



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**MARIANA MATTOS DA SILVA**

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE AG NA  
PROTEÇÃO DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) CONTRA  
A AÇÃO DE ORGANISMOS XILÓFAGOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO.**

Prof. HENRIQUE TREVISAN  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
DEZEMBRO – 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**MARIANA MATTOS DA SILVA**

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE AG NA  
PROTEÇÃO DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) CONTRA  
A AÇÃO DE ORGANISMOS XILÓFAGOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. HENRIQUE TREVISAN  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
DEZEMBRO – 2020

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE AG NA  
PROTEÇÃO DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) CONTRA  
A AÇÃO DE ORGANISMOS XILÓFAGOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO.**

**MARIANA MATTOS DA SILVA**

APROVADA EM: 02/12/2020

BANCA EXAMINADORA:

---

HENRIQUE TREVISAN. Dr. UFRRJ  
Orientador

---

THIAGO SAMPAIO DE SOUZA. Me. UFRRJ  
Membro Titular

---

JOSÉ HENRIQUE CAMARGO PACE. Dr. UFRRJ  
Membro Titular

## RESUMO

Atualmente o setor madeireiro busca alternativas de produtos e processos que visam aumentar a resistência biológica da madeira, almejando, dessa forma, a otimização do uso desse material. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da incorporação de nanopartículas de Ag na madeira de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss.) provinda de dois clones distintos PB311 e MDF 180, submetidas à deterioração em campo de apodrecimento e sobre a inibição da ação de térmitas da espécie *Nasutitermes macrocephalus*. As amostras foram tratadas com nanopartículas de Ag sob três condições de tratamento para cada um dos clones: Sem tratamento (testemunha), vácuo inicial de 30 min com imersão de 6 horas e vácuo inicial de 1 hora com imersão de 6 horas. No ensaio referente ao campo de apodrecimento, observou-se que para as madeiras provindas do clone PB 311, as nanopartículas de prata tiveram efeito relevante na inibição do ataque de organismos xilófagos, visto que as madeiras tratadas com nanopartículas apresentaram-se menos deterioradas em relação às que não receberam nenhum tipo de tratamento. Para as madeiras do clone MDF180, não foi observado agregação de resistência à deterioração, quando tratadas com nanopartículas de Ag. No ensaio em que foi avaliada a ação dos térmitas, as madeiras provindas do clone PB311 também revelaram resultados relevantes, visto que as amostras impregnadas com nanopartículas apresentaram desgaste e perda de massa menores em comparação à testemunha. Por outro lado, esse resultado não foi observado nas amostras provindas do clone MDF 180. Conclui-se que as nanopartículas de Ag agregam resistência à ação de organismos xilófagos de forma eficiente na madeira de *H. brasiliensis* em função do clone desta árvore, sendo que a madeira do clone PB311 demonstra agregação de resistência efetiva e a madeira do clone MDF180 não. O tempo de vácuo, usado na impregnação das madeiras, não demonstra influência nos resultados.

**Palavras-chave:** Deterioração da madeira, preservação da madeira, campo de apodrecimento, *Nasutitermes macrocephalus*.

## ABSTRACT

Currently, the wood sector seeks alternatives for products and processes that aim to increase the biological resistance of wood, thus aiming at optimizing the use of this material. In this context, this work aimed to evaluate the effect of the incorporation of Ag nanoparticles in the wood of *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex Adr. de Juss.) from two different clones PB311 and MDF 180, submitted to deterioration in field test and on the inhibition of the action of termites of the species *Nasutitermes macrocephalus*. They were treated with Ag nanoparticles under three treatment conditions for each of the clones: Without treatment (control), initial vacuum of 30 min with immersion of 6 hours and initial vacuum of 1 hour with immersion of 6 hours. In the field test, it was observed that for the wood from clone PB 311, silver nanoparticles had a relevant effect in inhibiting the attack of xylophagous organisms, since wood treated with nanoparticles is less deteriorated in relation to those who did not receive any treatment. For the wood of MDF180 clone, no deterioration resistance was observed when treated with Ag nanoparticles. In the assay in which the termite action was evaluated, the wood from the PB311 clone also revealed relevant results, since those impregnated with nanoparticles showed less wear and weight loss compared to the control. On the other hand, this result was not observed in the wood of MDF 180 clone. It is concluded that the Ag nanoparticles add resistance to the action of xylophagous organisms efficiently in the wood of *H. brasiliensis* due to the clone of this tree, thus the wood of PB311 clone demonstrates effective resistance aggregation and the wood of MDF180 clone doesn't. The vacuum time, used in the wood impregnation, does not affect the results.

**Keywords:** Wood deterioration, wood preservation, field test, *Nasutitermes macrocephalus*

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 <i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex Adr. de Juss.).....	2
2.2 Deterioração da madeira .....	3
2.3 Preservação da Madeira .....	4
2.4 Emprego de Nanopartículas de Ag na preservação de madeiras. ....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 Obtenção da madeira de <i>H. brasiliensis</i> . ....	5
3.2 Incorporação das nanopartículas de Ag na madeira de <i>H. brasiliensis</i> .....	6
3.3 Efeito da impregnação da madeira de <i>H. brasiliensis</i> com nanopartículas de Ag sobre a inibição da deterioração em condições de campo.....	7
3.4 Efeito da impregnação da madeira de <i>H. brasiliensis</i> com nanopartículas de Ag sobre a inibição ação de <i>N. macrocephalus</i> em condições de campo. ....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	10
4.1 Efeito da impregnação da madeira de <i>H. brasiliensis</i> com nanopartículas de Ag sobre a inibição da deterioração em condições de campo.....	10
4.2 Efeito da impregnação da madeira de <i>H. brasiliensis</i> com nanopartículas de Ag sobre a inibição ação de <i>N. macrocephalus</i> em condições de campo. ....	12
5. CONCLUSÕES .....	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros que foram utilizados para incorporação das nano partículas de Ag na madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> provindas de dois clones distintos. ....	6
Tabela 2 - Critérios de classificação do nível de deterioração dos corpos-de-prova expostos aos processos de deterioração em campo de apodrecimento (LEPAGE, 1970). ....	7
Tabela 3 - Avaliação do desgaste provocado pelos térmitas nos corpos-de-prova (ASTM – 3345, 1994). ....	9
Tabela 4 - Índice de Deterioração Médio ( $\pm$ desvio padrão), máximo e mínimo de amostras de dois clones de seringueira, cuja madeira foi impregnada com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetida à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses. ....	10
Tabela 5 - Notas médias de desgaste ( $\pm$ desvio padrão), máximo e mínimo de amostras de dois clones de seringueira, cuja madeira foi impregnada com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetida à ação do térmita <i>Nasititermes macrocephalus</i> em condições de campo por 45 dias.....	13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corpos-de-prova de madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> impregnada com nanopartículas de Ag submetidos à deterioração em condições de campo de apodrecimento por 8 meses. ....	7
Figura 2. Exemplificação das notas atribuídas ao estado sanitário das amostras de madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> expostas em campo de apodrecimento.....	8
Figura 3 - Corpos-de-prova da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> impregnados com nanopartículas de Ag e expostos a ação de <i>Nasititermes macrocephalus</i> por 45 dias.....	9
Figura 4 - Exemplificação das notas atribuídas ao desgaste provocado por <i>Nasititermes macrocephalus</i> nos corpos-de-prova da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> . ....	10
Figura 5. Perda de massa percentual da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> , provinda de árvores de duas cultivares, cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses. ....	11
Figura 6. Amostras de madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> provinda de árvores de dois clones, impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses. ....	12
Figura 7. Perda de massa percentual da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> , provinda de árvores de dois clones, cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação do térmita <i>Nasititermes macrocephalus</i> em condições de campo por 45 dias. ....	13
Figura 8. Deterioração de madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> , provinda de árvores de duas cultivares, cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag por 1 hora e 30 minutos e submetidas à ação do térmita <i>Nasititermes macrocephalus</i> em condições de campo por 45 dias. ....	14

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico sujeito à ação da deterioração biótica e abiótica. Desta forma, se faz necessário utilizar produtos e processos que aumentem a resistência da madeira à deterioração quando se deseja otimizar o uso desse material, especialmente quando as características do ambiente favorecem à ação de agentes xilófagos, como constata-se no Brasil. Dentre os processos que promovem o aumento de resistência da madeira à deterioração, relacionam-se práticas em preservação de madeiras.

Essas práticas consistem em promover tratamentos na madeira onde são agregadas características que dificultam à ação de organismos xilófagos, buscando com isso aumentar significativamente sua resistência biológica (VIDAL et al., 2015). Dentre os tratamentos utilizados, destacam-se os que utilizam produtos químicos e os que modificam quimicamente a madeira. Entre os processos de modificação da madeira, o tratamento térmico está sendo adotado com essa finalidade, principalmente na Europa, no entanto em menor escala quando comparado aos processos que envolvem produtos químicos.

As técnicas de tratamento da madeira que utilizam produtos químicos são as mais difundidas. Destas, é relevante destacar a que utiliza o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), produto mais conhecido no setor de preservação de madeira, que no Brasil representa mais de 90% da madeira tratada quimicamente (VIDAL et al., 2015). Sendo assim, de acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no Brasil, até o presente momento, não há qualquer restrição para o uso comercial para preservação industrial de madeiras com CCA. No entanto, na América do Norte e Europa, devido a questionamentos sobre a segurança ambiental e de saúde humana, principalmente sobre o componente arsênio, a utilização deste produto passou a ser restringida a determinadas classes de exposição aos riscos biológicos, classes essas que não envolvem contato direto com o ser humano, como, por exemplo, o uso doméstico (LEPAGE et al., 2017).

Diante desse quadro, as investigações científicas promovidas pelos setores acadêmico e industrial de preservação de madeiras, objetivam desenvolver um produto que agregue resistência à deterioração na madeira, e que seja substituto ao CCA, principalmente para ser adotado nos locais em que o mesmo tenha sido banido (LEPAG; SALIS, 2015). No contexto dessas investigações, pode-se citar a possibilidade de utilizar a incorporação de nanopartículas de Ag (nano-Ag) em madeiras, como técnica a ser avaliada como promissora, ou não, para agregar resistência à deterioração nesse material. Sendo assim, a maioria dos trabalhos que consideraram a incorporação de nano-Ag em madeiras, relatam avanços nos processos de secagem desse material (PACE et al., 2017; PACE, 2016), bem como melhorias em propriedades mecânicas (AKHTARI et al., 2012).

No que se refere ao aumento da resistência de madeiras à deterioração, pela incorporação dessa nanopartícula, existem poucos trabalhos e, estes, realizados em condições somente de laboratório, e, versando, unicamente, avaliar a utilização desse nanoparticulado para inibir à ação de microrganismos, como observado nos trabalhos de Kunniger et al. (2014) para bactérias e no de Can et al. (2018) para fungos xilófagos. Na pesquisa de Can et al. (2018) os autores relatam, ainda, a necessidade de se realizar novos estudos que avaliem propriedades cupinicidas da incorporação de nanopartículas de Ag em diferentes madeiras.

Face ao exposto, e sabendo que a exploração da madeira de *Hevea brasiliensis* (seringueira) tem sido a alternativa mais importante quando a produção de látex se encerra (IAC, 2004), e que esta madeira possui baixa durabilidade (KILLMANN; HONG, 2000), o que prejudica seu aproveitamento, cabe considerar necessárias as pesquisas onde sejam avaliadas técnicas para aumentar a resistência à ação de organismos xilófagos desta madeira. Portanto, a incorporação de nanopartículas de Ag neste material é uma, entre essas técnicas, a ser avaliada com esse objetivo. Diante disso, o presente trabalho pretende avaliar a deterioração da madeira

de seringueira, provinda de dois clones distintos, tratada com nanopartículas de Ag em condições de campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.)

*Hevea brasiliensis* conhecida popularmente como seringueira, é uma espécie arbórea nativa do Brasil da família Euphorbiaceae, com ocorrência na região Amazônica, e que se desenvolve principalmente em várzeas, mas pode ocorrer em menor frequência em terra firme (LORENZI, 2014). Atinge de 20-30m de altura, com fuste de 30 a 60cm de diâmetro, sendo o látex o principal produto extraído de sua árvore (LEONELLO et al., 2012). A exploração do látex é realizada através da sangria, feita por meio de um corte no caule da árvore afim de atingir os vasos laticíferos da casca (CORREDATO; MALAVASI, C; MALAVASI, M., 2014). A sangria é uma operação de grande relevância pois pode influenciar a produção de látex e a vida útil do seringal (SOUZA, 2013). Este produto é a principal fonte de borracha natural (SA, 1991), utilizada para diversos fins como na produção de pneumáticos, luvas impermeáveis, artigos esportivos, adesivos, solados, na engenharia civil, entre outras utilizações; sendo a *H. brasiliensis* uma das maiores fontes produtoras de borracha vegetal (GONÇALVES; CARDOSO; ORTOLANI, 1990; ROJAS, 2010).

Em 2010 a área ocupada por seringais no mundo correspondia a mais de 11 milhões de ha, com previsão para atingir 14,8 milhões de ha em 2020 (STATISTA, 2011) Desses plantios, mais de 90% estão na Ásia, principalmente na Tailândia, Indonésia e Malásia (ZHAO, 2008). No Brasil, os plantios de seringueira mostram uma tendência expressiva de crescimento, os quais passaram de 81,312 há plantados em 2006 para 168,848 ha em 2012 (ABRAF 2008, 2013). O estado de São Paulo detém maior parte da produção no Brasil (60%) e apresentou uma área plantada de cerca de 131 mil hectares na safra 2017/2018, sendo este produto destinado principalmente para as indústrias de pneumáticos (IEA, 2019; MARTINEZ, 2006). De acordo com a revista de agronegócios da FGV (2014), a perspectiva para o aumento da produção era grande, devido ao aumento da demanda mundial pelo produto, evolução da indústria pneumática e escassez de terra e mão-de-obra nos países asiáticos.

A exploração de um seringal para a extração de látex começa quando o plantio atinge a idade de sete a oito anos (LEONELLO, 2011), e pode ser realizada durante décadas. Durães, Carvalho e Machado (1989) afirmam que, dependendo do material genético utilizado e utilizando o manejo adequado, o período de vida de um seringal pode chegar a 30 anos.

Após o período de sangria, as árvores são normalmente abatidas para a realização de um novo plantio e, apesar de potencial tecnológico para diversas aplicações, no Brasil, a madeira resultante desse processo é geralmente destinada para fins energéticos, como lenha e carvão (PALMA, 2010; LEONELLO, 2012). Porém, a madeira de *Hevea brasiliensis* pode ser utilizada para confecção de tabuado, forros, caixotaria (LORENZI, 2014), entre outros produtos, como constatou Müzel (2013) em seu estudo sobre a viabilidade da madeira para a elaboração de painéis de aglomerado e Faria et al. (2019) que em sua pesquisa verificou o potencial da madeira dessa espécie na produção de papel e celulose.

A madeira de seringueira possui coloração clara que varia de branco a creme e não possui distinção entre cerne e alburno (KILLMANN; HONG, 2000). Possui densidade 0,45g/cm<sup>3</sup>, sendo uma madeira leve e mole (LORENZI, 2014). Segundo Killmann e Hong (2000) a madeira de seringueira, apresenta boas características de trabalhabilidade e de usinagem, e em relação às propriedades mecânicas, é comparável às madeiras tradicionalmente utilizadas indústria moveleira, porém tem baixa durabilidade natural. Na madeira recém cortada há alto teor de carboidratos e carência de extrativos, o que torna tanto as toras quanto a madeira

serrada extremamente suscetíveis ao ataque de fungos e insetos (LIM; GAN; CHOO, 2003; KILLMANN, 2000).

Devido à gravidade do problema relacionado a deterioração da madeira de *Hevea brasiliensis*, torna-se necessário o tratamento da madeira recém cortada com o uso de preservativos (DAHLAN et al., 1994).

## 2.2 Deterioração da madeira

A madeira é um material utilizado pelo homem há milhares de anos, tendo sido fundamental para o desenvolvimento da civilização (CORDEIRO JÚNIOR; SILVA; SOARES, 2017). Devido à sua versatilidade e características únicas, seu emprego em larga escala para diversos fins pode ser constatado até os dias atuais (SILVA, 2002). Entretanto, quando utilizada sob certas condições, como o contato com o solo ou em locais húmidos, a madeira pode sofrer o processo de deterioração (MELO et al., 2010), o que pode limitar seu uso.

A deterioração da madeira pode ocorrer devido a ação de agentes físicos, químicos e biológicos. Dentre estes, entretanto, destacam-se os agentes biológicos (biodeterioradores) por causarem maiores danos e prejudicarem de forma mais intensa a utilização da madeira, dependendo da forma e local em que ela é utilizada (SGAI, 2000; STANGERLIN et al., 2013). Devido à sua composição química e estrutura anatômica, a madeira é suscetível ao ataque desses organismos que a utilizam não só como fonte de alimento mas como moradia e substrato para reprodução; nesse grupo encontram-se insetos, fungos, bactérias, algas e xilófagos marinhos (TREVISAN; MARQUES; CARVALHO, 2008; PAES; RAMOS; NASCIMENTO, 2008), sendo os fungos e os insetos merecedores de maior destaque, por serem responsáveis por promover maiores danos em produtos do mercado florestal (MENDES; ALVES, 1988).

De acordo com Stangerlin et al. (2013), os fungos deterioradores da madeira são basicamente classificados três grupos: manchadores, apodrecedores e emboloradores. Dentre eles, os apodrecedores são responsáveis pela perda de resistência do material e são os maiores causadores de danos em produtos constituídos de madeira (STANGERLIN et al., 2013; SOUZA; DEMENIGHI, 2017). Eles são capazes de degradar a parede celular e provocar alterações profundas nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (BARILLARI, 2002; CALONEGO, 2009).

Do grupo dos insetos xilófagos, as principais ordens que atacam a madeira são Blattodea (cupins), Coleoptera (brocas) e Hymenoptera (vespas e formigas), e dentre esses, os cupins são considerados os mais relevantes causadores de danos (CASTRO; GUIMARÃES, 2018). Os cupins são insetos sociais que vivem em colônias e se dividem em castas, podem ser divididos entre cupins subterrâneos e de madeira seca (TREVISAN; MARQUES; CARVALHO, 2008). Estes insetos consomem a madeira, se alimentando da celulose que é disponibilizada nutricionalmente com auxílio de microrganismos como protozoários, bactérias e/ou fungos alojados em seu trato digestivo (CORREIA; AGUIAR-MENEZES; AQUINO, 2008)

Os cupins do gênero *Nasutitermes*, pertencentes à família Termitidae, merecem destaque, visto que possuem ampla distribuição geográfica, com elevada riqueza de espécies (STALLBAUN et al., 2017). Apresentam dominância em abrangência e diversidade, compreendendo 54% de todas as espécies de cupins na América do Sul (CONSTANTINO, 2002). Habitam em ninhos protegidos, separados da fonte de alimento (SOUZA, DEMENIGHI, 2017), e em sua maioria apresentam hábito arborícola, sendo seus ninhos construídos sobre ou dentro de árvores (SANTOS, T., 2008). Atacam principalmente o alburno da madeira e, quando esse tipo de lenho se torna escasso, atacam também o cerne (LIMA et al., 2017) Dentre as espécies de cupins, pode-se citar *Nasutitermes macrocephalus* (Termitidae), que mostra preferência por madeiras de baixa densidade (BUSTAMANTE, 1998).

O processo resultante do ataque de organismos xilófagos é uma fase relevante e fundamental para o ciclo natural de nutrientes (JANKOWSKY, 1990). Contudo, por razões

econômicas, o ser humano retarda esse processo utilizando métodos que prolongam a vida útil da madeira e assim, aumentam sua viabilidade de uso (CASTRO; GUIMARÃES, 2018).

No contexto da deterioração, a durabilidade natural da madeira é a capacidade que a madeira tem de resistir à ação dos agentes deterioradores (GOMES; FERREIRA 2002). Essa resistência à deterioração está relacionada com a presença substâncias na madeira que dificultam a ação dos organismos xilófagos, como como taninos e outras substâncias fenólicas complexas (PAES et al., 2016). Quando se trata de países tropicais, como o Brasil, a durabilidade natural da madeira e sua preservação são dois fatores relevantes a serem considerados quando se pretende utilizar a madeira (MENDES; ALVES,1988), visto que a biodegradação restringe a aplicabilidade da madeira em seus diversos usos (NAIR et al., 2017). Todavia, ainda que seja suscetível à deterioração, a madeira é um material durável quando utilizada com tecnologia adequada, que a preserve desse processo (CALIL JÚNIOR; DIAS, 1997). Portanto, é economicamente possível proteger a madeira de danos relacionados ao ataque biológico e suprir a demanda por madeiras duráveis (GALVÃO; MAGALHÃES; MATTOS, 2004).

### **2.3 Preservação da madeira**

Existem diversas formas de retardar a ação dos organismos xilófagos e melhorar a resistência da madeira ao ataque desses agentes deterioradores, sendo o método mais amplamente utilizado o tratamento da madeira por meio do uso de preservativos (SGAI, 2000). Preservativos da madeira são produtos químicos que são impregnados em sua estrutura anatômica afim de deixá-la tóxica aos organismos xilófagos (GALVÃO; MAGALHÃES; MATTOS, 2004). Existem diversos métodos de preservação da madeira, sendo que a escolha do tratamento mais adequado depende da espécie, utilização e quantidade de madeira (RAVASI, 2011).

De acordo com Findlay (2013), para que um preservativo seja considerado eficiente, ele precisa ter algumas características como: ser altamente tóxico aos organismos xilófagos, permanecer aderido na madeira tratada, ser capaz de penetrar profundamente a madeira, não ser danoso à madeira, não ser corrosivo a metais e não ser danoso para aqueles que manuseiam a madeira tratada.

Dentre os tratamentos químicos destaca-se o uso do CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), preservativo hidrossolúvel à base de Arsênio, Cobre e Cromo, que devido à sua eficiência, é o preservativo mais utilizado no mundo (GEISSE, 2006). São normalmente impregnados através de processo de vácuo-pressão, e quando aplicado na madeira, seus componentes sofrem uma reação de fixação e tornam-se insolúveis, formando compostos que protegem a madeira da ação de organismos xilófagos (SANTOS, H., 2010; FERRARINI, 2012).

A madeira preservada com CCA, quando processada corretamente de acordo com parâmetros técnicos é considerada limpa e segura para aplicação em diversos fins, porém, devido à presença de arsênio e cromo na composição do preservativo, há certa discussão em relação ao seu uso devido à toxidez desses componentes (SILVA, 2006), que geram resíduos no final da vida útil da madeira (FERREIRA, 2015). Ferrarini et. al, 2012, em seu trabalho sobre resíduos de madeira tratada com preservativos à base de CCA concluíram, por meio de ensaios de lixiviação, que esses resíduos podem ser classificados como classe I – perigosos, sendo assim, seu descarte deve ser realizado de forma responsável.

No Brasil, o CCA é amplamente utilizado e não há restrições em relação ao seu uso (VALLE et al., 2013). Em 2018, no Brasil, foram consumidos 1,4 milhões m<sup>3</sup> de madeira tratada para uso industrial (IBÁ, 2018) e segundo Silva (2006), o CCA é o preservativo utilizado na maioria da madeira tratada consumida no Brasil. No entanto, em alguns lugares, o uso desse produto segue legislações rigorosas, como é o caso de países como Japão, Indonésia, Suécia e

Alemanha onde há restrição parcial ou total de seu uso, e nos Estados Unidos, onde o uso doméstico é proibido (CSIRO, 2011).

Devido às características de eficiência e segurança exigidas, levam-se anos para introduzir um novo preservativo de madeira no mercado (LEBOW, 2004). Assim, estudos relacionados ao desenvolvimento de novos produtos preservantes que tenham bons parâmetros, são cada vez mais urgentes para suprir o crescimento na demanda por madeira tratada.

## **2.4 Emprego de Nanopartículas de Ag na preservação de madeiras.**

Nanopartículas são definidas como partículas sólidas ou de dispersão com tamanho na faixa de 1-100nm, sendo seu tamanho pequeno considerado uma vantagem por possuir uma maior área de superfície, o que aumenta a reação e efetividade quando utilizada (NAIR et al., 2017). Devido às suas propriedades físicas e químicas, as nanopartículas têm sido usadas na criação de novos produtos e em diversas aplicações na ciência e biotecnologia (GOMES-FILHO et al., 2010). No geral, os nanocompostos penetram a madeira mais facilmente, ao mesmo tempo em que são menos lixiviáveis e proporcionam maior resistência a agentes biológicos (CAN et al., 2019).

Bak e Németh (2018), em seus estudos com nanopartículas de Ag, concluíram que esses metais apresentaram notável resistência à lixiviação, o que favorece a possibilidade do uso desses metais como preservantes de madeira.

As nanopartículas de Ag possuem eficácia na inibição de bactérias e fungos (CARLSON et al., 2008). Lok et al. (2006) apontam resultados sobre a ação de nanopartículas de prata no rompimento de componentes da membrana celular da bactéria *Escherichia coli*, o que representa um possível mecanismo de ação desses metais em bactérias, além disso, concluem que nanopartículas de Ag aparentam ser mais eficientes que íons de prata em relação às suas propriedades antimicrobianas. Guggenbichler (1999) afirma ainda que a prata pode penetrar as células bacterianas e causar danos ao envelope celular.

Moya et al. (2014) em seu estudo sobre o efeito desses metais na madeira de três espécies tropicais, concluíram que para essas espécies, as nanopartículas de prata contribuíram para o aumento a resistência da madeira ao fungo *Trametes versicolor* (Polyporaceae). Casado-Sanz et al. (2019) também constatou sobre a efetividade do tratamento da madeira de *Populus* spp com nanopartículas de prata contra este mesmo fungo, mesmo em baixas concentrações do metal.

As nanopartículas de Ag também possuem propriedades cupinícidas: o sistema digestório dos cupins contém microrganismos que auxiliam na quebra da celulose em carboidratos que sejam mais fáceis de serem metabolizados e assim obter energia necessária para seu desenvolvimento, assim, devido às propriedades antimicrobianas da prata, este componente tem o potencial de eliminar esses organismos do intestino dos cupins, interrompendo seu ciclo digestivo e resultando na morte do inseto (DOURAU et al., 2004).

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Obtenção da madeira de *H. brasiliensis*.**

A madeira de *H. brasiliensis* foi fornecida pela fábrica Michelin, localizada em Igrapiúna – BA, provinda de dois clones distintos: o clone PB311, que visa a produção de látex (clone de origem asiática) e outro clone denominado MDF180, visando a resistência ao fungo *Microcyclus ulei* (Dothideaceae). Em ambas procedências, as árvores tinham 20 anos de idade no momento do abate.

Para a confecção dos corpos-de-prova, que foram utilizados nos ensaios de laboratório e campo, as toras foram desdobradas em uma serra de fita horizontal e em seguida

transformadas em amostras de dimensões 2 cm x 2 cm x 10 cm (largura x espessura x comprimento).

### 3.2 Incorporação das nanopartículas de Ag na madeira de *H. brasiliensis*

As amostras descritas no item 3.1 foram tratadas com as nano partículas de Ag, conforme os parâmetros expressos na tabela 01.

Tabela 1. Parâmetros que foram utilizados para incorporação das nano partículas de Ag na madeira de *Hevea brasiliensis* providas de dois clones distintos.

Clone	Condição de tratamento	Nomenclatura
PB311	Sem tratamento	Testemunha
	Vácuo inicial de 30 minutos com imersão de 6 horas	30 minutos
	Vácuo inicial de 1 hora com imersão de 6 horas	1 hora
MDF180	Sem tratamento	Testemunha
	Vácuo inicial de 30 minutos com imersão de 6 horas	30 minutos
	Vácuo inicial de 1 hora com imersão de 6 horas	1 hora

A solução contendo os nanoparticulados de Ag foi fornecida pela empresa KHEMIA nanopartículas LTDA. Para o preparo da solução impregnante, foram preparados 10 litros de solução de nanopartículas de prata com concentração comercial de 22 ppm.

A impregnação ocorreu através do método de imersão, com o auxílio de uma cuba acrílica, com dimensões de 45 cm x 50 cm x 40 cm (largura x espessura x comprimento,). A imersão da madeira na solução de água destilada com as nanopartículas de prata ocorreu após aplicação de um vácuo inicial de 750 mmHg, por 30 minutos ou por 1 hora, conforme o tratamento. Para organização das amostras na cuba, foi utilizado um suporte para prendê-las na parte inferior da câmara, garantindo que todas fiquem submersas pela solução.

Os metais nanoparticulados que foram utilizados neste experimento tem 5 a 20nm de dimensão, apresentando, segundo dados comerciais, excepcional estabilidade e pureza, pois não contem surfactantes, evitando, desta forma, a formação de precipitados.

Após a impregnação via pressão, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa com temperatura a 65°C onde a perda de massa de água foi monitorada por pesagens subsequentes. O acompanhamento ocorreu em um intervalo de 15 em 15 minutos, até as amostras atingirem 12% de umidade.

Após esse processo, as amostras forneceram material para confeccionar os corpos de provas que foram utilizados nas avaliações em duas condições de campo.

### 3.3 Efeito da impregnação da madeira de *H. brasiliensis* com nanopartículas de Ag sobre a inibição da deterioração em condições de campo de apodrecimento.

As avaliações de campo seguiram metodologia proposta por Lepage (1970), conforme os critérios descritos na tabela 02.

Tabela 2. Critérios de classificação do nível de deterioração dos corpos-de-prova expostos aos processos de deterioração em campo de apodrecimento (LEPAGE, 1970).

Estado de sanidade	Índice de deterioração
Sadio, nenhum ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos ou térmitas	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos ou térmitas	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	40
Quebra, perda quase total de resistência	0

Nesta fase do experimento, 60 amostras da madeira de *H. brasiliensis* medindo 2,0 x 2,0 x 7,5 cm, sendo 10 de cada condição de tratamento, conforme expresso na tabela 01, foram dispostas em campo de apodrecimento, adotando-se blocos casualizados como delineamento experimental.

As amostras foram enterradas até metade de sua extensão, permanecendo nesta condição por oito meses de exposição aos processos de deterioração (Figura 1).



Figura 1. Corpos-de-prova de madeira de *Hevea brasiliensis* impregnada com nanopartículas de Ag submetidos à deterioração em condições de campo de apodrecimento por 8 meses.

Mensalmente foram realizadas inspeções para registrar a colonização por térmitas, que se evidencia pela construção de túneis ao longo da extensão da amostra. Ao final dos oito meses de exposição no campo de apodrecimento, as amostras foram transportadas para o laboratório onde foram limpas e realizada a caracterização do estado de deterioração, utilizando os critérios expressos na Tabela 02 e exemplificado na figura 2.

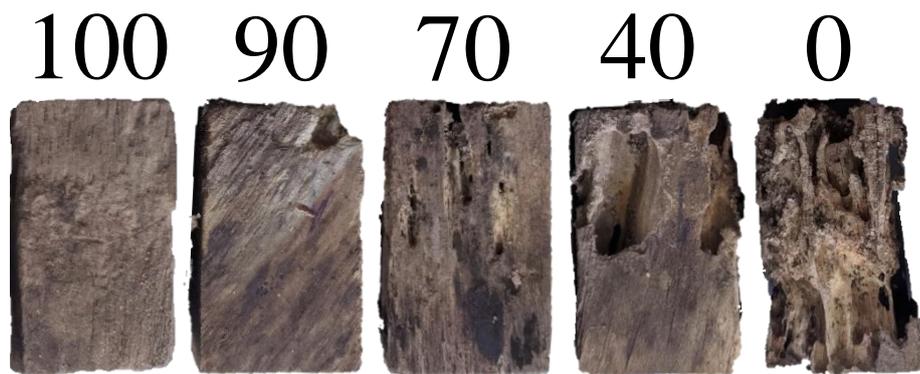


Figura 2. Exemplificação das notas atribuídas ao estado sanitário das amostras de madeira de *Hevea brasiliensis* expostas em campo de apodrecimento.

As amostras foram novamente acondicionadas à 20°C e 65% UR até atingirem massa constante, nesta condição a massa de cada amostra foi mensurada. O valor registrado nesta condição foi comparado com o registrado antes da exposição em campo de apodrecimento, possibilitando, desta forma, calcular a perda de massa em função da deterioração

#### **3.4 Efeito da impregnação da madeira de *H. brasiliensis* com nanopartículas de Ag sobre a inibição ação de *N. macrocephalus* em condições de campo.**

O procedimento adotado neste ensaio consistiu na inserção das amostras de madeira de *H. brasiliensis* em um ninho de cupins arborícolas da espécie *N. macrocephalus* (Figura 3), localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, campus Seropédica, onde ficaram suscetíveis ao ataque dos térmitas pelo período de 45 dias.

Esta metodologia foi utilizada afim de se proporcionar um ensaio que represente condições ecológicas idênticas a uma ocorrência natural desses insetos, e, portanto, resulte em resultados que expressam a ação natural desses insetos sobre a madeira.



Figura 3. Corpos-de-prova da madeira de *Hevea. brasiliensis* impregnados com nanopartículas de Ag e expostos a ação de *Nasutitermes macrocephalus* por 45 dias.

Neste delineamento foram utilizados 36 corpos-de-prova, medindo 2,54x0,64x2,54 cm, sendo 6 para cada condição de tratamento, expressos na tabela 01.

Para avaliação do experimento, no que tange a resistência dos corpos-de-prova tratados com nanopartículas de prata, foi analisada a perda de massa, tomando-se como base a massa à 12 % de umidade tomada antes e após o ensaio. O desgaste das amostras também foi avaliado (Tabela 3)

Tabela 3. Avaliação do desgaste provocado pelos térmitas nos corpos-de-prova (ASTM – 3345, 1994).

<b>Tipos de desgaste</b>	<b>Nota</b>
Sadio, permitindo escarificações superficiais.	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração.	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos-de-prova.	0



Figura 4. Exemplificação das notas atribuídas ao desgaste provocado por *Nasutitermes macrocephalus* nos corpos-de-prova da madeira de *Hevea brasiliensis*.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 Efeito da impregnação da madeira de *H. brasiliensis* com nanopartículas de Ag sobre a inibição da deterioração em condições de campo.

Em relação ao ensaio do campo de apodrecimento, a análise visual das amostras, realizada através da metodologia proposta por Lepage (1970), mostrou que para a madeira provinda de cultivares do clone PB 311, a impregnação de nanopartículas de Ag demonstrou inibir a ação dos organismos xilófagos em condições de campo, uma vez que a madeira sem tratamento apresentou índice de deterioração que denota maior deterioração em relação as amostras impregnadas com as nanopartículas (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de Deterioração Médio ( $\pm$  desvio padrão), máximo e mínimo de amostras de dois clones de seringueira, cuja madeira foi impregnada com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetida à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses.

Clone	Tratamento	Índice de Deterioração (ID)	ID	
			Máximo	Mínimo
PB311	1 hora	60 $\pm$ 18	90	40
	30 minutos	61 $\pm$ 27	90	0
	Testemunha	49 $\pm$ 31	90	0
MDF180	Testemunha	61 $\pm$ 27	90	0
	30 minutos	58 $\pm$ 31	90	0
	1 hora	67 $\pm$ 21	90	40

Esses resultados corroboram com as considerações de Marzi (2005), onde afirma que a madeira pode ser atacada por uma variedade de insetos, fungos e outros organismos e que essa ação pode ser combatida usando formulações baseadas em nanopartículas de prata.

Ainda observou-se que a madeira cujo tratamento foi realizado pela impregnação das nanopartículas após vácuo inicial de 1 hora, apresentou índice de deterioração semelhante ao observado nas amostras tratadas com 30 minutos de vácuo inicial (Tabela 4). Esse registro evidencia que o tempo de vácuo utilizado no tratamento não afetou de forma evidente a deterioração das amostras. Por outro lado, vale destacar que no tratamento no qual houve a impregnação das nanopartículas após vácuo inicial por 1 hora, não se registrou a presença de amostras totalmente decompostas, ou seja, com índice de deterioração 0 (Tabela 4).

Ainda em relação à madeira deste clone, é possível observar que as madeiras impregnadas com o nanoparticulado apresentaram perda de massa inferior quando comparadas às amostras do grupo testemunha (Figura 5).

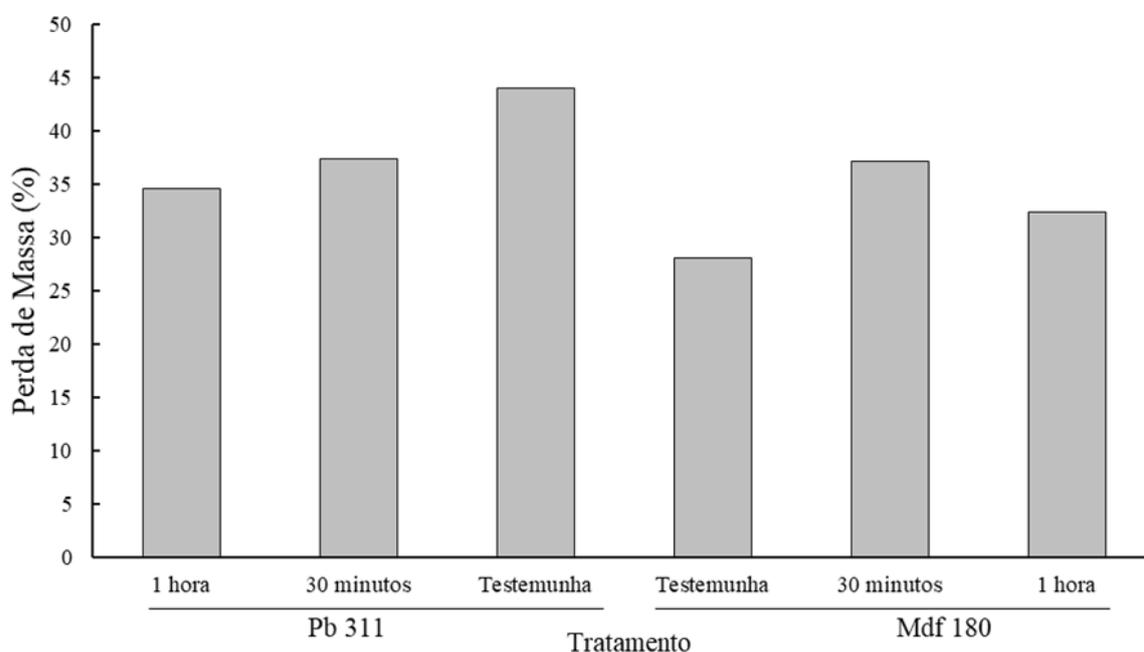


Figura 5. Perda de massa percentual da madeira de *Hevea brasiliensis*, provida de árvores de duas cultivares, cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses.

Devido à sua suscetibilidade a organismos xilófagos, a madeira de *H. brasiliensis* precisa ser tratada com produtos que aumentem sua resistência frente a ação desses organismos (DAHLAN et al., 1994). Assim, os resultados obtidos neste trabalho apontam que o uso dessas nanopartículas contra a ação dos organismos xilófagos em condições de campo apresenta potencial a esse propósito, ratificando estudos relacionados ao uso desse metal na inibição da ação de bactérias e fungos xilófagos. Shrivastava et al. (2007) avaliaram os efeitos antibacterianos das nanopartículas de prata e concluíram um alto potencial antibactericida desses metais, as quais atuaram principalmente na parede celular das bactérias. Moya et al. (2014) e Casado-Sanz et al. (2019) constataram a eficiência das nanopartículas de prata na resistência da madeira contra o fungo xilófago *T. versicolor*. Taghiyari et al. (2014) evidenciou que esses metais causam inibição significativa no crescimento de hifas desde fungo.

Em relação à madeira provida do clone MDF 180, o tratamento com impregnação após vácuo inicial de 1 hora apresentaram melhores condições de sanidade na avaliação feita através do Índice de Deterioração em comparação com os outros tratamentos, porém as madeiras do

tratamento com vácuo inicial de 30 minutos apresentaram estado de sanidade inferior ao tratamento sem a impregnação das nanopartículas (Tabela 4). Além disso, as amostras da madeira provinda de cultivares deste clone que não foram submetidas à impregnação de nanopartículas de prata apresentaram perda de massa menor quando comparadas aos tratamentos com o uso das nanopartículas. Esses resultados indicam que, para madeiras provindas do clone MDF 180, a impregnação do preservativo não agregou resistência a ação dos organismos xilófagos.

A deterioração causada por esses organismos na madeira de *H. brasiliensis*, provinda dos clones PB311 e MDF180, é evidenciada na figura 6, na qual foram constatados sinais visíveis da ação de fungos machadores e insetos, sendo este último mais evidente.

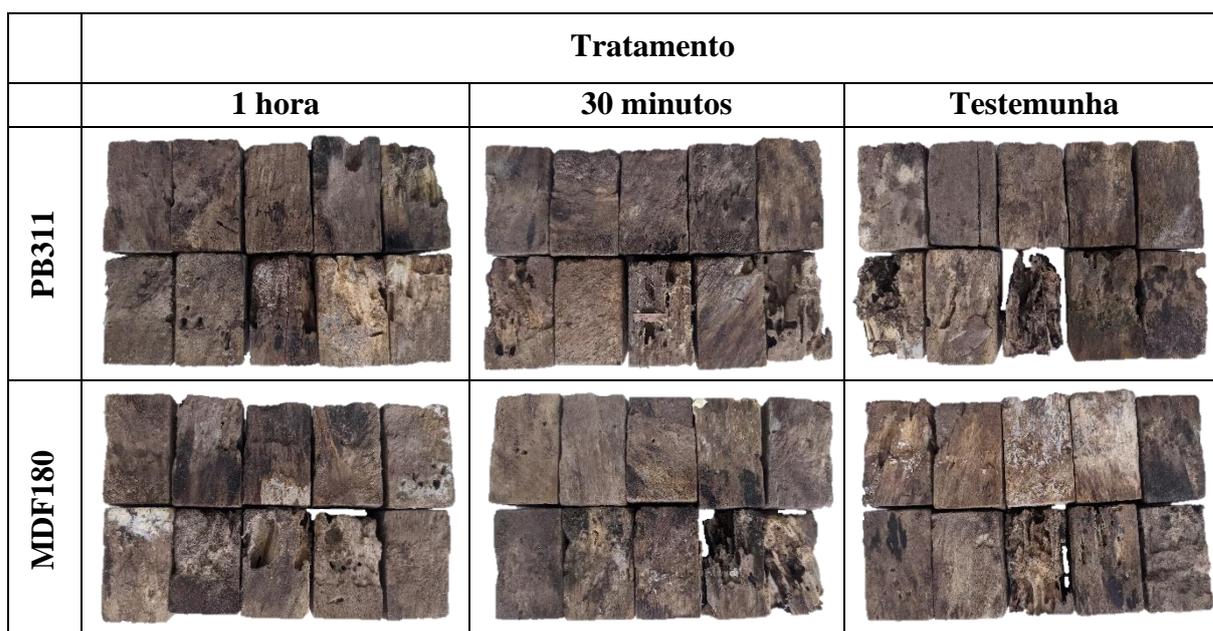


Figura 6. Amostras de madeira de *Hevea brasiliensis* provinda de árvores de dois clones, impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação de organismos xilófagos no campo de apodrecimento por 8 meses.

#### 4.2 Efeito da impregnação da madeira de *H. brasiliensis* com nanopartículas de Ag sobre a inibição ação de *N. macrocephalus* em condições de campo.

Neste ensaio, as madeiras do clone PB 311 apresentaram variação de desgaste entre os tratamentos, sendo as madeiras do tratamento testemunha as que apresentaram notas de desgaste que evidenciam maior suscetibilidade à ação de *N. macrocephalus*, enquanto as amostras impregnadas após vácuo inicial de 1 hora apresentaram notas que sinalizam maior resistência à ação desse térmita (Tabela 5).

Tabela 5. Notas médias de desgaste ( $\pm$  desvio padrão), máximo e mínimo de amostras de dois clones de seringueira, cuja madeira foi impregnada com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetida à ação do térmita *Nasutitermes macrocephalus* em condições de campo por 45 dias.

Clone	Tratamento	Notas de desgaste	Nota	
			Máximo	Mínimo
PB311	1 hora	8,00 $\pm$ 1,10	9	7
	30 minutos	7,67 $\pm$ 1,03	9	7
	Testemunha	6,50 $\pm$ 1,22	7	4
MDF180	Testemunha	8,83 $\pm$ 1,47	10	7
	30 minutos	9,17 $\pm$ 0,41	10	9
	1 hora	8,83 $\pm$ 0,98	10	7

A ação mais evidente de *N. macrocephalus* nas amostras do clone PB311 são ratificadas pelos dados registrados para perda de massa. Constatou-se que a perda de massa foi significativamente superior no tratamento testemunha, ao mesmo tempo em que as madeiras submetidas ao tratamento com impregnação das nanopartículas apresentaram menor perda de massa (Figura 7).

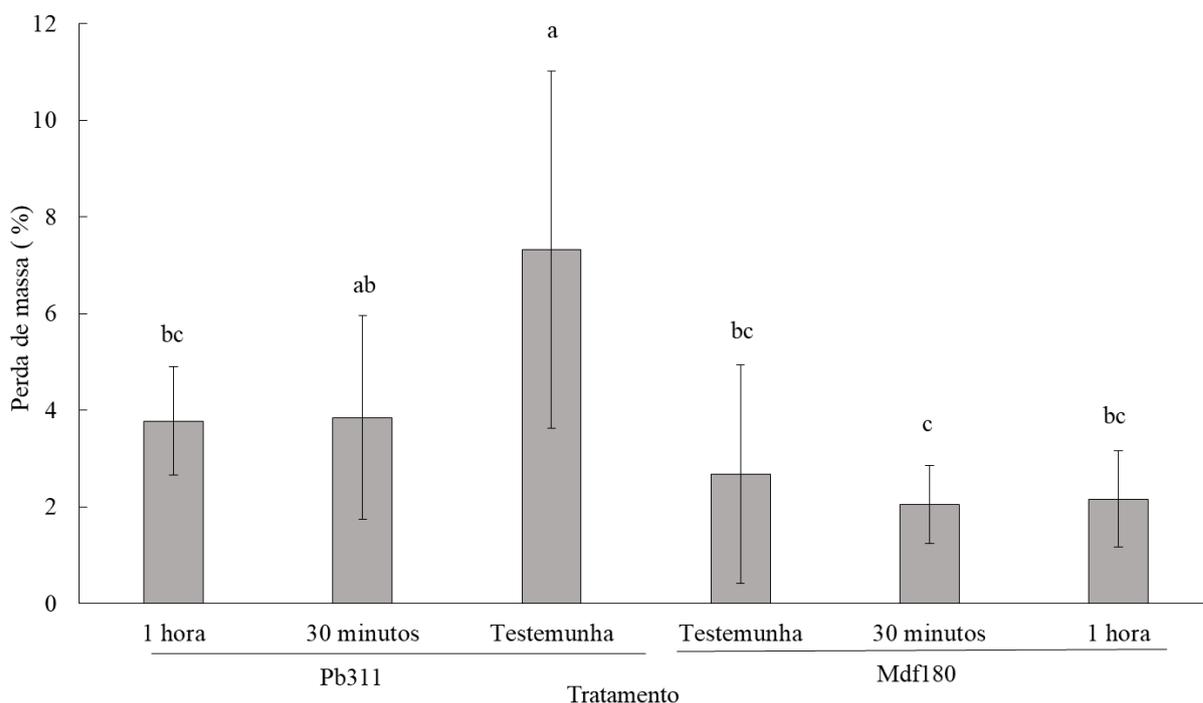


Figura 7. Perda de massa percentual da madeira de *Hevea brasiliensis*, provinda de árvores de dois clones cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag após vácuo inicial de 1 hora e de 30 minutos e submetidas à ação do térmita *Nasutitermes macrocephalus* em condições de campo por 45 dias.

Talvez, a agregação de resistência biológica nas amostras tratadas com as nanopartículas de Ag, seja explicada pelas propriedades cupinícidas deste metal, descritas por Dorau et al. 2004. Esses autores apontam o potencial desses metais em intoxicar os protozoários

presentes no intestino dos cupins, interrompendo assim seu ciclo digestivo e resultando na sua morte.

Nesse contexto, Mishra et al. (2020), relatam que nanopartículas de Ag atuam no intestino dos cupins ligando-se em sítios na superfície das proteínas capazes de degradar a celulose, afetando negativamente seu funcionamento, por meio de interações competitivas, comprometendo, desta forma, a degradação desse polímero.

A madeira de *H. brasiliensis* é altamente suscetível à ação de cupins e assim, e exige métodos que a protejam desses insetos (GRACE; WONG; TOME, 1988). Dessa forma, os resultados obtidos sinalizam que o uso das nanopartículas de Ag tem potencial para proteger a madeira contra a ação de *N. macrocephalus*.

Por outro lado, a madeira do clone MDF 180, além de se mostrar mais resistente ao desgaste causado pelos cupins em relação à madeira do clone PB311, demonstrou que a incorporação de nanopartículas de Ag não aumentou significativamente essa resistência. Sendo assim, observou-se que para as amostras provindas desde clone, não houve variação significativa na perda de massa percentual entre madeiras submetidas às duas condições de tratamento e a testemunha. Esse resultado demonstra que a madeira deste clone é naturalmente mais resistente ao cupim *N. macrocephalus* em relação a madeira do clone PB 311, e que, a agregação de resistência a esse inseto, pela incorporação de nanopartículas de Ag, não é expressiva nesta madeira.

A ação do cupim *N. macrocephalus* nas amostras utilizadas para a realização deste ensaio pode ser evidenciada na figura 8.

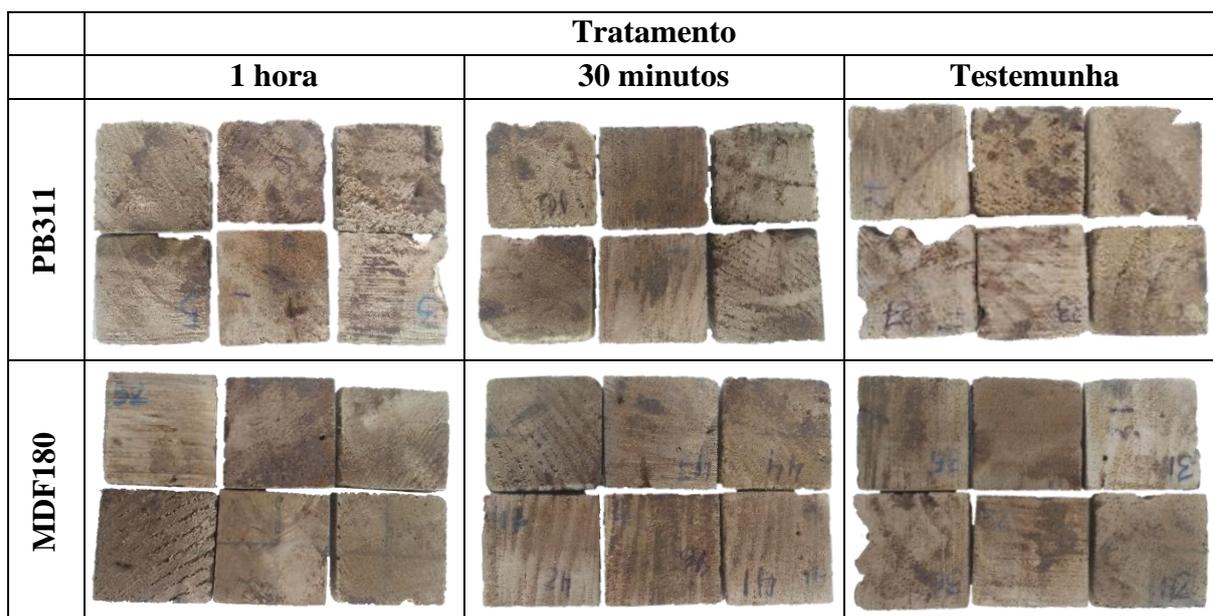


Figura 8. Deterioração de madeira de *H. brasiliensis*, provinda de árvores de dois clones, cujas amostras foram impregnadas com nanopartículas de Ag por 1 hora e 30 minutos e submetidas à ação do térmita *Nasutitermes macrocephalus* em condições de campo por 45 dias.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que as nanopartículas de Ag tem potencial para aumentar a resistência à ação de organismos xilófagos na madeira de *Hevea brasiliensis* em função do clone desta árvore. A madeira provinda do clone PB311 demonstra agregação de resistência efetiva pela impregnação

de nanopartículas de Ag, e a madeira do clone MDF180 não apresenta essa propriedade. O tempo de vácuo, usado na impregnação das madeiras, não demonstra influência nos resultados.

A madeira de *Hevea brasiliensis* provinda do clone PB311 é naturalmente mais suscetível à *Nasutitermes macrocephalus* em comparação a madeira provinda clone MDF180, e a agregação de resistência a esse inseto, pela incorporação das nanopartículas de Ag, demonstra ser eficiente somente para a madeira procedente do clone PB311.

Diante dos resultados desta pesquisa, constata-se que estudos sobre a eficiência do tratamento da madeira de *Hevea brasiliensis* contra a ação de organismos xilófagos, pela incorporação de nanopartículas de Ag são promissores. Sendo assim sugere-se a realização de pesquisas mais aprofundadas sobre o efeito das nanopartículas de prata para este fim, sobretudo quanto à associações dessas nanopartículas com outros compostos que tenham potencial de agregar resistência biológica às madeiras.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico Da ABRAF: ano base 2012. Brasília, ABRAF, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>. Acesso em: 12 nov. 2020.

ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico Da ABRAF: ano base 2007. Brasília, ABRAF, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3904>. Acesso em: 12 nov. 2012.

AKHTARI, M.; GHORBANI-KOKANDEH, M.; TAGHIYARI, H. R. Mechanical Properties of *Paulownia fortunei* Wood impregnated with silver, copper and zinc oxide nanoparticles. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 4, p. 507-511, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 3345. **Standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials**. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v. 0410, p 439-441, 1994.

AYRES, M.; AYRES Jr, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. A. BioEstat 5.0 – **Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas**. Sociedade Civil Mamirauá, Tefé, 2007. 380p.

BAK, M.; NÉMETH, R. Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. **BioResources**, v. 13, n. 4, p. 7886-7899, 2018.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BUSTAMANTE, N. C. R.; MARTIUS, C. Nutritional preferences of wood-feeding termites inhabiting floodplain forests of the Amazon River, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 3, p. 301-307, 1998.

CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 71-77, 1997.

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 2009. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, 2009.

CAN, A.; PALANTI, S.; SIVRIKAYA, H.; HAZER, B.; STEFANI, F. Physical, biological and chemical characterisation of wood treated with silver nanoparticles. **Cellulose**, v. 26, n. 8, p. 5075-5084, 2019.

CAN, A.; SIVRIKAYAA, H.; HAZER, B. Fungal inhibition and chemical characterization of wood treated with novel polystyrene-soybean oil copolymer containing silver nanoparticles. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 133, p. 210-215, 2018.

CARLSON, C.; HUSSAIN, S. M.; SCHRAND, A. M.; BRAYDICH-STOLLE, L. K.; HESS, K. L.; JONES, R. L.; SCHLAGER, J. J. Unique cellular interaction of silver nanoparticles: size-dependent generation of reactive oxygen species. **The journal of physical chemistry B**, v. 112, n. 43, p. 13608-13619, 2008.

CASADO-SANZ, M. M.; SILVA-CASTRO, I.; PONCE-HERRERO, L.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J.; ACUÑA-RELO, L. White-rot fungi control on *Populus* spp. wood by pressure treatments with silver nanoparticles, chitosan oligomers and propolis. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 885, 2019.

CASTRO, V. G. de.; GUIMARÃES, P. P. (org). **Deterioração e preservação da madeira.** Mossoró: Edufersa, 2018.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v. 126, n. 7-8, p. 355-365, 2002.

CORDEIRO JÚNIOR, C. R. C.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da Madeira na Construção Civil. **Projectus**, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017.

CORREDATO, R. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. de M. Efeito da frequência da sangria em diferentes clones na produtividade de seringueira. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 13, n. 4, p. 318-322, 2014.

CORREIA, M. E. F.; AGUIAR-MENEZES, E. de L.; AQUINO, A. M de. Associações entre térmitas e microrganismos. **Embrapa Agrobiologia-Documentos** 254, 2008.

CSIRO. COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. **The facts about CCA – treated timber.** Austrália, 2011. Disponível em: <<http://www.csiro.au/Outcomes/Food-and-Agriculture/CCATreatedTimber.aspx>>. Acesso em: 28 out. 2013.

DAHLAN, J.; HONG L.T.; AZLAN, M.; WONG, A. H. H. Preservation of Rubberwood. In: HONG L. G. & SIM, H. **Rubberwood Processing and Utilization.** 2 ed. Malaysia: Forest Research Institute, 1994.

DORAU, B; ARANGO, R; GREEN , F. **An investigation into the potential of ionic silver as a wood preservative.** *In: Wood-Frame Housing Durability and Disaster Issues Conference, 2. 2004, Las Vegas. Preceedings[...].* Madison: Forest Products Society, 2004.

DURÃES, F. O. M.; CARVALHO, M. A. de.; MACHADO, F. R. Seringueira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14 n. 163, p. 50-53, 1989.

FARIA, D. L; SANTOS, C. A. ; FURTINI, A. C. C. ; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e papel. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.6, n.11, p. 303-314, 2019.

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. 142 p. (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FERRARINI, S.F; SANTOS·H.S. dos.; MIRANDA L.G.; AZEVEDO C.M.N; PIRES M.J.R; MAIA S.M. 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.

FERREIRA, S. P. **Processos oxidativos avançados para degradação da matéria orgânica do efluente da descontaminação da madeira tratada com arseniato de cobre cromatado.** 2015. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FINDLAY, G. W. (ed.). **Preservation of Timber in the Tropics.** Whitchurch: Springer Science & Business Media, 2013.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. de. Processos práticos para preservar a madeira. **Documentos**, Embrapa Florestas, Colombo, v. 96, p. 1-49, 2004.

GEISSE, M. E. Tratamento de madeira de reflorestamento em autoclave. **Revista da Madeira**, n.100, 2006. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=986&subject=Preservantes%20I&title=Tratamento%20de%20madeira%20de%20reflorestamento%20em%20autoclave](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=986&subject=Preservantes%20I&title=Tratamento%20de%20madeira%20de%20reflorestamento%20em%20autoclave). Acesso em 12 nov. 2020.

GOMES, J. I.; FERREIRA, G. C. Durabilidade natural de quatro madeiras amazônicas em contato com o solo. **Comunicado Técnico**, Belém, v. 66, p.1-3, 2002

GOMES-FILHO, J. E.; SILVA, F. O.; WATANABE, S.; CINTRA, L. T. A.; TENDORO, K. V.; DALTO, L. G.; PACANARO, S.V.; LODI, C.S.;MELO, F. F. F. de. Tissue reaction to silver nanoparticles dispersion as an alternative irrigating solution. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 10, p. 1698-1702, 2010.

GONÇALVES, P. de S.; CARDOSO, M.; ORTOLANI, A. A. Origem, variabilidade e domesticação da Hevea; uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 135-156, 1990.

GRACE, J. K.; WONG, A. H.; TOME, C. H. Termite resistance of Malaysian and exotic woods with plantation potential: Laboratory evaluation. In: 29th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation, 1998, Maastricht. **Proceedings[...]** Maastricht, 1998 p. 14-19.

GUGGENBICHLER, J. P.; BÖSWALD, M.; LUGAUER, S.; KRALL, T. A new technology of microdispersed silver in polyurethane induces antimicrobial activity in central venous catheters. **Infection**, v. 27, n. 1, p. 16-S23, 1999.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Programa Seringueira. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro\\_cafe/seringueira/programaseringueira.htm](http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/programaseringueira.htm)> Acesso em: 20 abr. 2019.

IBÁ. Consumo de Madeira para Uso Industrial, 2018. **Relatório Ibá**, 2019.

IEA- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Custo de Produção e Rentabilidade da Cultura da Seringueira: safra 2018/19**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2019. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-09-2019.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

JANKOWSKY, I.P. Fundamentos de preservação de madeiras. **Documentos Florestais**, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, n.11, p.1-12, 1990.

KILLMANN, W.; HONG, L. T. Rubberwood-the success of an agricultural by-product. **Unasylva**, Roma, v. 51, n. 201, p. 66-72, 2000.

KÜNNIGER, T.; HEEB, M.; ARNOLD, M. Antimicrobial efficacy of silver nanoparticles in transparent wood coatings. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, p. 285-288, 2014.

LEBOW, S. Alternatives to chromated copper arsenate for residential construction. In: Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood Conference, 2014, Orlando. **Proceedings[...]**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004.

LEONELLO, E. C. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no Estado de São Paulo**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Botucatu, 2011.

LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W.; OHTO, J. M.; PALMA, H. A. L.; ESCOBAR, J. F. Classificação estrutural e qualidade da madeira do Clone GT 1 de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Floresta e Ambiente**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 229-235, 2012.

LEPAGE, E.S. Método Sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de madeiras**, v.1, p.205-216, 1970.

LEPAGE, E. S., SALIS, G. A. **Atualização em preservação de madeiras**. São Paulo: 2015.64 p.

LEPAGE, E.; SALIS A. G.; GUEDES, E. C. R. **Tecnologia de proteção da madeira**. São Paulo: Montana Química, 2017. 225 p

LIM, S. C.; GAN, K. S.; CHOO, K. T. The Characteristics, Properties and Uses of Plantation Timbers - Rubberwood and Acacia Mangium. **Timber Technology Bulletin**, Kepong, n. 26, p. 1-11, 2002.

LIMA, G.; PEREIRA, K. MEDEIROS, N. HEIN, P.; MOTTA, J.P. Resistência natural da madeira de espécies nativas ao ataque de cupim *Nasutitermes* sp.. *In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira*, 3., 2017, Florianópolis. Anais[...]. Florianópolis, 2017.

LOK, C. N.; HO, C. M.; CHEN, R.; HE, Q. Y.; YU, W. Y.; SUN, H.; TAM, P. K. H; CHIU, J. F., CHE, C. M. Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. **Journal of proteome research**, v. 5, n. 4, p. 916-924, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 6. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2014.

MARTINEZ, A. A. Borracha: São Paulo é o maior produtor nacional. **Infobibos**, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/borracha/index.htm>. Acesso em: 4 ago. 2020.

MARZI, T. Nanostructured materials for protection and reinforcement of timber structures: A review and future challenges. **Construction and Building Materials**, v. 97, p. 119-130, 2015.

MELO, R. R. de.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SUSIN, F. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.

MENDES, A. de S.; ALVES, M. V. da S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF, 1988.

MISHRA, S.; WANG, W.; DE OLIVEIRA, I. P.; ATAPATTU, A. J.; XIA, S. W., GRILLO R.; LESCANO, C. H.; YANG, X. Interaction mechanism of plant-based nanoarchitected materials with digestive enzymes of termites as target for pest control: Evidence from molecular docking simulation and in vitro studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 403, p. 1 -13, 2020.

MOYA, R.; BERROCAL, A.; RODRIGUEZ-ZUÑIGA, A.; VEGA-BAUDRIT, J.; NOGUERA, S. C. Effect of silver nanoparticles on white-rot wood decay and some physical properties of three tropical wood species. **Wood and Fiber Science**, v. 46, n. 4, p. 527-538, 2014.

MÜZEL, S. D. **Madeira de *Hevea brasiliensis* como matéria prima para a produção de chapa de partículas aglomeradas**. 2013. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Itapeva, Itapeva, 2013.

NAIR, S.; PANDEY, K. K.; GIRIDHAR, B. N.; VIJAYALAKSHMI, G. Decay resistance of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) impregnated with ZnO and CuO nanoparticles dispersed in

propylene glycol. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Bengaluru, v. 122, p. 100-106, 2017.

PACE, J. H. C. **Efeito da vaporização e impregnação de nanopartículas nas variáveis do processo de secagem da madeira de *Eucalyptus pellita* F Muell.** 2016. 66 f Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

PACE, J. H. C.; ALMEIDA, S. M.; LATORRACA, J. V. F.; SOARES, S. A.; XAVIER, M. F.; SILVA, T. B.; SILVEIRA, C. Avaliação da contração volumétrica da madeira de seringueira submetida à impregnação com nanopartícula de prata. In: III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2017, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: CBCTEM, 2017. p. 1-9.

PACE, J. H. C.; ALMEIDA, S. M.; LATORRACA, J. V. F.; SOARES, S. A.; SILVA, T. B.; CASTRO, J. P. Secagem da madeira de seringueira após a vaporização e impregnação de nanopartículas. In: III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2017, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: CBCTEM, 2017. p. 1-9.

PAES, J. B.; GUERRA, S. C. S.; SILVA, L. F. da.; DE OLIVEIRA, J. G. L.; SÃO TEAGO, G. B. Efeito do teor de extrativos na resistência natural de cinco madeiras ao ataque de cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1259-1269, 2016.

PAES, J. B.; RAMOS, I. E. C.; NASCIMENTO, J. W. B. Eficiência do CCB na resistência da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) a cupins xilófagos, em ensaio de alimentação forçada. **Floresta e Ambiente**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2008.

PALMA, H. A. L. Propriedades técnicas e utilização da madeira da seringueira. In: Ciclo de Palestras sobre a Heveicultura Paulista, 7., 2010, São José do Rio Preto. **Anais [...]**. São Paulo: FUNEP; APABOR, 2010.

RAVASI, Roger. **Métodos de preservação da madeira e seus preservativos.** 2011. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Pampa, Campus São Gabriel, São Gabriel, 2011.

REVISTA DE AGRONEGÓCIOS DA FGV. Seringueira: A vez da borracha. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 24, n. 4. p. 16-18, 2004.

ROJAS, G. J. A. **Utilização da borracha natural no desenvolvimento de elastômeros termoplásticos.** 2010. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

SA, T. D. D. A. **Avaliação ecofisiológica de seringueiras (*Hevea brasilienses* Muell. Arg.), submetidas a diferentes intensidades de sangria, em ambientes contrastantes do Estado de São Paulo.** 1991. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

SANTOS, H. S. dos. **Padronização de ensaios para identificação de preservantes em postes de madeira e solos de áreas controladas.** 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SANTOS, T. **Associação entre *Cornitermes* spp.(Isoptera: Termitidae) e cupins inquilinos em uma área de floresta de terra firme na Amazônia Central**, 2008. Disponível em: <https://www.inpa.gov.br/pdbff/cursos/efa/livro/2006/pdfs/pfthiago.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SGAI, D. R. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Setor de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SHRIVASTAVA, S.; BERA, T.; ROY, A.; SINGH, G.; RAMACHANDRARAO, P.; DASH, D. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. **Nanotechnology**, v. 18, n. 22, p. 1-9, 2007.

SILVA, J. de C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. de C. Madeira preservada - Os impactos ambientais. **Revista da Madeira** n. 100, 2006. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=985&subject=Preserva%E7%E3o&title=Madeira%20preservada%20%96%20Os%20impactos%20ambientais](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=985&subject=Preserva%E7%E3o&title=Madeira%20preservada%20%96%20Os%20impactos%20ambientais). Acesso em: 12 nov. 2020.

SOUZA, I. A. de. **Sangria da seringueira: guia prático para o seringueiro**. Vitória: Incaper, 2013.

SOUZA, R. V.; DEMENIGHI, A. L. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 84-92, 2017.

STALLBAUN, P. H.; BARAUNA, E. E. P.; PAES, J. B.; RIBEIRO, N. C.; MONTEIRO, T. C.; ARANTES, M. D. C. Resistência natural da madeira de *Sclerolobium paniculatum* Vogel a cupins em condições de laboratório. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F. da.; GARLET, A.; PASTORE, T. C. M. Resistência natural da madeira de três espécies amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 15-32, 2013.

STATISTA- Statista Research Department. Rubber tree land area worldwide from 2000 to 2020. **Statistics portal for market data**. Hamburg, 2011. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/275389/world-rubber-tree-acreage-since-2000/> Acesso em 11 nov. 2020.

TAGHIYARI, H. R.; MORADI-MALEK, B.; KOOKANDEH, M. G.; BIBALAN, O. F. Effects of silver and copper nanoparticles in particleboard to control *Trametes versicolor* fungus. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 94, p. 69-72, 2014.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. de. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 33-41, 2008.

VALLE, M. L. A.; SILVA, J. DE. C., LUCIA, R. M. D.; EVANGELISTA, W. V. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.2, p. 481-490, 2013.

ZHAO, Y. Promotion of rubberwood processing technology in the Asia-Pacific region. In: ITTO/CFC International Rubberwood Workshop, 2008, Haikou. **Proceedings [...]** Research Institute of Wood Industry, the Chinese Academy of Forestry, 2008.