



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

**SABRINA MAYER DE ALMEIDA**

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd.ex.A.Juss.) Muell. Arg  
SUBMETIDA À IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

Prof. Dr. JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2019



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

**SABRINA MAYER DE ALMEIDA**

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd.ex.A.Juss.) Muell. Arg  
SUBMETIDA À IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

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

Prof. Dr. JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO - 2019

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* (Willd.ex.A.Juss.) Muell. Arg  
SUBMETIDA À IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

**SABRINA MAYER DE ALMEIDA**

APROVADA EM: 13/11/2019.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA – UFRRJ  
Orientador

---

Dr. JONNYS PAZ CASTRO - UFRRJ  
Membro

---

M.Sc. JOSÉ HENRIQUE CAMARGO PACE – UFRRJ  
Membro

## DEDICATÓRIA

“Dedico a Deus, por me conceder a luz  
do discernimento e da calma.”  
“À minha família pelo apoio e amor  
incondicional.”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos os seres de luz que me acompanharam durante essa jornada, me protegendo, amparando e mostrando a direção a seguir.

Aos meus pais, Imaculada e Frederico, por serem meu alicerce, pela confiança e pelo amor que me fez chegar até aqui. Obrigada pelo apoio e por compreenderem minha ausência durante esses últimos anos.

Aos meus irmãos, em especial ao Ulysses (meu caçulinha) que com muita paciência me ouviu e me aconselhou em momentos difíceis e decisivos.

Aos meus avós que acompanharam meu crescimento, me ampararam e sempre torceram por mim.

Aos meus amigos (da Rural e da vida) pelo companheirismo e incentivo. Não posso deixar de falar da Nathália e da Janaína que viveram comigo experiências incríveis durante a graduação, que sempre estiveram ao meu lado, fazendo trabalhos, estudando para provas e até mesmo dando conselhos. À galera do CANP, Natália, Mariane, Lucas, Júlio, Jéssica e Bruna, que sempre esteve presente compartilhando momentos únicos e inesquecíveis, incluindo todos os carnavais possíveis!!! Ao pessoal do “Jogral”, Tati, João, Nay, Thalia, Juliana, Julia, Klara, Laura, Mari, Duda, Joabe [...], que nunca negou fogo e bateu ponto em todas (ou quase todas) as festinhas da Rural. E, às meninas do F4-108, por tudo que vivemos juntas.

Ao professor Latorraca pelas oportunidades e experiências que me proporcionou dentro e fora do laboratório, pelas contribuições com meus trabalhos, pela paciência e principalmente pelo carinho que teve comigo durante todos esses anos.

A todos do Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira (NPQM) por toda ajuda, pelos congressos e churrascos. Em especial ao José Henrique (Zé), o “moço” que sempre esteve ao meu lado, me ajudando, orientando, aconselhando e me dando puxões de orelha (que foram muuuitos, socorro!!! rs).

À banca examinadora, João Latorraca, Jonnys Paz e José Pace pelas considerações valiosíssimas que contribuíram para a melhoria do trabalho.

À FAPERJ e ao CNPq pela oportunidade de estar em contato com a pesquisa e poder ampliar meus conhecimentos.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que esse sonho se tonasse realidade. Obrigada!

## RESUMO

Com o término do período de exploração do látex, é realizado o corte das árvores de seringueira (*Hevea brasiliensis*) para a reforma do povoamento, tornando a madeira disponível para utilização em diversos fins. Esta espécie possui baixa densidade e durabilidade biológica além de instabilidade dimensional, sendo usada em atividades de menor valor agregado. O desenvolvimento de métodos e tecnologias que visem melhorar essas características é de grande importância, pois gera possibilidades de aplicação no mercado. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da impregnação de nanopartículas de prata na secagem e nas propriedades físicas da madeira de clones de *Hevea brasiliensis*. Foram utilizadas amostras de madeira de dois clones (PB311-MDF180 e TP875), oriundas de um plantio da empresa Michelin, localizado no município de Igrapiúna – BA. Para a impregnação das nanopartículas de prata (22ppm), pelo método de imersão, as peças de madeira (2cm x 2cm x 10cm) foram submetidas previamente a um processo de vaporização por 24 horas e, posteriormente a aplicação de vácuo (750 mmHg). A avaliação das propriedades físicas (contração volumétrica e anisotropia) e da secagem da madeira (curva e taxa de secagem) foi realizada pelo monitoramento contínuo da massa e das dimensões das peças, em estufa com ventilação forçada à 65°C a cada 15 minutos até atingir 12% de umidade. Houve um incremento significativo na taxa de secagem e diminuição na contração volumétrica da madeira, decorrente da impregnação de nanopartículas de prata e da prévia vaporização.

**Palavras-chave:** nanotecnologia; vácuo; vaporização; contração volumétrica.

## ABSTRACT

With the end of the latex harvesting period, the rubber trees (*Hevea brasiliensis*) are cut for reforestation, making the wood available for various purposes. This species has low density and biological durability in addition to dimensional instability, being used in activities with lower added value. The development of methods and technologies that aim to improve these characteristics is of great importance, as it generates possibilities of application in the market. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effects of silver nanoparticles impregnation on drying and on the wood physical properties of *Hevea brasiliensis* clones. Wood samples were used from two clones (PB311-MDF180 and TP875), coming from a Michelin company plantation, located in Igrapiúna – BA. For the impregnation of silver nanoparticles (22ppm), by the immersion method, the wood pieces (2cm x 2cm x 10cm) were previously submitted to a vaporization process for 24 hours and, afterwards, the vacuum application (750 mmHg). Physical properties (volumetric contraction and anisotropy) and wood drying (curve and drying rate) were evaluated by continuous monitoring of the mass and dimensions of the pieces in a greenhouse with forced ventilation at 65°C every 15 minutes until reach 12% humidity. There was a significant increase in the drying rate and decrease in the volumetric contraction of the wood, due to the impregnation of silver nanoparticles and the previous vaporization.

**Keywords:** nanotechnology; vacuum; vaporization; volumetric contraction.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Informações complementares dos clones utilizados no experimento.....	9
Tabela 2 Absorção média da solução de nanopartículas de prata por tratamento. ....	14
Tabela 3 Densidade básica e aparente da madeira dos clones de <i>Hevea brasiliensis</i> .....	14
Tabela 4 Médias das taxas de secagem da madeira de dois clones de seringueira, PB311-MDF180 e TP875. ....	14
Tabela 5 Propriedades físicas da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> , obtidas para cada tratamento. ....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema da autoclave experimental horizontal utilizada no processo de vaporização dos corpos de prova. Adaptado (PACE, 2016).....	10
Figura 2 Dessecador e bomba de vácuo para aplicação da solução contendo nanopartículas de prata (PACE, 2016). .....	11
Figura 3 Esquema global dos tratamentos utilizados no experimento. ....	13
Figura 4 Curvas de secagem dos clones, obtidas para cada tratamento. (a) PB311-MDF180 e (b) TP875.....	16

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 Absorção média de nanopartículas de prata (%) .....	11
Equação 2 Taxa de Secagem ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) .....	11
Equação 3 Superfície de Evaporação ( $\text{cm}^2$ ).....	12
Equação 4 Variação Volumétrica (%) .....	12

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE EQUAÇÕES .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 Hevea brasiliensis (Willd.ex.A.Juss.) Muell. Arg .....	2
2.2 Madeira de seringueira.....	2
2.3 Secagem da madeira .....	3
2.4 Aspectos da secagem .....	4
2.4.1 Movimentação da água.....	4
2.4.2 Taxa de secagem .....	5
2.5 Anisotropia.....	5
2.6 Processo de vaporização da madeira.....	6
2.7 Nanotecnologia .....	7
2.8 Nanopartículas de prata .....	7
2.9 Nanopartículas de prata e a madeira .....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Coleta e preparo do material .....	9
3.2 Processo de vaporização .....	9
3.3 Impregnação de nanopartículas de prata.....	10
3.4 Processo de secagem da madeira .....	11
3.5 Absorção média de nanopartículas de prata.....	11
3.5 Taxa de secagem da madeira .....	11
3.6 Propriedades físicas .....	12
3.7 Delineamento experimental e análises estatísticas .....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13

4.1 Absorção de nanopartículas de prata .....	13
4.2 Secagem da madeira .....	14
4.3 Propriedades físicas .....	17
5. CONCLUSÕES .....	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19

## 1. INTRODUÇÃO

Após o declínio do período produtivo do látex, aproximadamente aos 30 anos, a madeira de seringueira torna-se disponível e pode ser utilizada para diversos fins, gerando vantagens ao produtor como o aumento da renda (MARTINS, 2015) e a redução de dependência da indústria madeireira das fontes tradicionais (JUNIOR, 2011). Esta madeira apresenta baixa densidade, pouca resistência ao ataque de organismos xilófagos, além de instabilidade dimensional (MARTINS, MARQUES e GOUVEIA, 2019) e, portanto, acaba sendo utilizada para fins com menor valor agregado devido à dificuldade em se encontrar tratamentos que visem melhorar essas características.

A alta umidade presente naturalmente na madeira aliada aos elevados teores de amido (TEOH, DON e UJANG, 2011) e a baixa durabilidade biológica inviabilizam a secagem natural da seringueira, a qual é amplamente utilizada em espécies tropicais. Sendo assim, é indispensável que a secagem desta espécie seja realizada em estufa, visando a obtenção da madeira seca, com o mínimo de defeitos em menor tempo possível (MARTINS, MARQUES e GOUVEIA, 2019).

O processo de secagem consiste na redução da umidade da madeira e tem por objetivo alcançar um teor de equilíbrio em menor tempo, de modo economicamente viável, que proporcione a mínima variação de entrada e saída de água no material (PACE, 2016) (MARTINS, 1988). Durante esse processo, o calor é transferido para o interior da madeira, principalmente por difusão, condução e convecção através dos vasos (TAGHIYARI, 2012). As principais vantagens em relação à secagem natural é a redução do tempo e controle na taxa de secagem, acelerando então a perda de umidade da madeira com menor incidência de defeitos (REZENDE, LIMA, *et al.*, 2015).

Estudos relacionados à aplicação de pré-tratamentos que visam auxiliar o processo de secagem e melhorar a anisotropia da madeira são crescentes. A vaporização é uma técnica que consiste na aplicação de vapor, com temperatura e umidade relativa determinadas e, pode atuar na redução de tensões de crescimento, aumento da permeabilidade, redução da estabilidade dimensional, esterilização da madeira, redução dos gradientes de umidade e do tempo de secagem, além de um incremento na taxa de secagem (REZENDE *et al.*, 2015; CALONEGO *et al.*, 2006). Além disso, necessita de pouca ou nenhuma mudança no processo em relação a equipamentos básicos (SEVERO, 2000).

Outra tecnologia que pode ser utilizada para melhorar a eficiência da secagem e características da madeira de seringueira é a nanotecnologia, que consiste em uma técnica voltada para o estudo das propriedades da matéria em escala nanométrica (DIAS SILVA, 2006). O tratamento com nanopartículas de prata (NPs) pode promover maior movimentação de calor, elevar a durabilidade biológica, diminuir a higroscopicidade, mantendo as características físicas da madeira e, agir também como um catalisador durante o processo de secagem (DASHTI *et al.*, 2012; TAGHIYARI e MALEK, 2014). Sendo assim sua utilização pode reduzir o tempo da secagem da madeira devido o aumento da superfície de contato com o meio, promovendo então maior reatividade (BARROS, 2017).

Considerando que o Brasil possui atualmente 218.307 ha de seringueira plantados (IBÁ, 2019), e que após o declínio na produtividade destas árvores esta madeira estará disponível no mercado, é necessária a busca por novos tratamentos e tecnologias que proporcionem melhoria na secagem e nas características físicas da madeira de seringueira, de forma a agregar valor, visando usos finais mais nobres.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da impregnação de nanopartículas de prata na secagem e nas propriedades físicas da madeira de *Hevea brasiliensis*.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Hevea brasiliensis* (Willd.ex.A.Juss.) Muell. Arg

A espécie *Hevea brasiliensis* é conhecida como seringueira, pertence à Família Euphorbiaceae e ocorre na região Amazônica. É uma planta produtora de látex, podendo atingir 30 metros de altura e 30 centímetros de diâmetro no tronco. Sua madeira é considerada mole e leve, apresentando densidade de 0,45 g/cm<sup>3</sup> e, com baixa durabilidade natural (LORENZI, 1992).

A exploração da seringueira é baseada na obtenção do látex a partir de incisões feitas no tronco da árvore, também chamadas de sangria. O objetivo é seccionar vasos lactíferos presentes na casa (CORREDATO, MALAVASI e DE MATOS MALAVASI, 2014).

A borracha produzida tem grande importância mundial visto que tem aplicações na saúde, na siderurgia, no setor eletroeletrônico, calçadístico, na mineração, dentre outros. Estudos estão sendo realizados com o objetivo de obter clones capazes de produzir látex e madeira visando aumentar a lucratividade do cultivo dessa espécie (SERVOLO FILHO, 2013).

O cultivo de seringueira se expandiu para regiões de características ambientais distintas de sua origem, devido o aumento da demanda por borracha natural e também com o objetivo de minimizar os impactos fitossanitários sobre a cultura (MESQUITA *et al.*, 2006).

Com o término do período de exploração do látex, que dura em média 30 anos, é realizado o corte das árvores para a reforma do seringal. A madeira remanescente, apesar de apresentar boas características de trabalhabilidade, é culturalmente utilizada como lenha. A mesma possui coloração que está entre branco e creme sem variações nas direções estruturais, bem como facilidade para ser tingida e boa capacidade de encurvamento quando submetida ao vapor (SERVOLO FILHO, 2013). Além disso, pode gerar renda para produtores e servir como uma fonte alternativa de madeira no mercado (MARTINS, 2015).

Apesar do cultivo de seringueira ser voltado para a extração de látex, existem boas perspectivas para uso alternativo da madeira como matéria-prima para o setor florestal, por se apresentar em grande quantidade e por suas características físicas (RAIA, 2017).

Teixeira *et al.* (2001) relatam que a madeira de seringueira pode ser utilizada para fabricação de painéis cimento-madeira, como normalmente é feito na Ásia. Contudo, existem algumas desvantagens quando a madeira é utilizada logo após o abate, devido a quantidade de açúcares e gomas e sua interação com o cimento. Tal problema pode ser solucionado a partir do tratamento das partículas de madeira com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), pois contribui com a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do material. Além disso, é possível utilizar a madeira na fabricação de tabuados, caixotaria e forros (LORENZI, 1992).

Farago Escobar (2011) elucida que vem sendo realizados estudos no Brasil com o intuito de encontrar alternativas possíveis para o uso da madeira de *Hevea brasiliensis*. Neste sentido, os laboratórios de Qualidade de Painéis de Madeira e de Ensaio de Materiais da FCA-UNESP-Botucatu e a empresa Caribe S.A. de São Manuel-SP constataram a viabilidade técnica de fabricação de compensados a partir da laminação de toras de seringueira.

### 2.2 Madeira de seringueira

A madeira de *Hevea brasiliensis* possui grande potencial tecnológico com um grande leque de aplicações, no entanto no Brasil é utilizada com frequência para fins energéticos de menor valor agregado, como lenha e carvão (LEONELLO *et al.*, 2012).

A madeira de seringueira possui altos teores de amido em suas células parenquimáticas, as quais influem diretamente na redução da durabilidade biológica, sendo então uma das principais razões pela qual a indústria de processamento de madeira não é atraída para utilização da espécie (TEOH, DON e UJANG, 2011). Por não possuir distinção entre cerne e alborno, considera-se que a madeira é constituída apenas por alborno, explicando também sua baixa durabilidade biológica (KILLMANN e HONG, 2000).

Devido a algumas características físicas e a coloração clara, a madeira de seringueira se mostra como uma boa opção para substituição de algumas espécies. A mesma é bastante utilizada na fabricação de móveis para exportação e para produção de painéis, como aglomerados, painéis de fibras (MDF) e compensados (SEVERO *et al.*, 2016).

Okino, Teixeira, *et al.* (2009) verificaram que as propriedades mecânicas de chapas OSB feitas a partir de seringueira obtiveram valores superiores quando comparados ao pinus e cipreste, devido principalmente às propriedades intrínsecas da madeira.

Mesmo com seu potencial para uso, a seringueira pode apresentar baixo rendimento em seu processamento devido a presença do lenho de reação, o qual influencia negativamente na qualidade da madeira (RATNASINGAM e MA, 2010).

Contudo, a utilização do tratamento térmico na madeira pode melhorar algumas propriedades da madeira, tais como a resistência ao ataque de xilófagos. A madeira tratada termicamente pode apresentar menos afinidade com a água e redução de algumas substâncias, como hemiceluloses, aumentando então a durabilidade biológica (SEVERO *et al.*, 2016).

### **2.3 Secagem da madeira**

A secagem é considerada de grande importância no processamento da madeira sólida, sua principal razão é assegurar a estabilidade dimensional do material, antes e depois de processado. A contração da madeira verde, quando submetida a esse processo, ocorre em maior intensidade na direção perpendicular a grã (SEVERO, 1998). Durante a secagem até o teor de umidade de equilíbrio, a madeira é “pré-contraída” com o intuito de garantir que as movimentações da peça sejam ínfimas e até mesmo negligenciáveis e, de acordo com as características do produto final (SEVERO, 2000).

O processo de secagem é oneroso, portanto a redução do tempo é de grande importância, pois tem o objetivo de reduzir o consumo de energia e conseqüentemente dos custos de produção, no entanto, é um grande desafio para as indústrias (DASHTI *et al.*, 2012).

A madeira inicia o processo de secagem removendo a água presente nas cavidades celulares e, após inicia-se a secagem das paredes. Desta forma, chega-se ao Ponto de saturação das Fibras, que pode ser definido como o teor de umidade em que as cavidades estão vazias e que as paredes celulares ainda não começaram a secar, estando em uma faixa de 25 a 30% (SIMPSON, 1983). Após o PSF a madeira começa a sofrer variações dimensionais nos planos radial, tangencial e longitudinal, seja absorvendo ou perdendo umidade. Resultando então em defeitos como empenamentos, colapso, arqueamento e abaulamento, que podem ser controlados durante o processo de secagem do material (BRAZ *et al.*, 2015).

O processo de secagem da madeira pode ser realizado por secadores convencionais, operando entre 40° e 90°C, os quais possuem sistemas de aquecimento, de umidificação do ar e de ventilação e, por um conjunto de dumpers. Neste, o ar recebe umidade através da aspersão de água fria dentro do secador ou pela liberação de vapor equanto que a ventilação é promovida por ventiladores localizados lateralmente na câmara ou sobre um teto falso. Um secador convencional eficiente deve manter a circulação de ar e a distribuição de calor de forma uniforme por toda a pilha, utilizar a velocidade do ar adequada para cada espécie e, além disso, manter igual a quantidade de ar expelido e admitido pelos dumpers (JANKOWSKY, 1995; JANKOWSKY, SANTOS e ANDRADE, 2000).

A secagem artificial tem por objetivo secar a madeira mantendo um padrão de qualidade de acordo com o produto final através de um equilíbrio entre a velocidade de perda de água, a taxa de movimentação interna de calor e de umidade bem como das reações da madeira durante o processo (JANKOWSKY, 1995).

A secagem racional é uma operação de grande importância no setor madeireiro e consiste na remoção da umidade presente na madeira até um teor que resulte em maior estabilidade dimensional e melhor qualidade, devendo ser realizada de forma criteriosa a fim de obter um produto competitivo no mercado (CALONEGO e SEVERO, 2004; REZENDE *et al.*, 2015).

A secagem por convexão é caracterizada pelo deslocamento de uma corrente de ar pela superfície da madeira, sendo um dos processos mais utilizados. Consiste basicamente na transferência de calor para a madeira, que através do aumento da temperatura inicia o transporte do mesmo para o centro da peça, promovendo a vaporização da água. A movimentação da água na fase líquida ocorre por capilaridade e sofre influência da anatomia da madeira, enquanto que o vapor e a água higroscópica se movimentam pelo fenômeno da difusão, sendo influenciado principalmente pela massa específica (JANKOWSKY, 1995).

A secagem ao ar livre combinada com a convencional tem sido muito utilizadas para o gênero *Eucalyptus spp*, pois auxiliam na redução dos defeitos na madeira. A exposição ao ar livre remove gradualmente a água dos lumes celulares, com o mínimo de defeitos, para que posteriormente a temperatura de secagem seja elevada na câmara convencional, reduzindo então o tempo e os custos do processo. Além disso, o investimento para a realização desse tipo de secagem é baixo, no entanto o processo se torna longo devido a variação de temperatura e de umidade (ZEN, 2016; SANTOS, 2018).

O método gravimétrico para secagem da madeira é baseado na determinação do teor de umidade, que é obtido a partir da diferença entre a umidade inicial e final. O processo é realizado a uma temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e ocorre até que o peso constante seja atingido (SKAAR, 1988).

## **2.4 Aspectos da secagem**

### **2.4.1 Movimentação da água**

A água está presente na madeira de duas formas, sendo água livre (ou capilar) e água de impregnação (ou de ligação). A primeira é de fácil extração, pois está presente nas cavidades celulares e sujeita à força de capilaridade. Enquanto que a segunda está aderida nas paredes das células, possui forças de ligação mais fortes e é responsável por provocar mudanças estruturais, atuando sobre as propriedades físicas e mecânicas no material. Sendo assim, quando a madeira é submetida ao processo de secagem, a água livre é retirada com mais facilidade visto que a força que a mantém nas células é mais fraca. Quando a madeira atinge aproximadamente 30% de umidade, significa que toda a água livre foi removida dos lumens das células e as paredes ainda se encontram saturadas por água de impregnação, caracterizando o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) (SKAAR, 1988; BRANDÃO, 1989; VISCARRA, 1998).

Segundo Simpson (1983), o movimento de umidade na madeira ocorre através de três mecanismos, os quais podem variar de acordo com a espécie, estágio de secagem e espessura das peças:

- 1) Fluxo de água pela estrutura capilar das cavidades celulares ocorre acima do ponto de saturação das fibras.
- 2) Abaixo do ponto de saturação das fibras, a difusão da água ocorre através das paredes e cavidades celulares, trazendo água para a superfície.

### 3) Remoção da água de superfície.

A capilaridade é responsável por movimentar água em forma líquida, ocorre na primeira fase da secagem sob taxa constante e, é afetado pela estrutura anatômica da madeira. Ocorre um deslocamento da corrente de ar, que por sua vez transfere energia (calor sensível) para a superfície da madeira promovendo então a vaporização da água (SANTOS, 2002).

O movimento de capilaridade é responsável por remover a água capilar contida nos lumens celulares e, é controlado por forças de tração, as quais são determinadas pela tensão superficial do líquido e pelos raios dos capilares. Nesse sentido, a permeabilidade da madeira exerce influência significativa na remoção da água, sendo maior no sentido longitudinal (BRANDÃO, 1989).

O processo de difusão está ligado ao fluxo de calor e ocorre movendo a água higroscópica da madeira, ou seja, a água presente no interior da peça é movimentada até a superfície, devido ao gradiente de umidade gerado durante a secagem (SANTOS, 2002; BRANDÃO, 1989).

A difusão é um fenômeno que ocorre abaixo do ponto de saturação das fibras e está relacionado à movimentação da umidade pela madeira, sendo um processo espontâneo onde há a transferência de uma zona de maior concentração para uma de menor buscando sempre o equilíbrio (SEVERO, 1998).

#### 2.4.2 Taxa de secagem

A taxa de secagem ou velocidade de secagem refere-se à quantidade de água evaporada em um determinado tempo, levando em consideração a superfície de evaporação da peça de madeira. Com base nestas informações é possível, estimar o ciclo de secagem de uma espécie, através da comparação com espécies conhecidas (ZEN, 2016; KLITZKE e BATISTA, 2010).

Diversos fatores podem influenciar a taxa de secagem, sendo eles inerentes à madeira e ao ambiente. As características da madeira que mais afetam a taxa de secagem são a estrutura anatômica, proporção de cerne e alburno, quantidade de lenho tardio e inicial, densidade e espessura das peças e direção estrutural. Já os fatores inerentes ao ambiente, podem se destacar velocidade do ar, temperatura e gradiente de umidade (BRANDÃO, 1989).

Susin *et al.* (2014) afirmam que a taxa de secagem é influenciada pela umidade relativa do ar, velocidade do vento e pela temperatura. Ao comparar os valores para taxa de secagem em estufa solar e da secagem ao ar livre, os mesmos autores constataram que o primeiro método apresenta maior taxa tanto acima quanto abaixo do ponto de saturação das fibras, se tornando uma alternativa viável visto que não interfere na qualidade da madeira.

Pace (2016) constatou em seu experimento com *Eucalyptus pellita* que houveram diferenças significativas na taxa de secagem no sentido radial, encontrando os maiores valores na face mais externa da peça. Além disso, o referido autor relata que quando há um aumento da velocidade do ar e da temperatura, a taxa de secagem sofre um incremento.

#### 2.5 Anisotropia

O processo de secagem influencia o comportamento dos três planos fundamentais da madeira, sendo longitudinal, radial e tangencial. O sentido tangencial aos anéis de crescimento apresenta a maior alteração dimensional, cerca de duas vezes maior que o sentido radial, sendo desprezível então a movimentação longitudinal da peça (OLIVEIRA e SILVA, 2003). O coeficiente de anisotropia é um índice responsável por avaliar a estabilidade dimensional da madeira, o qual é definido pela razão entre as contrações tangencial e radial (SILVA e OLIVEIRA, 2003).

O fator de anisotropia é uma das características tecnológicas mais importantes para espécies madeireiras, a qual é influenciada pela variação dimensional em virtude do ganho ou perda de água higroscópica. Geralmente varia entre 1,5 e 2,5, quando maior é essa relação mais elevada será a tendência a defeitos na madeira, como empenamentos e fendilhamento. Sendo assim, peças que possuem menores taxas apresentam maior estabilidade dimensional e, portanto, podem ser utilizadas para vários fins (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

A contração da madeira é um dos grandes problemas que acontecem durante a secagem, ocorrendo quando as paredes celulares começam a perder água. Contudo, mesmo após a secagem, a madeira pode sofrer variações dimensionais, pois pode absorver ou perder umidade conforme a variação da umidade relativa, em busca do equilíbrio com o meio (SIMPSON, 1983).

Miranda *et al.* (2012) afirmam que a amplitude das variações dimensionais sofrem influência de fatores como a direção estrutural da peça (radial, longitudinal, tangencial), o teor de umidade, a posição no fuste, a massa específica, a temperatura, dentre outros.

Takeshita e Jankowsky (2015) verificaram um incremento na estabilidade em amostras secas em estufas previamente tratadas termicamente e, além disso, o grupo tratado à temperatura de 90°C foi mais efetivo na redução da higroscopicidade e na movimentação dimensional.

## **2.6 Processo de vaporização da madeira**

O uso de pré-tratamentos como pré-vaporização, pré-congelamento, pré-compressão e alguns tratamentos químicos estão sendo empregados sobre madeiras com o objetivo de reduzir o tempo e elevar a taxa de secagem. A utilização de vaporização prévia é uma técnica que incrementa positivamente a permeabilidade da madeira e pode ser implementada no mercado, pois as modificações no processo produtivo são ínfimas (SEVERO, 2000; SEVERO, 1998).

O processo de vaporização da madeira consiste basicamente na aplicação de vapor aquecido a altas temperaturas e umidades relativas por um determinado tempo (REZENDE *et al.*, 2015) visando plasticizar o material e reduzir as tensões de crescimento, resultando então em menor perda de matéria-prima (CALONEGO e SEVERO, 2005).

O uso de vapor na madeira inicialmente tinha por finalidade esterilizá-la, recuperar colapso, escurecer algumas espécies e reduzir tensões de secagem, contudo durante alguns estudos também ficaram comprovados efeitos positivos na estabilidade dimensional, gradiente de umidade, degradação, contração, etc (REZENDE *et al.*, 2015; SEVERO, 1998). No entanto, não existe ainda um padrão a ser seguido em relação à duração, momento de aplicação e condições do tratamento para cada espécie (REZENDE *et al.*, 2015).

Com aplicação de altas temperaturas sobre a madeira há um grande gasto energético, podendo causar degradação, escurecimento (REZENDE *et al.*, 2015) e resultar em perda de resistência mecânica da mesma, que pode variar de acordo com a espécie, com o tempo de exposição, com o meio de aquecimento e com a temperatura (SEVERO, 1998; SEVERO e TOMASELLI, 1999).

Ainda há a hipótese de que o processo de vaporização pode potencializar os efeitos do tratamento térmico na madeira (TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013) e, provocar uma lixiviação e/ ou degradação dos extrativos mais voláteis, reduzindo então a quantidade dos mesmos (DASHTI *et al.*, 2012; TAGHIYARI e MALEK, 2014; PACE *et al.*, 2019).

Pace (2016) verificou em seu experimento que a exposição da madeira por um período de 24 horas demonstrou maior eficiência no que diz respeito ao aumento da permeabilidade e da taxa de secagem da madeira, podendo ser justificado pela redução dos teores de extrativos.

Calonego e Severo (2005) constataram reduções significativas no comprimento e na largura das rachaduras em peças previamente tratadas com vapor durante 20 horas, apresentando então redução de defeitos em toras de vários diâmetros. Fato que corrobora com a redução das tensões de crescimento, do módulo de ruptura e da tensão no limite de proporcionalidade (TLP) encontradas por Severo e Tomaselli (2000) em peças e *E. dunnii* tratadas com vapor durante 20 horas.

Calonego e Severo (2004) verificaram que a utilização de vapor em madeiras à temperatura de 90°C durante um período de 20 horas pode reduzir o aparecimento de defeitos de secagem em tábuas com diferentes diâmetros, que se apresentam como rachaduras e empenamentos, em ordem de importância.

Rezende *et al.* (2015) observaram melhoria na qualidade de secagem e aumento na taxa de secagem na madeira que passou previamente pelo tratamento de vaporização, sendo de aproximadamente 15%, passando de 4% (testemunha) para 4,6% ao dia, além de uma redução significativa dos defeitos de secagem.

A vaporização da madeira de *E. dunnii* demonstrou redução efetiva do gradiente de umidade e da umidade inicial e, um aumento na taxa de secagem (SEVERO e TOMASELLI, 2000).

## 2.7 Nanotecnologia

A nanotecnologia é uma nova técnica voltada para o estudo das propriedades da matéria em escala nanométrica, sendo esta tão pequena se fazendo necessária a ampliação de mais de 10 milhões de vezes para ser vista a olho nu. Existem duas abordagens principais para a aplicação da nanotecnologia: a primeira é dita “do topo para a base”, a qual é caracterizada pela miniaturização contínua de microssistemas e processos e, a segunda é denominada “da base para o topo”, que se dedica à manipulação de átomos para criação de estruturas (DIAS SILVA, 2006).

A nanociência pode ser definida como uma ciência que visa compreender os materiais em escala nanométrica, que variam de 0,1 a 100 nm, região em que os materiais apresentam comportamentos e propriedades diferentes das observadas em seu tamanho normal (CARREIRA *et al.*, 2009).

A aplicação da nanotecnologia tem modificado a forma de utilização de alguns materiais, visto que em escala nanométrica ( $10^{-9}$ ) as propriedades físicas e químicas dos mesmos sofrem modificação, principalmente no que diz respeito à reatividade química, resistência mecânica e comportamento sob ação de luz (GARCIA, 2011).

Pode se definir nanociências e nanotecnologias, como estudo e aplicações tecnológicas de dispositivos e objetos que tenham uma de suas dimensões em escala nanométrica. Sendo o prefixo “nano” (do grego “anão”) utilizado para definir uma parte em um bilhão (1nm). Contudo, a grande motivação para o desenvolvimento dessa tecnologia está relacionada com o surgimento de novas propriedades físicas e químicas, nessa nova escala. A alteração das propriedades do material se deve à combinação de dois fatores: a manifestação mais evidente dos efeitos quânticos e a maximização dos efeitos de superfície devido o aumento da proporção entre área e volume (MELO e PIMENTA, 2004).

## 2.8 Nanopartículas de prata

Durante séculos a prata foi utilizada como antisséptico, além de não apresentar ação nociva ao homem quando em baixas concentrações. Além disso, este metal apresenta boas características na ação antimicrobiana (BECHTOLD, 2011).

Nanopartículas metálicas podem apresentar propriedades bactericidas despertando atenção em áreas como catálise, nanoeletrônica e na medicina. Na maioria dos estudos, verifica-se a relação com as nanopartículas de prata ou prata coloidal, visto que poucos microrganismos apresentam resistência contra a mesma. Contudo, outros metais foram estudados, resultando na seguinte escala de toxicidade contra microrganismos: Ag > Hg > Cu > Cd > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn >, sendo a prata o metal com menor toxicidade para células animais (NETO, RIBEIRO e ZUCOLOTTO, 2008).

Um sistema coloidal possui algumas características marcantes como as dimensões, a forma e a flexibilidade das partículas, as propriedades superficiais e as interações entre as partículas e entre a partícula e o solvente (BECHTOLD, 2011).

Durante os anos, os nanometais demonstraram possibilidade de aplicação na medicina pela ação dos íons e metais reduzidos contra microrganismos, como bactérias patológicas, devido a interação com células vivas (GARCIA, 2011).

Ao se preparar nanometais, como prata e cobre, espera-se que as características antimicrobianas apresentem melhores resultados devido a sua maior superfície específica (YOON *et al.*, 2007).

Desde os primórdios, a prata tem se mostrado um antibiótico de grande eficácia, apresentando como principal fator limitante seu alto custo de obtenção. O somatório de sua ação antimicrobiana e sua maior eficácia em tamanho manométrico possibilitaria a substituição de antibióticos para tratamento de infecções bacterianas e fúngicas, os quais geralmente são tóxicos e apresentam alto risco de se tornarem inócuos (GARCIA, 2011).

Segundo Carreira, Pereira *et al.*, (2009) as nanopartículas de prata apresentam função antimicrobiana sobre *S. aureus*, *S. mutans*, *E. faecalis*, *E. coli* aderidas a limas endodônticas e a efetividade da solução está relacionada com o tempo que a mesma permanece em contato com o organismo.

A preparação de nanopartículas de metal pode ocorrer por vários métodos, os quais influenciam suas propriedades e tamanho. Métodos como a redução eletroquímica, deposição térmica, deposição vapor-metal, redução química, entre outros são utilizados, contudo, a redução química é tida como a técnica mais simples e versátil (BECHTOLD, 2011).

As nanopartículas apresentam uma grande área superficial bem como propriedades magnéticas, mecânicas, químicas e óticas distintas de partículas macroscópicas. Seu tamanho diminuto facilita sua difusão e transporte pela atmosfera, pelo solo e pela água, no entanto, existem poucos estudos que relatam sobre a biodegradabilidade, toxicidade e biodisponibilidade de novos nanometais (QUINA, 2004).

Devido ao aumento da superfície de contato causada pela redução do tamanho das partículas, o uso de substâncias pulverizadas a tamanhos nanométricos vem proporcionando avanços na área de catálise química e na montagem de estruturas maiores utilizando nanomateriais (GARCIA, 2011).

## **2.9 Nanopartículas de prata e a madeira**

É crescente o uso de nanopartículas de prata para tratamento em madeiras, devido a algumas vantagens como aumento da durabilidade, retardante de chamas, diminuição da higroscopicidade, diminuição da permeabilidade e catalisador na secagem da madeira (DASHTI *et al.*, 2012; TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013; TAGHIYARI e MALEK, 2014).

Durante a secagem da madeira, o calor é transferido para o interior da peça por difusão, condução e convecção. Sendo assim, a impregnação com nanopartículas de prata contribui com o processo de transferência, pois as partículas ficam espalhadas pelas paredes

celulares, pontuações e vasos (TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012; TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013).

A utilização de temperatura intermediária (60°C) para a secagem de alguns clones de seringueira pode trazer redução de defeitos quando comparada a temperatura mais elevada (80°C), sendo então mais indicado um programa moderado (MARTINS, MARQUES e GOUVEIA, 2019)

Segundo Pace (2016), a impregnação de nanopartículas de prata precedida de aplicação de vácuo resultou em um incremento significativo na taxa de secagem durante a movimentação por difusão, podendo ser explicado pelo possível favorecimento da transferência de vapor de água oriundo da redução da adsorção de água causado pela adesão de nanometais nas paredes celulares.

Pace *et al.* (2019) verificaram que a utilização da vaporização da madeira por 24 horas juntamente com a impregnação de nanopartículas de prata com prévia aplicação de vácuo demonstrou contribuição significativa na taxa de secagem de *E. pellita*, antes e após o ponto de saturação das fibras.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta e preparo do material

Foram analisadas as madeiras de dois clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*), PB311-MDF180 (PB) e TP875 (TP), com 20 anos de idade, oriundos de um plantio da Empresa Michelin (*Manufacture Française des Pneumatiques Michelin*), localizado no município de Igrapiúna, região sul da Bahia.

Tabela 1 Informações complementares dos clones utilizados no experimento

Clone	Espaçamento (m)	DAP Médio (cm)	Altura Média (m)
PB311-MDF180	2,5 m x 8,0 m	28,0112	15
TP875		27,3746	14

DAP: diâmetro a altura do peito, dado em metros.

Foram utilizadas três árvores de cada clone, selecionadas aleatoriamente de forma a representar as diferentes classes diamétricas encontradas no plantio. Após a derrubada, as árvores foram seccionadas aproveitando-se a primeira tora, de comprimento de 3,0 m para análise. O desdobro primário foi realizado em uma serra vertical e seguiu um sistema conduzido com dois tombos na tora, com o objetivo de retirar as costaneiras.

Para a confecção dos corpos-de-prova, as toras foram desdobradas numa serra fita horizontal e em seguida cortadas nas dimensões 2 cm x 2 cm x 10 cm (largura x espessura x comprimento). Posteriormente, houve a identificação de acordo com cada tratamento e demarcação das regiões nas extremidades para a realização das mensurações das dimensões, feitas com auxílio de um paquímetro (precisão 0,01mm).

#### 3.2 Processo de vaporização

A vaporização foi realizada em uma autoclave horizontal experimental com capacidade de aproximadamente 0,18 m<sup>3</sup> e, o controle de temperatura e pressão e ocorreu por um período de 24 horas contínuas. O vapor foi gerado com o auxílio de uma caldeira com

capacidade de  $8 \text{ Kg.h}^{-1}$  com vazão de  $60 \text{ kg.h}^{-1}$ , a máxima temperatura e umidade utilizadas foram respectivamente,  $96^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $90\%\pm 5\%$ .

O monitoramento da umidade ocorreu com o auxílio de um termo higrômetro digital, com variação de 2% na umidade e  $0,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura. A válvula para liberação do vapor era mantida fechada sempre que a umidade relativa do ar no interior da autoclave estivesse superior a 95%.

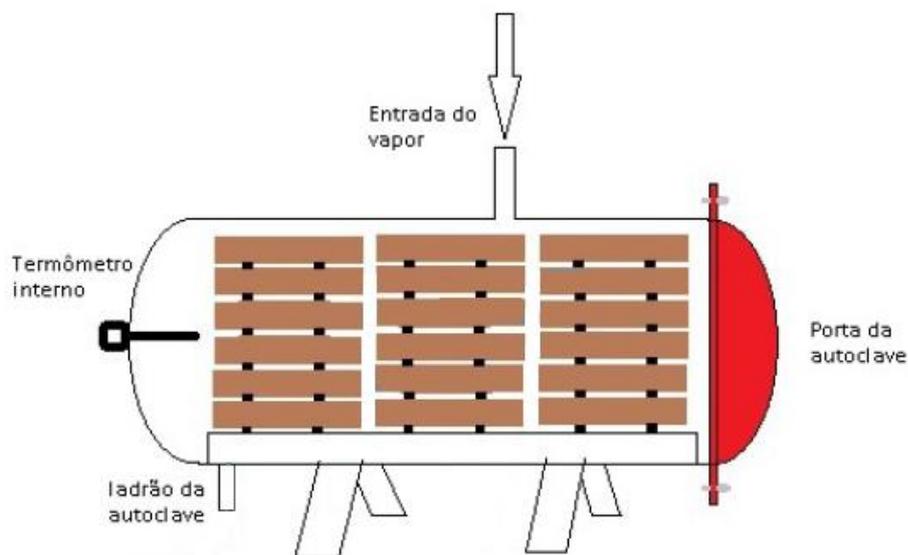


Figura 1 Esquema da autoclave experimental horizontal utilizada no processo de vaporização dos corpos de prova. Adaptado (PACE, 2016).

### 3.3 Impregnação de nanopartículas de prata

A solução de nanopartículas de prata foi cedida pela empresa brasileira KHEMIA Nanopartículas LTDA, com concentração de 22ppm contendo nanoparticulados com tamanhos entre 5 e 20 nm, consideradas como um colóide de grande estabilidade e pureza devido a ausência de surfactantes.

O processo de impregnação com NPs ocorreu em madeiras vaporizadas e não vaporizadas. Foi realizado em um dessecador com dimensões 45 cm x 50 cm x 40 cm (largura x altura x comprimento) com uma bomba de vácuo acoplada.

A aplicação do vácuo foi realizada em dois períodos distintos, 30 e 60 minutos sob a pressão negativa de 750 mmHg. Após isso, houve a impregnação realizada por imersão simples durante um período de 6 horas contínuas, nos corpos de prova com e sem vácuo inicial e vaporização, excetuando apenas o grupo Controle e VAP24.

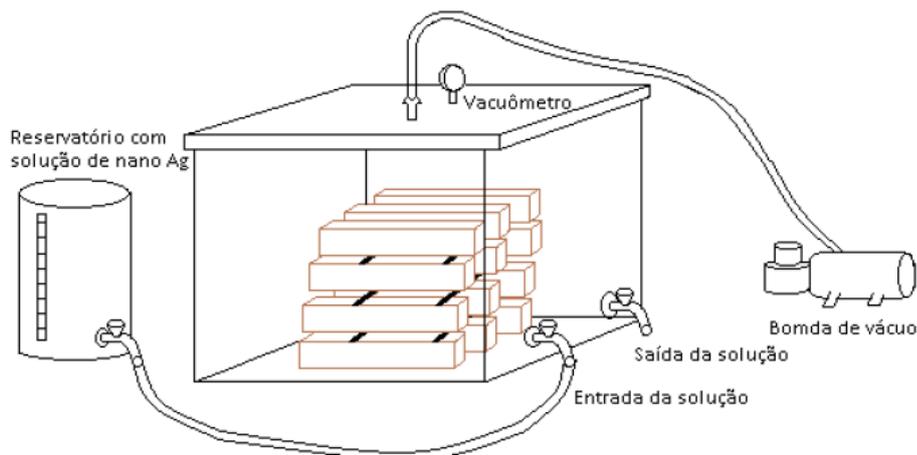


Figura 2 Dessecador e bomba de vácuo para aplicação da solução contendo nanopartículas de prata (PACE, 2016).

### 3.4 Processo de secagem da madeira

O processo de secagem foi realizado em uma estufa com ventilação forçada a uma temperatura de  $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , e consistiu na pesagem constante das peças com auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01g e, na mensuração das dimensões feita por um paquímetro com precisão de 0,001mm, em intervalos de 15 minutos. O registro das respectivas massas e dimensões foi realizado até que as mesmas atingissem 12% de umidade e, para obtenção da madeira anidra foram secas à  $103^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 Absorção média de nanopartículas de prata

A determinação da absorção média de NPs nos corpos de prova foi obtida através da diferença entre as massas úmida e seca, conforme a equação a seguir. Com o objetivo de certificar que as peças conseguiram absorver as partículas da solução.

$$Ab = \frac{Psat - Pseco}{Psat} * 100$$

Equação 1 Absorção média de nanopartículas de prata (%).

Em que:

Ab = absorção média de nanopartículas de prata (%)

Psat = peso saturado da madeira, obtido após a impregnação com nanopartículas de prata (g)

Pseco = peso seco da madeira (g)

### 3.5 Taxa de secagem da madeira

A partir da perda de massa registrada durante todo o processo de secagem, foi determinada a taxa de secagem da madeira para cada tratamento. A taxa de secagem foi obtida através da equação 1:

$$TS = \frac{M}{t * AT}$$

Equação 2 Taxa de Secagem ( $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Em que:

Ts = taxa de secagem para um determinado intervalo de umidade ( $\text{kg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )

Mágua = massa d'agua removida da madeira (kg)

t = tempo de secagem (h)

AT = superfície de evaporação ( $\text{cm}^2$ )

A superfície de evaporação foi obtida através da equação 2, considerando a área de um prisma para a amostra.

$$AT = 2(a * b + a * c + b * c)$$

Equação 3 Superfície de Evaporação ( $\text{cm}^2$ ).

Em que:

AT = superfície de evaporação ( $\text{cm}^2$ )

a, b e c = medidas das faces do corpo de prova prismático (cm)

### 3.6 Propriedades físicas

Para a avaliação das propriedades de contração linear (radial e tangencial), volumétrica e da determinação do coeficiente de anisotropia, os corpos de prova foram mensurados com o auxílio de um paquímetro, a fim de obter as medidas lineares a cada 15 minutos até a umidade final de 12%. Foram determinadas a contração volumétrica total, radial e tangencial média e o coeficiente de anisotropia para cada tratamento.

A variação volumétrica das amostras foi mensurada conforme a equação 3:

$$\Delta V = \frac{V_{\text{sat}} - V_{\text{seco}}}{V_{\text{seco}}} * 100$$

Equação 4 Variação Volumétrica (%).

Em que:

$\Delta V$  = variação volumétrica para um determinado intervalo de umidade (%)

$V_{\text{sat}}$  = volume saturado da madeira ( $\text{cm}^3$ )

$V_{\text{seco}}$  = volume da madeira após secagem por determinado tempo ( $\text{cm}^3$ )

### 3.7 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental consistiu em seis grupos (tratamentos) com doze corpos de prova cada um (repetições). O Grupo I é constituído por corpos de prova sem tratamentos. Os grupos II e III foram submetidos ao vácuo por 30 e 60 minutos, respectivamente, e em seguida impregnados com nanopartículas de prata. Os grupos IV e V são formados por madeiras submetidas à vaporização por um período de 24 horas, com prévia aplicação de 30 e 60 minutos de vácuo e, posterior impregnação com a solução. O grupo VI é constituído por corpos de prova apenas vaporizados por 24h (figura 4).

Cada clone foi considerado um experimento diferente, visto que o objetivo é comparar os resultados entre os tratamentos e não entre os materiais genéticos.

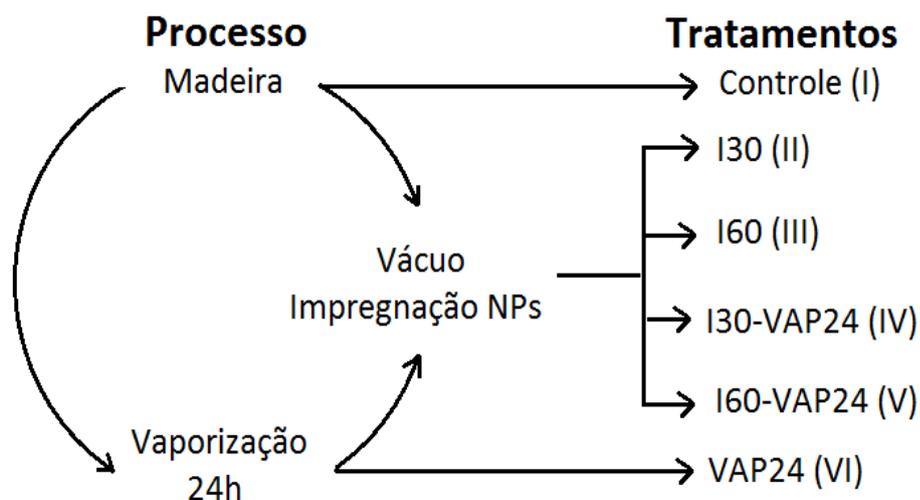


Figura 3 Esquema global dos tratamentos utilizados no experimento.

Sendo os tratamentos: II (I30) e III (I60) com prévia aplicação de vácuo e imersão por 6 horas; IV (I30-VAP24) e V (I60-VAP24) vaporização por 24horas e imersão por 6 horas e; I (Controle) e VI (VAP24) não passaram por imersão na solução com NPs.

Sendo aceito os pré-requisitos estatísticos de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, a 5% de significância) e homogeneidade da variância (Bartlett, a 5% de significância), para a variável taxa de secagem, foi adotado o método de análise paramétrica (ANOVA), com delineamento inteiramente casualizado. O teste de Tukey foi utilizado para comparação de médias ao nível de confiança de 95%, todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

A análise estatística utilizada para as propriedades físicas foi o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (95% de probabilidade) para a comparação dos postos médios, visto que os dados não seguiram uma distribuição normal (teste de Lillefors). Após esse teste, procedeu-se a análise pelo teste de Dunn, para comparação de médias (95% de probabilidade).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Absorção de nanopartículas de prata

Com a diferença entre as massas antes e após a impregnação de nanopartículas de prata constatou-se um ganho de massa nos corpos de prova, certificando a penetração e absorção da solução nas peças.

Para o clone PB, observou-se que o tratamento I60 absorveu maior quantidade da solução, em microgramas, enquanto que o menor valor foi encontrado no tratamento I30. Já para o clone TP, verifica-se também que as peças que passaram pelo vácuo de 60 minutos apresentaram maior absorção média, e que o tratamento I60-VAP24 obteve o pior resultado.

O método de impregnação da solução na madeira utilizou apenas vácuo inicial, portanto, é possível que as NPs tenham ficado retidas também nas cavidades celulares. Diferentemente do que foi encontrado por Taghiyari, Enayati e Gholamiyan (2013), que utilizaram o método de impregnação de célula vazia, o qual removeu parte da suspensão dos poros celulares, resultados semelhantes também foram encontrados por Taghiyari, Layeghi e Liyafooe (2012).

Tabela 2 Absorção média da solução de nanopartículas de prata por tratamento.

Tratamentos		Absorção Média			
		PB311-MDF180		TP875	
		Percentual (%)	Microgramas ( $\mu\text{g}$ )	Percentual (%)	Microgramas ( $\mu\text{g}$ )
II	I30	52,01	108,29	52,80	82,77
III	I60	56,88	125,07	60,06	90,64
IV	I30-VAP24	52,60	109,12	55,99	86,84
V	I60-VAP24	53,45	109,89	51,75	74,41

## 4.2 Secagem da madeira

A tabela abaixo mostra os valores de densidade básica e aparente, encontrados para os corpos de prova dos dois clones.

Tabela 3 Densidade básica e aparente da madeira dos clones de Hevea brasiliensis.

Clones	Densidade básica ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Densidade aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
PB311-MDF180	0,512	0,546
TP875	0,516	0,565

Conforme dados da tabela 3, nota-se que a taxa de secagem dos clones TP e PB obtiveram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

Tabela 4 Médias das taxas de secagem da madeira de dois clones de seringueira, PB311-MDF180 e TP875.

Tratamentos	Taxa de Secagem (TS)					
	TS Total		TS Capilaridade		TS Difusão	
	PB	TP	PB	TP	PB	TP
Controle	0,528 <sub>(0,07)</sub> <sup>C</sup>	0,495 <sub>(0,08)</sub> <sup>C</sup>	0,916 <sub>(0,10)</sub> <sup>BC</sup>	0,871 <sub>(0,11)</sub> <sup>B</sup>	0,029 <sub>(0,04)</sub> <sup>C</sup>	0,03 <sub>(0,01)</sub> <sup>C</sup>
I30	0,700 <sub>(0,11)</sub> <sup>AB</sup>	0,721 <sub>(0,15)</sub> <sup>A</sup>	1,100 <sub>(0,16)</sub> <sup>AB</sup>	1,239 <sub>(0,24)</sub> <sup>A</sup>	0,044 <sub>(0,09)</sub> <sup>A</sup>	0,045 <sub>(0,13)</sub> <sup>A</sup>
I60	0,724 <sub>(0,11)</sub> <sup>A</sup>	0,711 <sub>(0,10)</sub> <sup>A</sup>	1,171 <sub>(0,19)</sub> <sup>A</sup>	1,35 <sub>(0,29)</sub> <sup>A</sup>	0,046 <sub>(0,09)</sub> <sup>A</sup>	0,046 <sub>(0,12)</sub> <sup>A</sup>
VAP24	0,470 <sub>(0,12)</sub> <sup>C</sup>	0,589 <sub>(0,11)</sub> <sup>B</sup>	0,745 <sub>(0,15)</sub> <sup>C</sup>	1,238 <sub>(0,25)</sub> <sup>A</sup>	0,030 <sub>(0,10)</sub> <sup>C</sup>	0,031 <sub>(0,15)</sub> <sup>C</sup>
I30-VAP24	0,643 <sub>(0,08)</sub> <sup>B</sup>	0,536 <sub>(0,12)</sub> <sup>BC</sup>	1,070 <sub>(0,16)</sub> <sup>AB</sup>	0,824 <sub>(0,14)</sub> <sup>B</sup>	0,037 <sub>(0,14)</sub> <sup>B</sup>	0,033 <sub>(0,11)</sub> <sup>BC</sup>
I60-VAP24	0,631 <sub>(0,12)</sub> <sup>B</sup>	0,516 <sub>(0,10)</sub> <sup>BC</sup>	1,022 <sub>(0,19)</sub> <sup>AB</sup>	0,892 <sub>(0,25)</sub> <sup>B</sup>	0,036 <sub>(0,10)</sub> <sup>B</sup>	0,038 <sub>(0,19)</sub> <sup>B</sup>

PB (clone PB311-MDF180); TP (clone TP875). Diferença das médias do Teste Tukey (95% de confiança) para os resultados de taxa de secagem dos clones; A,B,C denotam diferenças estatísticas entre os tratamentos, analisadas por coluna. Valores entre parênteses expressam o coeficiente de variação.

Para a taxa de secagem total (TS Total) do clone PB as maiores médias foram encontradas nos tratamentos que passaram somente pela impregnação com nanopartículas de prata com aplicação de vácuo (I30 e I60), enquanto que o tratamento de vaporização (VAP24) se equiparou ao controle. E, para o clone TP observou-se resultado semelhante para os

maiores valores de taxa de secagem e, os tratamentos com impregnação precedida de vaporização (I30-VAP24 e I60-VAP24) apresentaram resultados próximos ao controle. O incremento na taxa de secagem encontrado para a TS Total que pode ser explicado pela ação dos nanometais de potencializar a condutividade, devido sua grande área superficial (JOHNSEN *et al.*, 2012), fazendo com que a perda de água das peças ocorra de forma mais rápida.

Pace *et al.* (2019) constataram no experimento com *Eucalyptus pellita* que houve deposição de nanopartículas de prata na superfície das paredes dos vasos e na ultraestrutura da parede das fibras, resultando em um acréscimo significativo na taxa de secagem, devido aos ganhos antes e após o ponto de saturação das fibras. Sendo assim, é possível que as NPs contidas na solução tenham sido impregnadas nas paredes e nas cavidades celulares das amostras de seringueira provocando efeito positivo no aumento da taxa de secagem.

Na taxa de secagem da capilaridade (TS Capilaridade) observou-se que para ambos os clones a prévia vaporização juntamente com a impregnação de NPs exerceram influência sobre os resultados encontrados. Para o clone PB os grupos I30, I60, I30-VAP24 e I60-VAP24 não se diferiram estatisticamente enquanto que para o clone TP, os tratamentos I30, I60 e VAP24 demonstraram o mesmo comportamento.

Pode-se atribuir ao vácuo a retirada das bolhas de ar do interior da madeira, facilitando a penetração e o fluxo da solução com os nanometais e, ao vapor a redução da rigidez das paredes celulares, a reorganização das microfibrilas da parede celular, o aumento da permeabilidade da madeira devido alterações na composição química (BRITO *et al.*, 2008; PACE *et al.*, 2019), desobstrução de vasos e pontuações (ALEXIOU *et al.*, 1990), redução dos teores de extrativos (PACE *et al.*, 2019), solubilização de carboidratos (JOHNSON *et al.*, 2017) e facilitação da saída de água livre (CALONEGO *et al.*, 2006). A associação entre impregnação de nanopartículas de prata e vaporização interfere nas ligações existentes nas paredes celulares, resultando então na inativação dos sítios de sorção feitos pelas hidroxilas, causando um incremento na taxa de secagem (PACE, 2016).

Além disso, a baixa higroscopicidade da prata e a redução dos teores de carboidratos devido o tratamento térmico (JOHNSON *et al.*, 2017; PACE *et al.*, 2019; TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012), podem resultar em uma menor absorção de água pelas células da madeira.

Rezende *et al.* (2015) encontraram um aumento de 15% na taxa de secagem de tábuas de *E. grandis* submetidas à vaporização (90°C e 100% de umidade relativa por 3 horas), corroborando com o incremento encontrado na TS Capilaridade neste experimento.

As maiores médias encontradas para a taxa de secagem de difusão (TS Difusão), em ambos os clones, foram obtidas nos tratamentos submetidos somente a impregnação de NPs (I30 e I60). A difusão é um processo mais lento e complexo quando comparado à capilaridade, fazendo com que a superfície das peças alcance rapidamente teores mais baixos de umidade, enquanto que a parte central ainda permanece úmida ou quase que saturada (JANKOWSKY, SANTOS e ANDRADE, 2000; BRAZ *et al.*, 2015).

Desta forma, verifica-se que o vácuo provocou um incremento significativo na secagem da madeira de seringueira. O processo de impregnação faz com que as nanopartículas metálicas fiquem espalhadas pelas paredes celulares, vasos e pontuações, favorecendo a transferência de calor para o interior da madeira, principalmente por difusão, condução e convecção (TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013; TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012).

A deposição de nanometais no interior das células e nas paredes pode ter aumentado a condutividade térmica devido a possível ampliação da área de contato da madeira com a fonte de calor, transmitindo-o para camadas mais internas reduzindo então o gradiente de umidade (TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012).

Os gráficos gerados demonstram o comportamento de cada tratamento até atingir o teor de umidade desejado, 12%, conforme a figura 5.

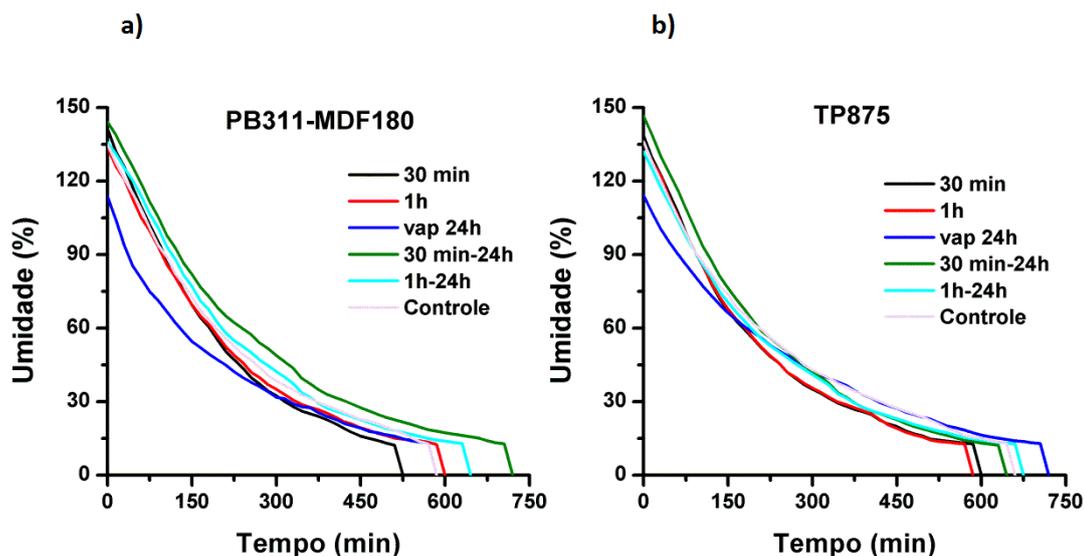


Figura 4 Curvas de secagem dos clones, obtidas para cada tratamento. (a) PB311-MDF180 e (b) TP875.

Verifica-se que para os dois clones o tratamento com vaporização por 24 horas iniciou o processo de secagem com menor umidade inicial e perderam mais água no início do processo, no entanto concluíram a secagem em maior tempo. Para o clone PB o tratamento que atingiu a umidade desejada em menor tempo foi o I30 e para o clone TP, o tratamento I60. Pode-se atribuir ao vapor a promoção de rearranjos químicos na madeira, reduzindo a quantidade de vias de saída de água, denotando efeito significativo no movimento de difusão (PACE *et al.*, 2019). As nanopartículas de prata podem ter favorecido o processo de transferência de calor para partes mais internas da madeira sólida (TAGHIYARI, 2012; TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013; TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012).

Severo e Tomaselli (2001) relataram que a pré-vaporização proporcionou uma redução estatística significativa entre as médias obtidas no teor de umidade inicial da madeira de *Eucalyptus dunnii* e que aparentemente não proporcionou mudanças no volume inicial das peças. Este resultado corrobora com o encontrado para a madeira de seringueira, podendo ser explicado pela possível remoção de extrativos e demais substâncias voláteis encontradas na composição da madeira, promovendo então maior saída de água em tempo reduzido.

A vaporização sem nenhuma pressão adicional, antes do processo de secagem, tem promovido um aumento na permeabilidade (SEVERO e TOMASELLI, 2001), uma possível redução, amolecimento e lixiviação do teor de extrativos totais da madeira (PACE, 2016) bem como nos teores de hemicelulose, holocelulose e demais compostos da madeira (ROCHA, 2011; HILLIS, 1984). Além disso, esse tratamento provoca a plasticização das paredes celulares da madeira, deixando-as maleáveis (SIMPSON, 1991 apud PACE, 2016; SEVERO, 1998), facilitando então a saída de água da madeira.

De acordo com Rocha (2011), as hemiceluloses são componentes facilmente hidrolisáveis e instáveis termicamente, devido sua natureza não cristalina, estrutura heterogênea, baixo peso molecular, alta higroscopicidade. Quando submetidas a temperaturas próximas a 55°C inicia-se seu amolecimento e, em temperaturas próximas de 100°C começa a redução dos teores.

Em seu experimento com *Hevea brasiliensis*, Rodrigues (2012) observou que a vaporização de toras, a pré-vaporização e a combinação dos dois processos não promovem efeitos significativos no teor de umidade inicial, tempo de secagem total, acima e abaixo do ponto de saturação das fibras. Alexiou, Wilkins e Hartley (1990) encontraram resultados opostos para a madeira de *E. pilularis*, onde o processo de pré-vaporização promoveu um aumento de 7 a 16% na taxa de secagem. No entanto, neste experimento verificou-se o contrário do que alguns autores relatam sobre a espécie, onde a vaporização exerceu influência positiva na redução do teor de umidade inicial no processo de secagem.

### 4.3 Propriedades físicas

A tabela abaixo apresenta o comportamento dos tratamentos quanto à contração linear (radial e tangencial) e coeficiente de anisotropia.

Tabela 5 Propriedades físicas da madeira de *Hevea brasiliensis*, obtidas para cada tratamento.

Clone TP				
Tratamentos	Contração volumétrica	Contração radial	Contração tangencial	Coefficiente de anisotropia
Controle	14,1 <sub>(0,19)</sub> <sup>B</sup>	5,32 <sub>(37,84)</sub> <sup>B</sup>	6,94 <sub>(0,19)</sub> <sup>B</sup>	1,46 <sub>(0,43)</sub> <sup>B</sup>
I30	8,05 <sub>(0,13)</sub> <sup>A</sup>	3,12 <sub>(0,23)</sub> <sup>A</sup>	3,7 <sub>(0,13)</sub> <sup>A</sup>	1,25 <sub>(0,26)</sub> <sup>B</sup>
I60	7,46 <sub>(0,13)</sub> <sup>A</sup>	3,51 <sub>(0,13)</sub> <sup>B</sup>	3,36 <sub>(0,22)</sub> <sup>A</sup>	0,97 <sub>(0,25)</sub> <sup>A</sup>
VAP24	7,28 <sub>(0,09)</sub> <sup>A</sup>	3,3 <sub>(0,24)</sub> <sup>A</sup>	3,4 <sub>(0,12)</sub> <sup>A</sup>	1,11 <sub>(0,34)</sub> <sup>B</sup>
I30-VAP24	7,36 <sub>(0,10)</sub> <sup>A</sup>	3,55 <sub>(0,24)</sub> <sup>B</sup>	3,11 <sub>(0,23)</sub> <sup>A</sup>	0,95 <sub>(0,44)</sub> <sup>A</sup>
I60-VAP24	7,85 <sub>(0,08)</sub> <sup>A</sup>	3,02 <sub>(0,15)</sub> <sup>A</sup>	3,75 <sub>(0,20)</sub> <sup>A</sup>	1,22 <sub>(0,33)</sub> <sup>B</sup>
Clone PB311-MDF180				
Tratamentos	Contração volumétrica	Contração radial	Contração tangencial	Coefficiente de anisotropia
Controle	9,89 <sub>(0,18)</sub> <sup>B</sup>	4,42 <sub>(0,33)</sub> <sup>A</sup>	4,68 <sub>(0,27)</sub> <sup>B</sup>	1,32 <sub>(0,47)</sub> <sup>A</sup>
I30	7,54 <sub>(0,09)</sub> <sup>A</sup>	3,62 <sub>(0,30)</sub> <sup>A</sup>	3,1 <sub>(0,27)</sub> <sup>A</sup>	0,98 <sub>(0,72)</sub> <sup>A</sup>
I60	8,45 <sub>(0,33)</sub> <sup>AB</sup>	3,63 <sub>(0,24)</sub> <sup>A</sup>	3,32 <sub>(0,39)</sub> <sup>A</sup>	0,88 <sub>(0,58)</sub> <sup>A</sup>
VAP24	9,97 <sub>(0,26)</sub> <sup>B</sup>	3,95 <sub>(0,37)</sub> <sup>A</sup>	4,3 <sub>(0,51)</sub> <sup>B</sup>	1,53 <sub>(0,72)</sub> <sup>A</sup>
I30-VAP24	10,02 <sub>(0,20)</sub> <sup>B</sup>	4,11 <sub>(0,39)</sub> <sup>A</sup>	40,6 <sub>(0,26)</sub> <sup>B</sup>	1,17 <sub>(0,60)</sub> <sup>A</sup>
I60-VAP24	9,86 <sub>(0,19)</sub> <sup>B</sup>	3,83 <sub>(0,38)</sub> <sup>A</sup>	4,73 <sub>(0,45)</sub> <sup>B</sup>	1,42 <sub>(0,58)</sub> <sup>A</sup>

Diferença das médias do Teste Tukey (95% de confiança) para os resultados de contração volumétrica e anisotropia dos clones; A,B,C denotam diferenças estatísticas entre os tratamentos, analisadas por coluna. Valores entre parênteses expressam o coeficiente de variação.

Todos os tratamentos contribuíram para a redução da contração volumétrica total dos corpos de prova, minimizando os efeitos negativos da secagem da madeira. No clone TP verificou-se que todos os tratamentos obtiveram melhora significativa em relação ao controle,

enquanto que para o clone PB somente os grupos que passaram pela impregnação com NPs (I30 e I60) se diferiram dos demais. Ao iniciar o processo de secagem, a superfície entra em tensão e o núcleo da madeira em compressão, desta forma, a adição de nanopartículas de prata faz com que a transferência de calor ocorra mais rapidamente para as partes mais internas (DASHTI *et al.*, 2012; TAGHIYARI, ENAYATI e GHOLAMIYAN, 2013; TAGHIYARI e MALEK, 2014), levando à redução da diferença no tempo de encolhimento entre as superfícies interna e externa da madeira, reduzindo as tensões (TAGHIYARI, LAYEGHI e LIYAFOOEE, 2012).

Na contração radial, nota-se que os tratamentos I30, VAP24 e I60-VAP24 do clone TP se diferiram do controle, enquanto que para o clone PB não houve diferença significativa entre nenhum. Sendo assim, a contração radial das peças exerce influência ínfima na contração total. Em relação à contração tangencial, os corpos de prova do clone PB que passaram somente pela impregnação com NPs obtiveram os melhores resultados e, portanto menor contração, enquanto que para o clone TP, todos os tratamentos se diferiram do controle.

Nota-se que a redução da contração volumétrica total dos corpos de prova recebeu maior influência da contração no sentido tangencial, devido a presença de maior quantidade de paredes celulares radiais, as quais são deslignificadas e mais maleáveis. A imersão simples com nanopartículas de prata associada à vaporização auxiliou na redução da contração das peças, corroborando com a hipótese de que o vapor reduz a rigidez das paredes celulares e causa uma acomodação das células, devido a uma possível liberação das tensões de crescimento pelo relaxamento das deformações por meio do emprego momentâneo de umidade e calor (REZENDE, ESCOBEDO e FERRAZ, 1988).

Alguns autores citam melhora significativa das propriedades físicas de madeiras quando vaporizadas. Yilgor, Unsal e Kartal (2001) constataram que o processo de vaporização aaprovocou um ligeiro efeito nas contrações radial e tangencial e uma redução nas propriedades físicas da madeira, afetando a força de compressão, o módulo de elasticidade e a densidade em cerca de 2%.

Para o coeficiente de anisotropia foram encontradas médias com valores menores que 1,5, resultando então em uma tendência de maior estabilidade dimensional da madeira (BRAZ *et al.*, 2013). No entanto, tal fato entra em desacordo com o que Lorenzi (1992) e Martins, Marques e Gouveia (2019) relatam sobre a baixa instabilidade dimensional da madeira de seringueira.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados é possível concluir que:

- O processo de impregnação de nanopartículas de prata promove um incremento na taxa de secagem da madeira *de Hevea brasiliensis*;
- O vácuo aplicado previamente à impregnação com nanopartículas de prata contribui com a transferência de massa de água por difusão;
- A madeira dos dois clones de seringueira apresentam respostas diferentes em estabilidade dimensional frente aos tratamentos aplicados. Enquanto no clone TP a impregnação precedida de vaporização e vácuo reduziu o coeficiente de anisotropia, o clone PB não obteve resposta significativa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXIOU, P. N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY,. Efeito do pré-vapor na taxa de secagem, anatomia da madeira e retração do rebrotamento *Eucalyptus pilularis* Sm. **Wood Science and Technology** , v. 24, p. 103-110, 1990. 1.
- BARROS, C. H. N. D. Síntese e caracterização de nanopartículas de prata : estudo de interações com biomoléculas e atividade antimicrobiana, Campinas - SP, 2017.
- BECHTOLD, M. Síntese e caracterização de nanopartículas de prata e aplicação como agente biocida em tinta poliuretânica hidrossolúvel. **Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis**, 2011.
- BRANDÃO, A. T. D. O. Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras, Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz, 1989.
- BRAZ, R. L. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 43, p. 663-670, 2013. 4.
- BRAZ, R. L. et al. Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 117-123, 2015. 1.
- BRITO, et al. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource technology**, v. 99, p. 8545-8548, 2008. 18.
- CALONEGO, F. W. et al. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, p. 169-180, dezembro 2006. 2.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. EFEITO DA VAPORIZAÇÃO DE TORAS NA SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 11 , p. 07-13, agosto/dezembro 2004. 1.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados a tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, p. 431-440, 2005. 4.
- CARREIRA, C. M. et al. EFICÁCIA ANTIMICROBIANA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE ESPOROS, LEVEDURAS E BACTÉRIAS. **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação– Universidade do Vale do Paraíba**, São José dos campos, 2009.
- CORREDATO, R. A.; MALAVASI, ; DE MATOS MALAVASI, M. Efeito da frequência da sangria em diferentes clones na produtividade de seringueira. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, p. 318-322, 2014. 4.

DASHTI, H. et al. The Effect Of Nanoclay On The Mass Transfer Properties Of Plywood. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures** , v. 7, p. 853 - 860, abril-junho 2012. 3.

DIAS SILVA, P. Nanotecnologia. **Janus 2006: A nova diplomacia**, Lisboa, 2006.

FARAGO ESCOBAR, J. Influência da qualidade das lâminas no desempenho físico-mecânico de painéis compensados de Hevea brasiliensis, Botucatu - SP, 2011.

GARCIA, M. V. D. Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis, Campinas - SP, 2011.

HILLIS, W. E. High temperature and chemical effects on wood stability. **Wood Science and Technology** , v. 18 , p. 281-293, 1984. 4.

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para a secagem de madeiras. **Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria**, 1995. 109-118.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V. D.; ANDRADE, A. D. Secagem da madeira serrada de eucalipto, Piracicaba - SP, p. 1-14, 2003. 199.

JANKOWSKY, V. P.; SANTOS, G. R. V. D.; ANDRADE, A. D. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **XV Jornadas Forestales de Entre Rios**, Concordia, AR, outubro 2000.

JOHNSEN, et al. Conductivity enhancement of silver filled polymer composites through electric field alignment. **Composites Science and Technology**, v. 72, n. 15, p. 1841–1847, outubro 2012.

JOHNSON, A. M. et al. Natural acetylation impacts carbohydrate recovery during deconstruction of Populus trichocarpa wood. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, p. 48, 2017.

JUNIOR, E. F. D. O. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAMADEIRA DE Hevea brasiliensis EM RELAÇÃO AO PAINEL DE EXTRAÇÃO DE LÁTEX. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”**, Botucatu - SP, outubro 2011.

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

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de Eucalyptus. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 97-105, março 2010.

LEONELLO, E. C. et al. Classificação Estrutural e Qualidade da Madeira do Clone GT 1 de Hevea brasiliensis Muell. Arg. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 229-235, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MARTINS, L. S. Caracterização anatômica do lenho de reação em *Hevea Brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. provenientes de um plantio comercial, 2015.

MARTINS, V. A. Secagem de madeira serrada. **IBDF. Laboratório de Produtos Florestais**, Brasília, p. 56, 1988.

MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B.; GOUVEIA, F. N. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, p. 1469-1477, jul./set. 2019.

MELO, C. P. D.; PIMENTA, M. Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias estratégicas**, v. 9, p. 9-22, 2004.

MESQUITA, A. C. et al. SAZONALIDADE DA PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LÁTEX. **Bragantia**, v. 65, p. 633-639, 2006.

MIRANDA, M. C. D. et al. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 3, p. 55-65, novembro 2012.

NETO, E. A. B.; RIBEIRO, ; ZUCOLOTTI,. Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. **Embrapa Instrumentação-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, São Carlos - SP, novembro 2008.

OKINO, E. Y. A. et al. USO DAS MADEIRAS DE SERINGUEIRA, PINUS E CIPRESTE NA FABRICAÇÃO DE CHAPAS OSB. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 39, p. 457-468, abr./jun. 2009.

OLIVEIRA, J. T. D. S.; SILVA, J. D. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 381-385, 2003.

PACE, J. H. C. Efeito da vaporização e impregnação de nanopartículas nas variáveis do processo de secagem da madeira de *Eucalyptus pellita* F Muell, Seropédica, 2016.

PACE, J. H. C. et al. INFLUENCE OF VAPORIZATION AND IMPREGNATION OF SILVER NANOPARTICLES ON THE DRYING RATE OF *Eucalyptus pellita*F. MUELL. **Floresta**, v. 49, p. 579-586, 2019.

QUINA, F. H. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 1028-1029, novembro/dezembro 2004.

RAIA, R. Z. Laminação e produção de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*-Clone RRIM600, Curitiba, 2017.

RATNASINGAM , J.; MA, T. P. Optimizing the Cutting of Tension Wood in Rubberwood: An Economic and Quality Perspective. **Journal of Applied Sciences(Faisalabad)**, v. 10 , p. 2454-2458, 2010.

Relatório Ibá 2019. Indústria Brasileira de Árvores. São Paulo, p. 80. 2019.

REZENDE, M. A. D.; ESCOBEDO, J. F.; FERRAZ, E. S. B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, Piracicaba - SP, p. 33-40, agosto 1988.

REZENDE, R. N. et al. EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA SECAGEM DE TÁBUAS DE *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras - MG, v. 21, p. 37-43, 2015.

ROCHA, C. D. Efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis* sobre as suas propriedades químicas e resistência natural a fungos e cupins. **Repositório Institucional UNESP**, Botucatu - SP, agosto 2011.

RODRIGUES, P. L. M. Efeito da vaporização de toras e de madeira serrada na qualidade da secagem e na durabilidade biológica de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss.) Müll. Arg. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**, Botucatu - SP, setembro 2012.

SANTOS, C. L. D. Secagem ao ar livre da madeira de *Bertholletia excelsa* (CASTANHEIRA), Parauapebas, 2018.

SANTOS, G. R. V. D. Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden), Universidade de São Paulo, 2002.

SERVOLO FILHO, H. J. Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*-RRIM600 E GT1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual, Universidade de São Paulo, 2013.

SEVERO, E. T. D. Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid, Curitiba, 1998.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 10, p. 109-124, 2000.

SEVERO, E. T. D. et al. Changes in the Chemical Composition and Decay Resistance of Thermally-Modified *Hevea brasiliensis* Wood. **Plos One**, v. 11, p. e0151353, 2016.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. EFEITO DA PRÉ-VAPORIZAÇÃO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras - MG, v. 7, p. 35-42, 2001.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* sobre a flexão estática. **Floresta**, v. 29, 1999.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. **Sciencia Agraria**, v. 1, p. 29-32, 2000.

SILVA, J. D. C.; OLIVEIRA, J. T. D. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 233-239, 2003.

SIMPSON, W. T. Drying wood: a review - Part I. **Drying Technology: An International Journal**, n. 2, p. 235-264, 1983.

SKAAR,. **Wood-Water Relations**. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.

SUSIN, F. et al. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, abril/junho 2014.

TAGHIYARI, ; LAYEGHI, ; LIYAFOOEE, F. A. Effects of dry ice on gas permeability of nano-silverimpregnated *Populus nigra* and *Fagus orientalis*. **Institution of Engineering and Technology Nanobiotechnology** , v. 6, n. 2, p. 40–44, junho 2012.

TAGHIYARI,. Correlation between gas and liquid permeability in some nanosilver-impregnated and untreated hardwood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, p. 249-255, abril 2012.

TAGHIYARI, H. R.; ENAYATI, ; GHOLAMIYAN, H. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. **Wood Science and Technology**, v. 47, p. 467-480, 2013.

TAGHIYARI, H. R.; MALEK, B. M. Effect of heat treatment on longitudinal gas and liquid permeability of circular and square-shaped native hardwood specimens. **Heat Mass Transfer**, v. 50, n. 8, p. 1125-1136, março 2014.

TAKESHITA, ; JANKOWSKY, I. P. Redução na movimentação dimensional da madeira de Jatobá (*Hymenaea* sp.) e Muiracatiara (*Astronium* sp.) submetidas a tratamento térmico adicional. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 43, p. 345-352, junho 2015.

TEIXEIRA, D. E. et al. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, v. 8, p. 18-26, 2001.

TEOH, Y. P.; DON, M. M.; UJANG,. Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **Journal of Wood Science**, p. 255–266 , 2011.

VISCARRA, S. Guía para el secado de la madera en hornos. **Documento técnico**, v. 69, p. 1998, 1998.

YILGOR, N.; UNSAL, O.; KARTAL, S. N. Physical, mechanical, and chemical properties of steamed beech wood. **Forest Products Journal**, v. 51, n. 11/12, p. 89-93, novembro/dezembro 2001.

YOON, K.-Y. et al. Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. **Science of the Total Environment**, v. 373, n. 2-3, p. 572-575, fevereiro 2007.

ZEN, L. R. Métodos combinados para secagem da madeira de Eucalyptus: pré-secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional, Curitiba, 2016.