA, S. **Comportamento de madeira de *Pinus* tratada com preservativos CCA e CCB após 30 anos de ensaio de campo**. Revista Referência, São Paulo, p. 82-88, 2011.

KALLEN, C. C. van der.; GOSSELIN, M.; ZAGURY, G. J. **Oral and bioaccessibility of metal (loid)s in chromated copper arsenate (CCA) –contaminated soils: Assessment of particle size influence**. Science of the Total Environment, Canadá, v. 734, 10p, 2020.

MACCHIONI, N.; PIZZO, B.; CAPRETTI, C. **An investigation into preservation of wood from Venice foundations**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 111, p. 652-661, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.144>.

MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L. **Field testing of CCA-treated Brazilian spotted gum**. International Biodeterioration & Biodegradation, [S.L.], v. 74, p. 124-128, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.024>.

MALUF, J.R.T. **Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.8, n.1, p.141-150, 2000.

MARCO, R.de et al. **Amenizante Orgânico e *Eucalyptus grandis* para Fitoestabilização de Solo Contaminado com Cobre**. Floresta e Ambiente. Seropédica, v. 24, e00029315, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872017000100122&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 23 jul. 2020. Epub 10-Abr-2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.029315>.

MERCER, T.G.; FROSTICK, L.E. **Evaluating the potential for environmental pollution from chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste: a new mass balance**

approach. Journal Of Hazardous Materials, Amsterdã, v. 276, p. 10-18, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.006>.

MOHAJERANI, A.; VAJNA, J.; ELLCOCK, R. **Chromated copper arsenate timber: a review of products, leachate studies and recycling.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 179, p. 292-307, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.111>.

RAHMAN, S. et al. **The ameliorative effects of exogenous inoculation of *Piriformospora indica* on molecular, biochemical and physiological parameters of *Artemisia annua* L. under arsenic stress condition.** Ecotoxicology and Environmental Safety, 206, 111202. 2020. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111202

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition.** Cary. p. 200, 2003.

SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. de. **Avaliação do tratamento sob pressão de postes de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com CCA-C.** Scientia Forestalis, Piracicaba - SP, v. 41, n. 100, p. 541-547, dez. 2013.

TAO, W.; SHI, S.; KROLL, C. N. **Influences of wood preservation, lumber size, and weather on field leaching of red pine lumber.** Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v. 260, p. 296-304, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.006>.

USMAN, A. R.A. et al. **Soil pollution assessment and identification of hyperaccumulating plants in chromated copper arsenate (CCA) contaminated sites, Korea.** Chemosphere, [S.L.], v. 87, n. 8, p. 872-878, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.01.028>.

VIDAL, J. M. et al. **PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS NO BRASIL: histórico, cenário atual e tendências.** Ciência Florestal, Santa Maria - RS, v. 25, n. 1, p. 257-271, jan./mar. 2015.