



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**NATASHA OLIVEIRA LIMA**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE NANOPRODUTO EM SUPERFÍCIES DE MADEIRAS  
AMAZÔNICAS**

Imperatriz - MA

2022

**NATASHA OLIVEIRA LIMA**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE NANOPRODUTO EM SUPERFÍCIES DE MADEIRAS  
AMAZÔNICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Joabel Raabe

Imperatriz- MA

2022

**NATASHA OLIVEIRA LIMA**

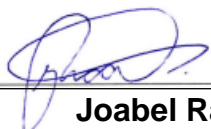
**EFEITO DA APLICAÇÃO DE NANOPRODOTO EM SUPERFÍCIES DE MADEIRAS  
AMAZÔNICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, pelo Centro de Ciências Agrárias, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Joabel Raabe

Aprovado em: 29/08/2022

BANCA EXAMINADORA



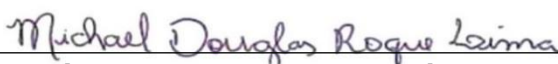
---

**Joabel Raabe**  
**Doutor em Ciências Florestais**  
**Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL**  
**(Orientador)**

**SABRINA BENMUYAL VIEIRA:00191439231**

---

**Sabrina Benmuyal Vieira**  
**Mestra em Ciências Ambientais**  
**Grupo Arboris**  
**(Membro)**



---

**Michael Douglas Roque Lima**  
**Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira**  
**Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL**  
**(Membro)**

L732e

Lima, Natasha Oliveira

Efeito da aplicação de nanoproduto em superfícies de madeiras amazônicas. / Natasha Oliveira Lima. – Imperatriz, MA, 2022.

47 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1. Madeiras amazônicas. 2. Colorimetria. 3. Rugosidade e molhabilidade. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 630\*2:674.07

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

Dedico este trabalho ao meus pais, Adorivaldo e Fabiana, minhas irmãs, Marlana e Mariana, por todo incentivo e ajuda em minha caminhada. Sem vocês eu nada seria.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar por me guiar e sustentar até aqui, por me permitir vencer todas as etapas e desafios da minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador Dr. Professor Joabel Raabe pelos ensinamentos, paciência, dedicação, todo apoio e suporte.

Minha Família por todo cuidado, amor e exemplo, por me incentivar, investir e não me deixar desistir.

Meus amigos de turma e curso, em especial Amanda, Danielly, Larissa, Leonel e Gabriel, pela linda amizade cultivada durante esses anos, por todo apoio, experiências, conversas e momentos felizes que contribuíram para deixar os dias difíceis mais leves.

Sou grata a instituição de ensino, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, aos docentes do curso e aos professores que aceitaram fazer parte da banca.

Ao Grupo Arboris pela parceria e material disponibilizado para que fosse possível a realização da pesquisa e finalização do presente trabalho.

Ao departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), e todos que participaram da pesquisa, pela colaboração e disposição no processo de obtenção e análise de dados.

E a todos que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A utilização de produtos oriundos da madeira tem crescido devido ao fato da sua ampla aplicabilidade e características únicas. No entanto, estes produtos estão suscetíveis ao intemperismo natural que limita sua durabilidade, necessitando de formas que prolonguem sua utilização. Nessa perspectiva, tratamentos superficiais preservantes podem ser aplicados para possibilitar o aumento da sua vida útil e resistência, diminuindo assim a capacidade higroscópica que a madeira possui. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar as características superficiais de madeiras amazônicas tratadas com nanoproduto a base de silício. Para tanto, obteve-se amostras de três espécies madeireiras selecionadas e separadas conforme sua classificação de densidade básica: baixa ( $<0,550 \text{ g.cm}^{-3}$ ), média (entre  $0,550$  e  $0,720 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e alta densidade ( $> 0,730 \text{ g.cm}^{-3}$ ). O tratamento foi aplicado por meio de pulverização do nanoproduto sobre a superfície tangencial dos corpos de provas. As propriedades de molhabilidade, rugosidade e colorimetria foram determinadas antes e após a aplicação do tratamento. Foi observado mudança do perfil da gota de água em relação a superfície da madeira após a aplicação do nanoproduto, constatando-se que o tratamento à base de silício possui eficácia na redução da molhabilidade das madeiras, tornando-as mais hidrofóbicas após o tratamento, com destaque para a espécie de Paricá que obteve um aumento de 117% do ângulo de contato. Além disso, diferenças estatísticas foram observadas entre os parâmetros colorimétricos analisados ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), porém de acordo com a tabela de agrupamento colorimétrico as cores das madeiras não sofreram alterações. Com relação a rugosidade média da superfície das madeiras, observou-se que o Paricá após a aplicação do nanoproduto apresentou alterações significativamente maior que na madeira sem tratamento. As espécies Freijó e Maçaranduba não apresentaram alterações para esse parâmetro. Dessa forma o nanoproduto pode ser indicado para espécies madeireiras de baixa, média e alta densidade que necessitem manter a sua coloração natural e diminuir sua hidrofiliabilidade.

**Palavras-chave:** Molhabilidade; Rugosidade; Colorimetria

## ABSTRACT

The use of wood products has grown due to its wide applicability and unique characteristics. However, these products are susceptible to natural weathering that limits their durability, requiring forms that prolong their use. From this perspective, surface treatments can be applied to increase its useful life, thus reducing the hygroscopic capacity of the wood. The preservative treatments of chemical bases aim to increase the durability and resistance of the wood. Therefore, the objective of this study was to evaluate the surface characteristics of Amazonian wood treated with a silicon-based nanoproduct. For that, samples of three wood species were selected and separated according to their basic density classification: low ( $<0.550 \text{ g.cm}^{-3}$ ), medium (between  $0.550$  and  $0.720 \text{ g.cm}^{-3}$ ), and high density ( $> 0.730 \text{ g.cm}^{-3}$ ). The treatment was carried out by spraying the nanoproduct on the tangential surface of the specimens. The wettability, roughness, and colorimetry properties were determined before and after the treatment application. It was observed a change in the profile of the drop of water in relation to the surface of the wood after the application of the nanoproduct, noting that the silicon-based treatment is effective in reducing the wettability of the woods, making them more hydrophobic after treatment, with highlighting the Paricá species that obtained an increase of 117% in the contact angle. In addition, statistical differences were observed between the analyzed colorimetric parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), however, according to the colorimetric grouping table, the colors of the woods did not change. Regarding the average roughness of the surface of the woods, it was observed that Paricá after the application of the nanoproduct showed significant changes greater than in the untreated wood. The species Freijó and Maçaranduba did not show alterations for this parameter. In this way, the nanoproduct can be indicated for low, medium, and high density wood species that need to maintain their natural color and reduce their hydrophilicity.

**Keywords:** Wettability; Roughness; Colorimetry.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	11
<b>2.2 Objetivo Específicos</b> .....	11
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
<b>3.1 Preservação superficial da madeira</b> .....	12
<b>3.2 Nanotecnologia</b> .....	13
<b>3.3 Técnicas de avaliação superficial</b> .....	14
<b>3.4 Molhabilidade</b> .....	15
<b>3.5 Rugosidade</b> .....	17
<b>3.6 Colorimetria</b> .....	19
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	22
<b>4.1 Escolha das amostras e preparação dos corpos de prova</b> .....	22
<b>4.2 Tratamento superficial</b> .....	23
<b>4.3 Determinação das propriedades</b> .....	24
4.3.1 Molhabilidade .....	24
4.3.2 Rugosidade .....	25
4.3.3 Colorimetria .....	26
<b>4.4 Análise dos Tratamentos</b> .....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

Em função da crescente demanda por produtos madeireiros, aliados a necessidade do desenvolvimento tecnológico e preservação do meio ambiente, notam-se evoluções nos produtos oriundos da madeira e a busca constante por qualidade para a mesma (COSTA *et al.*, 2020).

A madeira é um dos materiais mais utilizados pelo homem e sua versatilidade possibilita um constante aumento na amplitude de aplicação e utilização para diversos fins. No entanto, por se tratar de um material biológico, a madeira esta suscetível a ação de agentes deteriorantes e degradantes, nos quais podem limitar seu uso, necessitando assim de tratamentos que possibilitem prolongar sua vida útil (CASTRO *et al.*, 2018).

A higroscopicidade e as diferentes condições climáticas existentes, principalmente de temperatura e umidade relativa, expõe a madeira ao intemperismo, provocando também o seu desgaste e interferindo de forma significativa na resistência e no seu potencial de uso (CARVALHO *et al.*, 2016). De acordo com Stanojevic *et al.* (2017), a obtenção de um produto final de qualidade e resistente, está relacionado principalmente a qualidade superficial que a madeira possui.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento de diferentes tratamentos e processos com a finalidade de minimizar os efeitos negativos provocados pela ação dos agentes deterioradores da madeira (intemperismo e ação biológica), corroboram para sua preservação.

A ação principal dos agentes biológicos inicia-se pela estrutura superficial da madeira, sendo facilitada pela umidade. A variação da umidade da madeira permite a ação de agentes bióticos e abióticos, favorecendo a deterioração da madeira e alterando suas propriedades físicas e resistência (BRITO, 2014). Dentre os tratamentos mais utilizados para a presente questão, destaca-se a utilização de agentes preservantes, na sua maioria químicos, que possibilitam aumentar a durabilidade da madeira (BRITO, 2017).

Contudo a preservação com produtos químicos ainda é questionável devido ao seu potencial de ação nociva aos humanos (SOUZA; LIMA, 2017). Além disso, a disposição irregular dos resíduos da madeira tratada pode gerar contaminação ambiental (DA SILVA; EVALDT, 2014). Nesse sentido, com o surgimento de

tecnologias, novos produtos podem contribuir para minimizar tais problemáticas envolvendo a preservação da madeira.

Desta forma, a manipulação de produtos ao nível nanométrico, pode modificar as propriedades dos materiais para novas aplicações em variadas áreas da ciência dos materiais (RESCH; FARINA, 2015). Em geral, as nanotecnologias têm potencial de afetar todos os campos de preservação da madeira e no desenvolvimento de novos preservantes, apresentando características de baixa toxicidade e alta eficácia (BORGES *et al.*, 2018).

A utilização da nanotecnologia no tratamento e acabamentos superficiais, tem crescido de forma significativa. Essa nova tecnologia traz diversas possibilidades e vantagens no seu uso, tornando a madeira mais resistente e durável, com reduzido risco ao meio ambiente e a saúde humana (BORGES *et al.*, 2018). Segundo os mesmos autores, os produtos nanotecnológicos apresentam a possibilidade de uso em baixa concentração, mantendo a cor natural da madeira e liberando o ingrediente ativo de forma controlada. A maioria dos produtos nanotecnológicos para preservação da madeira tem como objetivo modificar a superfície da madeira e reduzir sua higroscopicidade (POUBEL, 2017).

Logo, os estudos que avaliam o efeito de produtos nanotecnológicos aplicados sobre a superfície de madeiras, são de suma importância, pois os mesmos objetivam melhorar e aumentar a durabilidade e resistência do material mediante a redução de sua capacidade higroscópica. O estudo é baseado na hipótese de que tratamento com nanoproduto a base de silício diminui a molhabilidade e rugosidade da superfície das madeiras sem alterar sua coloração natural.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as características superficiais de madeiras amazônicas tratadas com nanoproduto a base de silício.

### **2.2 Objetivo Específicos**

Determinar variações e modificações de molhabilidade e rugosidade diante do tratamento superficial.

Indicar a espécie tratada com menor capacidade de absorção de água e mudanças menos significativas quanto a cor após o tratamento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Preservação superficial da madeira

A madeira é um material de grande importância e de funções variadas. Faz-se presente ao longo da história da civilização humana e vem sendo destinada e utilizada para diversos fins até os dias atuais. Por ser higroscópica, a madeira apresenta alterações em suas propriedades físicas e mecânicas, necessitando assim de proteção contra influências externas, buscando alternativas pertinentes para diminuição das presentes problemáticas (KÖHLER, 2019).

Para Vidal *et al.* (2005), a madeira é um material renovável que possui propriedades físicas, mecânicas e anatômicas que a tornam versátil em comparação a outros materiais, devido a sua fácil trabalhabilidade, baixo consumo energético, isolamento térmico, e beleza natural. Todavia, esse material também pode apresentar desvantagens, pois trata-se de um material combustível, que está susceptível a rachaduras, empenamentos, além da existência de espécies que apresentam baixa durabilidade natural.

Conforme Brischke (2020), a madeira é vantajosa em variados aspectos em comparação a outros materiais. Contudo por se tratar de um material biológico e biodegradável, possui durabilidade limitada e requer uma maior proteção quanto a sua utilização e exposição a umidade e condições favoráveis à sua decomposição.

Com essa finalidade, a preservação superficial, tem se tornado cada vez mais importante pelos seus benefícios, como o aumento da vida útil e maior durabilidade. A preservação da madeira consiste em todo e qualquer procedimento que consigam conferir a madeira maior resistência, proporcionando-a maior durabilidade e utilidade (FERREIRA, 2003).

Nesta perspectiva o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA (2017), define o processo de preservação da madeira como a impregnação dos seus tecidos lenhosos a partir de soluções preservativas. Para Teles (2014), os preservantes para madeira são substâncias que tem por função a proteção estrutural, objetivando evitar a deterioração pela ação de agentes xilófagos.

Os tratamentos preservativos são imprescindíveis para madeiras de baixa durabilidade natural, sendo evidenciada a sua eficácia a partir da penetração do produto na madeira. Desse modo a utilização de produtos para tratamento e

acabamento superficial da madeira possuem a principal função de proteger e preservar, tornando-a mais durável ao longo do tempo (VIDAL *et al.*, 2015; DE SOUZA *et al.*, 2011).

Portanto o intuito da preservação superficial da madeira é de retardar ao máximo os processos de degradação na qual está susceptível, aumentar sua vida útil, tornando-a viável e interessante ao ponto de vista econômico. Para tanto, é necessário o desenvolvimento de novos produtos e métodos de tratamento e acabamento superficiais (QUINTILHAN, 2018; LEPAGE, 2015).

### **3.2 Nanotecnologia**

A utilização e desenvolvimento de novas tecnologias, reflete em um modo mais eficaz e prático na fabricação de produtos, contribuindo para melhoria e qualidade dos produtos oriundos da madeira, de forma a minimizar os problemas relacionados ao seu processo produtivo (AMORIM; GONÇALEZ; CAMARGOS, 2011).

A nanotecnologia é uma nova tendência da ciência, que tem sido utilizada para solucionar problemas em diversas áreas, onde abrange setores da agricultura, medicina, indústria farmacêutica e entre outros. Nestas áreas, compreendem-se etapas tecnológicas que envolvem a produção, caracterização e aplicação de matérias, estruturas, ferramentas e sistemas por controle de tamanho e forma em escala nanométrica (LIMA, 2020).

Segundo a organização *National Nanotechnology Initiative* (NNI, 2008), a nanotecnologia é a compressão e o controle da matéria em nanoescala, em dimensões aproximadas de 1 a 100 nanômetros. Consiste na utilização de uma determinada matéria-prima, onde seus componentes possuam dimensões na escala nanométrica, proporcionando a manipulação desse material reduzido a essa escala, e assim possibilitando o surgimento de novos materiais (HUPFFER e LAZZARETTI, 2019).

A área nanotecnológica tem crescido e vem sendo considerada eficaz e aplicável para muitas outras áreas, principalmente pelos resultados proporcionados. Muitos estudos relacionados às aplicações da nanotecnologia no setor florestal vêm sendo realizados, entre os quais, destaca-se o desenvolvimento de nanomateriais que possibilitam o gerenciamento de florestas, além da aplicação em indústrias, e outros domínios potenciais (SINGH, 2021).

Nesse sentido, as principais finalidades que a nanotecnologia possui, são as de criar materiais, dispositivos e ou sistemas com novas propriedades e funções únicas, pois pertencem a uma classe nova no qual permite sua ampla aplicação. Além disso, possibilita o desenvolvimento de novos materiais em escala nanométrica, associados a vários tipos diferentes de nanomateriais, tais como: nanopartículas, nanofibras, nanocristais e nanocompósitos (FECHINE, 2020).

Em virtude disso, a utilização da nanotecnologia no setor madeireiro tem crescido, os tratamentos superficiais buscam minimizar as características higroscópica da madeira, e dessa forma tem atraído o interesse em pesquisadores da área, uma vez que o tratamento com nanopartículas vem se mostrando eficaz, possibilitando a redução da higroscopicidade presente na madeira (ZHOU E FU, 2020; DASHTI, 2012).

### **3.3 Técnicas de avaliação superficial**

A madeira é um material orgânico, capaz de absorver e perder água para o ambiente em que está inserido. Dessa forma pode apresentar variabilidade em suas propriedades físicas, principalmente em relação a sua instabilidade dimensional, que acaba limitando sua utilização e aplicabilidade. Neste sentido, um dos principais desafios para ciência e tecnologia da madeira é o de solucionar as desvantagens provocadas pelas características higroscópicas e anisotrópicas da madeira (CANDIAN e SALES, 2021; DE FREITAS *et al.*, 2016; TOMASSI *et al.*, 2016).

Além dessa variabilidade provocada pelas características higroscópicas e anisotrópicas, a madeira pode apresentar propriedades físicas, mecânicas, anatômicas e químicas variáveis significativamente de uma espécie para outra (QUEIROZ, 2018).

Em virtude de tais fatores, e da variabilidade presente na superfície da madeira, torna-se necessário a utilização de técnicas que possibilite minimizá-las. Segundo Santos (2016), o estudo de técnicas que proporcione maior reforço a madeira e estruturas oriundas da mesma, são fundamentais, garantido assim a conservação desse material. A qualidade da superfície depende de muitos fatores que influenciam e estão relacionados as propriedades da madeira, como ao tipo de espécie, umidade, propriedades estruturais e densidade básica (MAGOSS, 2008).

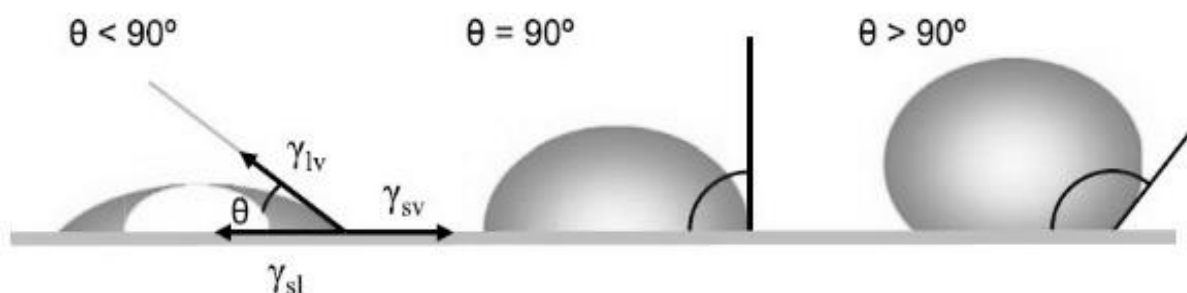
Dessa forma, as técnicas de avaliação superficial podem propiciar informações precisas da qualidade da madeira. Os parâmetros avaliados são de grande importância para a indústria, pois a partir de análises e determinações de molhabilidade, rugosidade e colorimetria da superfície da madeira, pode-se estimar os impactos ocasionados pelo intemperismo sobre a superfície da madeira ao longo de um determinado período, e a eficácia de tratamentos superficiais e os seus efeitos nesse material (NEVES, 2019).

Para tanto, as técnicas para avaliação da modificação superficial da madeira, podem influenciar diretamente em propriedades como adesão e molhabilidade. Alternativas interessantes podem surgir para materiais que necessitem de etapas de acabamento, tais como pinturas e envernizamento, principalmente para madeiras que são expostos ao ambiente, e estão suscetíveis a deterioração ao longo do tempo (DE CADEMARTORI *et al.*, 2017).

### 3.4 Molhabilidade

A avaliação das propriedades da madeira é uma forma de determinação da sua qualidade. As análises de propriedades superficiais se destacam por possibilitarem uma avaliação relativamente rápida e confiável. Dentre estas análises a avaliação de molhabilidade de materiais lenhosos por meio do ângulo de contato, se destaca. O ângulo de contato pode ser descrito como sendo o grau gerado pela interseção de dois planos tangentes, considerando a superfície de um material sólido e a superfície de um líquido (DE MEDEIROS *et al.*, 2020), conforme demonstra a Figura 1.

**Figura 1** – Ilustração de ângulos de contatos formados por gotas de líquidos sésil em uma superfície sólida.



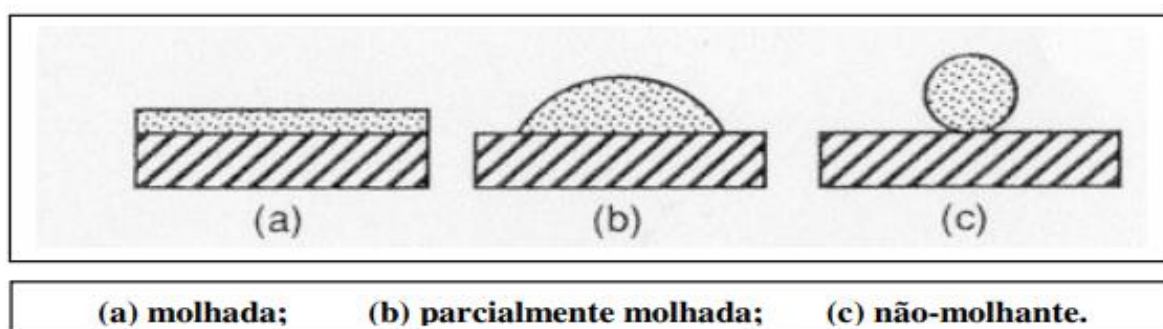
Fonte: Yuan (2013).



A molhabilidade superficial da madeira é um fenômeno complexo e que depende das propriedades químicas e físicas desse material, sendo importante para a caracterização de diferentes espécies de madeira (LOPES, 2018; BRISOLARI, 2008). Além disso, possibilita a avaliação dos efeitos causados por tratamentos (químicos, físicos e outros) realizados na superfície da madeira.

Essa importante propriedade pode ser caracterizada como a tendência de um determinado fluido em espalhar-se ou aderir-se a uma superfície sólida. Logo, o ângulo de molhabilidade ou de contato, é a representação de uma medida quantitativa da molhabilidade onde o mesmo decorre devido a tensão superficial do líquido e do sólido. Assim, quanto menor for o ângulo formado na superfície, maior é a interação entre as fases e maior é a molhabilidade (PRAKASHI, 2017; VIEIRA, 2014). A Figura 2 demonstra diferentes tipos de molhabilidade em uma superfície.




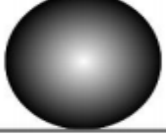
**Figura 2** – Ilustração de diferentes comportamentos de molhabilidade em uma superfície.



**Fonte:** Brisolari (2008).

Nessa perspectiva a molhabilidade de uma determinada superfície pode ser classificada e caracterizada como hidrofílica ou hidrofóbica. Superfícies hidrofílicas apresentam facilidade em serem molhadas quando em contato com a água, formando um ângulo de contato menor que  $90^\circ$  (graus) em sua superfície. Já em superfícies hidrofóbicas esse comportamento é contrário, em que o ângulo de contato é maior que  $90^\circ$  (graus) e facilmente a água é repelida da superfície. Adicionalmente, pode haver casos em que o ângulo de contato pode ser menor que  $10^\circ$  (graus) ou superior a  $150^\circ$  (graus), e nestes casos a superfície do material avaliado é considerado como super hidrofílica e super hidrofóbica, respectivamente (DE SOUZA BARBOSA, DE SOUSA, DEL AGUILAR, 2019; SACIOLOTTO e FERREIRA, 2018), conforme demonstrado no Quadro 1.

**Quadro 1** – Ângulo de contato sobre superfícies com diferentes graus de molhabilidade.

Ângulo de Contato	$\theta < 10^\circ$	$\theta < 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$	$\theta > 150^\circ$
Forma da gota				
Comportamento	super-hidrofílico	hidrofílico	hidrofóbico	super-hidrofóbico

Fonte: Ferreira (2013)

O ângulo de contato pode ser considerado como uma eficaz ferramenta de diagnóstico para o processo de molhabilidade e das propriedades e características superficiais da madeira. Em seu trabalho Pereira *et al.* (2017), avaliaram a qualidade superficial de folheados de madeira tratada com produto de acabamento por meio da molhabilidade, medindo-se o ângulo de contato da superfície, foi constatado a eficiência do produto utilizado, mediante valores do ângulo superiores a  $90^\circ$ .

Á vista disso, o desenvolvimento do método de medição do ângulo de contato permite a caracterização precisa da molhabilidade de uma superfície e a compreensão da sua influência, mostrando assim a importância do seu estudo (WAINBERG, 2014; BRISOLARI, 2008).

### 3.5 Rugosidade

A rugosidade é representada pelas irregularidades, erros micro geométricos, picos e vales, que surgem em uma determinada superfície. É considerada uma das formas de avaliação da qualidade superficial da madeira, apresentada como uma propriedade de grande importância e interesse, pois exerce um papel fundamental no comportamento dos elementos mecânico de um material (SILVA, 2015; PARRA, 2006).

Para Taylor *et al.* (1999 apud DIAS JÚNIOR *et al.*, 2013), a rugosidade em superfícies de madeiras, são influenciadas por aspectos da sua estrutura anatômica, seus raios, anéis de crescimento, nós, lenho inicial e lenho tardio, processo e tipos de usinagem empregado. Adicionalmente, pode ser influenciada pelos produtos de acabamento ou tratamento utilizados. As características superficiais e a rugosidade da madeira, são essenciais para determinar sua qualidade e desempenho, estando diretamente relacionada a sua função e utilização final (AGUILERA, 2001).

Dessa forma a rugosidade caracteriza-se principalmente pelas irregularidades apresentadas em uma superfície, de forma a afetar diretamente na aplicação e durabilidade de revestimentos. Trata-se de um importante critério para avaliar as condições de desempenho e qualidade de um produto, podendo ser mensurado através de equipamentos de medição de superfície, como por exemplo os rugosímetros (PEREIRA, 2018; SILVA, 2015).

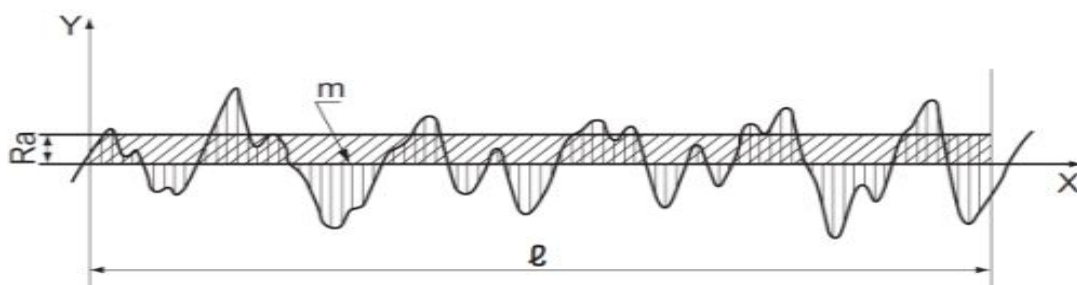
Segundo Burdurlu (2005), com a diminuição dos valores de rugosidade de uma superfície, problemas com acabamentos, colagem e outros defeitos, são reduzidos, obtendo-se superfícies mais satisfatórias superficialmente e esteticamente. Conforme o autor, fatores como tipo de madeira, umidade, corte, direção, ângulo de direção do grão, velocidade e profundidade de corte da madeira podem afetar diretamente na rugosidade de uma superfície.

No geral, a rugosidade pode ser determinada pela média aritmética dos valores de vales e picos, que são o conjunto de irregularidades e desvios micro geométricos presentes em uma superfície, sendo extraídas por meio de análises realizadas por um rugosímetro.

De acordo com a NBR ISO 4287 (ABNT, 2002), uma superfície pode ser avaliada de forma quantitativa pelos parâmetros de rugosidade (R) e ondulação (W). A rugosidade pode ser calculada a partir de diferentes parâmetros que são fornecidos pelo perfil de uma superfície (SANTOS, 2019). Segundo Teles (2014), a obtenção dos valores de rugosidade e da qualidade de uma superfície pode ser uma definição complexa, podendo ser caracterizada por diferentes parâmetros, onde os mais utilizados é o parâmetro Ra.

O parâmetro Ra (rugosidade aritmética ou média), refere-se a uma porção do afastamento ao longo de um comprimento da amostra na direção em que a linha média é cortada para fora a partir da curva da rugosidade. Esta porção é apresentada em um gráfico com o eixo X que se estende na mesma direção como a linha média, e no eixo Y representa a magnitude. Ele é o mais utilizado devido ao seu baixo coeficiente de variação, sendo fornecido em equipamentos mais simples para medição da superfície de produtos de madeira (PEREIRA, 2018; OST, 2016; TELES, 2014), conforme demonstra a Figura 3.

**Figura 3** – Gráficos esquemáticos de variação da rugosidade em uma superfície como referências de aquisição dos valores de Ra.



**Fonte:** Adaptado de Sulaiman *et al.* (2009).

### 3.6 Colorimetria

A cor é uma das principais propriedades que a madeira possui, a qual pode ser percebida e identificada pelos sentidos humanos, tornando-se um importante parâmetro auxiliar para identificação e classificação de madeiras (BONFATTI JÚNIOR e LENGOWSKI, 2018). Dentre as formas de caracterização superficial da madeira, pode-se destacar a colorimetria, sendo definida como o ramo da ciência que tem por objetivo a medição das cores (GONÇALES, 1993 apud STANGERLIN *et al.*, 2013).

A cor é uma fundamental característica e atributo estético que a madeira possui, podendo apresentar alterações em razão de fatores externos. Além disso, a cor está relacionada diretamente com a sua finalidade. Muitas madeiras são classificadas por suas cores, e para a indústria madeireira a sua destinação também está relacionada a sua utilização, (JÚNIOR e LENGOWSKI, 2018; STANGERLIN *et al.*, 2013; VERTTER, 1988).

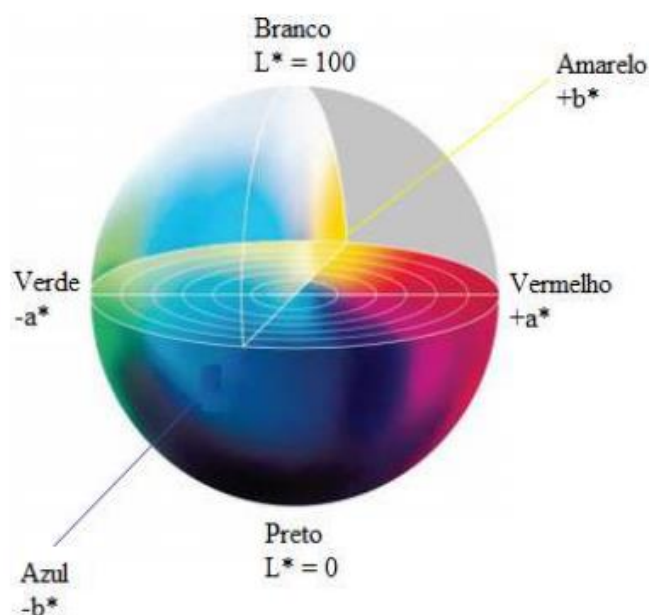
Através da colorimetria e das análises colorimétricas, a cor e cada elemento da composição de uma cor pode ser descrita numericamente. Dessa forma, o estudo colorimétrico preocupa-se com a cor física, podendo ser utilizadas propriedades que distingue a cor em modelos matemáticos. A colorimetria pode ser identificada por meio de equipamentos, como os espectrofotômetros que medem a refletância de uma amostra (ATAYDE, 2011; BERTOLINI, 2010; DE MELO *et al.*, 2019).

O sistema CIE (Comissão Internacional de L'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes) é um dos métodos que define a sensação de cor com base em três elementos que são: a luminosidade ou claridade, a tonalidade e a saturação. Essa organização internacional desenvolveu métodos que expressam a

cor numericamente, o método mais conhecido foi desenvolvido em 1976, em que os parâmetros CIE  $L^*a^*b^*$  fornecem a relação uniforme entre as diferenças da cor e as diferenças visuais. (ALMEIDA,2017; BERTOLINI, 2010; CAMARGOS E GONÇALEZ, 2001).

Os parâmetros colorimétricos são respectivamente a luminosidade ( $L^*$ ), escala entre vermelho e verde ( $a^*$ ) e escala entre amarelo e azul ( $b^*$ ). A Figura 4 apresenta as escalas e eixos que determinam os parâmetros colorimétricos de acordo com o sistema CIE  $L^* a^* b^*$  (CIE, 2017).

**Figura 4.** Representação gráfica do espaço de cores CIE  $L^* a^* b^*$ .



**Fonte:** ALMEIDA (2018).

O parâmetro  $L^*$  representa a luminosidade ou claridade definida pela escala de cinza a qual varia de 0 (preto) a 100 (branco),  $a^*$  e  $b^*$  representam coordenadas cromáticas, onde variam de 0 a 60. O parâmetro  $a^*$  consiste na escala entre as cores vermelho e verde, e o parâmetro  $b^*$  representa a escala entre as cores amarelas e azul. A saturação ou cromacidade é representado pela variável  $C^*$ , e  $h$  representa o ângulo de tonalidade ou ângulo de tinta (CIE  $L^* a^* b^*$ ,1976 apud CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; ALMEIDA, 2017).

A partir do agrupamento colorimétrico sugerido por Camargos e Gonzalez (2001) é possível fazer a caracterização da cor para cada espécie considerando os parâmetros colorimétricos do sistema CIELAB, conforme demonstra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Grupo de cores obtidos no agrupamento de Cluster usando as variáveis cromáticas L\*, a\*, b\*, C e h.

Grupo cluster	Cor	Intervalos das variáveis cromáticas				
		L*	a*	b*	C*	h*
01	Amarelo-oliva	64-64	06-06	46-46	47-47	82-82
02	Branco	69-80	04-08	19-27	21-28	71-79
03	Marrom-escuro	38-51	06-11	10-16	12-19	50-61
04	Rosa	55-68	11-27	18-27	23-30	53-64
05	Amarelo-claro	65-76	07-11	26-37	28-38	71-77
06	Roxo	36-39	12-07	03-07	12-16	14-29
07	Preto-avermelhado	28-35	04-08	03-06	05-10	35-44
08	Marrom-arroxeadado	29-44	08-11	08-12	11-16	34-52
09	Oliva	40-55	05-10	12-22	13-24	60-71
10	Oliva-claro	70-73	01-04	22-26	22-27	81-87
11	Branco-acinzentado	74-86	03-06	16-25	17-26	74-83
12	Marrom-escuro	35-51	11-16	13-18	17-23	43-55
13	Marrom-oliva	48-71	09-13	22-30	25-32	64-72
14	Preto	26-36	01-06	02-08	03-09	49-64
15	Vermelho-escuro	35-38	17-21	13-15	21-26	33-38
16	Cinza-rosado	61-76	04-08	13-20	14-21	67-76
17	Vermelho	37-52	17-24	16-23	24-31	39-52
18	Oliva-amarelado	51-69	06-09	20-27	21-28	69-76
19	Laranja-amarelado	53-54	24-27	34-38	42-46	54-55
20	Amarelo-alaranjado	49-66	12-19	31-36	33-40	61-67
21	Marrom-claro	45-61	10-13	16-25	19-28	54-66
22	Rosa-acinzentado	55-71	07-11	14-22	16-25	59-68
23	Amarelo- amarronzado	45-61	12-19	23-30	27-34	52-65
24	Amarelo	73-76	04-07	38-42	39-42	81-84
25	Marrom-avermelhado	39-57	13-17	18-23	23-29	50-58

**Legenda:** L\*: luminosidade; a\*: coordenada cromática (verde - vermelho); coordenada cromática (azul - amarelo); C\*: saturação da cor; h\*: ângulo de tinta.

**Fonte:** Camargos e González (2001).

A incorporação de análises colorimétricas é de fundamental importância para caracterização tecnológica da madeira e conseqüentemente para a identificação de espécies madeireiras e controle da qualidade da mesma para a indústria levando em consideração a influência da cor diretamente na qualidade dos produtos resultantes do seu processamento (E SOUSA *et al.*, 2019). Dessa forma o sistema CIE L\* a\* b\*, possibilita transformar números em parâmetros colorimétricos, permitindo assim a comparação entre cores (ALEMEIDA, 2017).

Concomitantemente, a determinação da cor após a realização de tratamentos superficiais na madeira, torna-se de fundamental importância para avaliar o potencial e a intensidade do tratamento quanto a modificação da cor da superfície da madeira.

## 4 METODOLOGIA

A escolha das espécies de madeira (amostras), preparação dos corpos de prova, realização do tratamento superficial, avaliação e análise das propriedades superficiais, foram desenvolvidos conforme as descrições a seguir:

### 4.1 Escolha das amostras e preparação dos corpos de prova

O trabalho iniciou-se com a obtenção das madeiras para confecção dos corpos de prova (CP's) e realização do tratamento superficial. Essa aquisição foi disponibilizada e realizada em parceria com o Grupo Arboris, empresa de base essencialmente florestal que maneja e processa produtos provenientes de florestas naturais e plantadas, localizadas no município de Dom Eliseu - PA.

As espécies madeireiras utilizadas, foram o Paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*) Freijó cinza (*Cordia goeldiana*) e Maçaranduba (*Manilkara elata*). Para execução do presente projeto foram selecionadas e separadas conforme a disponibilidade da empresa e de acordo com a classificação de suas densidades básicas presentes na literatura: baixa densidade ( $>0,550 \text{ g.cm}^{-3}$ ), média densidade (entre  $0,550$  e  $0,720 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e alta densidade ( $> 0,730 \text{ g.cm}^{-3}$ ) respectivamente (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Para obtenção das amostras foram retirados discos de aproximadamente 8 cm de espessura, nas posições de 0%, 50% e 100% de toras de cinco árvores de paricá; discos nas posições 0% e 50% das toras de cinco árvores de maçaranduba e; discos em posições indeterminadas de toras de quatro árvores de freijó cinza.

**Tabela 2** – Amostragem

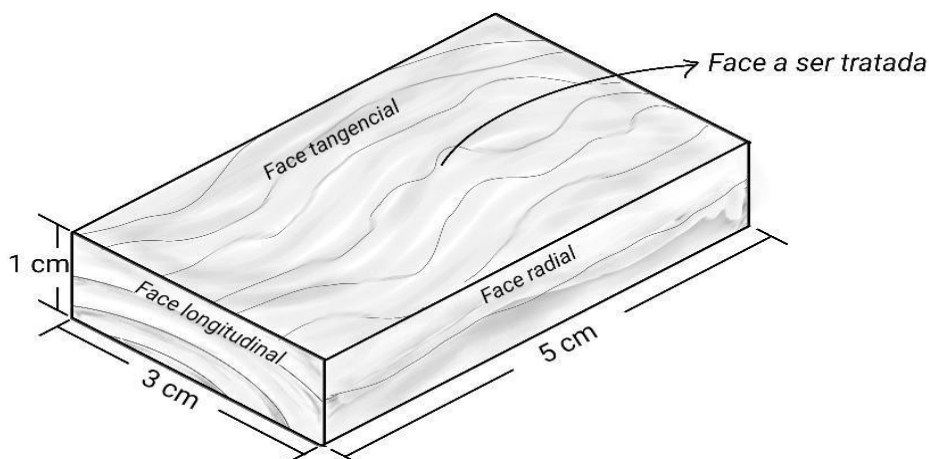
Espécie	Nº toras	Nº de discos	Posições do disco	Nº de discos	Diâmetro estimado disco (cm)
Paricá	5	6/árvore	0%, 50%, 100%	30	15 a 25
Freijó cinza	4	-	-	8	25 a 50
Maçaranduba	5	2/árvore	0%, 100%	10	25 a 60

Fonte: Grupo Arboris (2021).

Após a escolha e seleção das espécies e das amostras, foi realizado a confecção dos CP's com o auxílio de uma serra circular, nas dimensões aproximadas

de 5,0 x 3,0 x 1,0 cm (comprimento x largura x espessura), conforme demonstrado na Figura 5. Concomitantemente, os CP's foram identificados e separados por espécie.

**Figura 5.** Esquema ilustrativo dos CP's e suas dimensões.



**Fonte:** Autora (2022).

Após a preparação dos CP's, os mesmos foram secos em estufa a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . E em seguida, a superfície longitudinal-tangencial foi preparada por meio de lixagem manual, com lixa de grã 180, até a obtenção de uma superfície lisa e homogênea para melhor aderência do produto. Posteriormente, realizou-se a remoção das impurezas presentes na superfície, com auxílio de um pano, para evitar que as mesmas interfiram nos resultados da etapa seguinte.

## 4.2 Tratamento superficial

O tratamento superficial dos CP's foi conduzido por meio da aplicação do nanoproducto a base de silício (Nanoclean madeira 30) com características hidrorrepelentes, biodegradável e não perigoso ao ambiente e a saúde humana, segundo estabelecido pela norma NBR 14725-2 (ABNT, 2009). Trata-se de um produto originado na Alemanha, e atende o mercado brasileiro com soluções nanotecnológicas por uma empresa sob a marca nanoclean localizada em Santa Catarina. Tais produtos possuem a capacidade de inovação e desenvolvimento de novas tecnologias, com qualidade e objetivando eficiência em superfícies que necessitam serem protegidas.

Utilizou-se o produto conforme as recomendações do fabricante, e a aplicação do nanoproducto sobre a superfície da madeira realizou em laboratório sendo aplicado



por meio de um pulverizador com regulagem de volume aplicado. As madeiras receberam o nanoproduto em apenas uma das faces (Figura 5).

Após a aplicação do nanoproduto, os CP's, devidamente identificados, foram armazenados no laboratório em ambiente com temperatura controlada, livre da luz solar, até a superfície tratada secar totalmente e após absorção do produto foram levados para estufa a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para terminarem de secar. Com a superfície tratada devidamente seca, os CP's foram enviados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para as devidas avaliações quanto as suas propriedades de superfície.

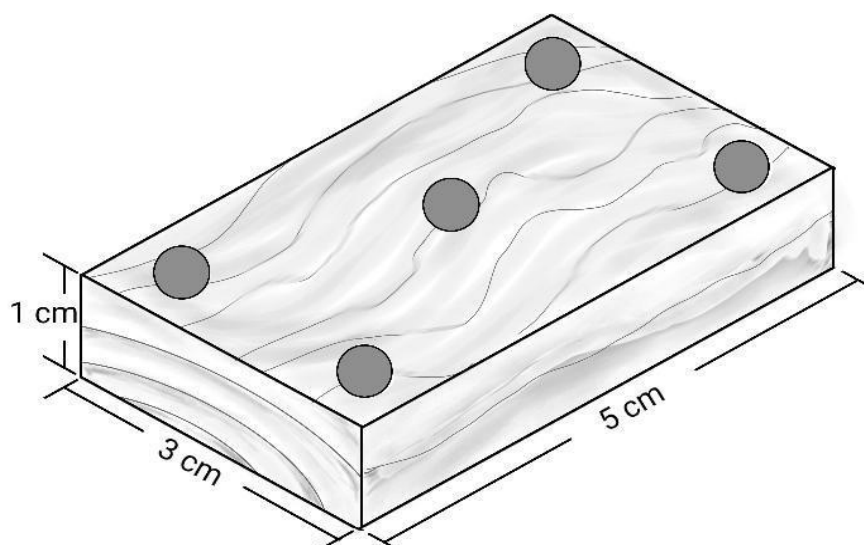
### **4.3 Determinação das propriedades**

As propriedades de superfície das espécies madeireiras aqui estudadas foram determinadas em CP's tratados (CT) e não tratados com nanoproduto (ST). Tais propriedades realizaram-se no Laboratório de Tecnologia da Madeira do departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os parâmetros para avaliação da qualidade de superfície desenvolveram-se seguindo adaptações da metodologia descrita por Pereira *et al.* (2017), sendo eles:

#### **4.3.1 Molhabilidade**

A molhabilidade da superfície dos CP's foi avaliada antes e após a realização dos respectivos tratamentos superficiais, por meio da medição do ângulo de contato em 5 pontos distribuídos sob a superfície da madeira, conforme representado na Figura 6. A definição da molhabilidade foi realizada pelo método da gota séssil, em que o equipamento goniômetro (marca Krüss modelo DSA30) permitiu a obtenção e medição dos valores do ângulo de contato a partir da deposição de uma gota sobre a superfície. Esses valores são obtidos por meio de análises de imagens. A análise atribui valores de ângulo de contato em um tempo de 1; 5 e 60 segundos, permitindo assim estimar a molhabilidade dos corpos de prova. O ângulo de contato foi determinado pela média aritmética dos valores captados nos cinco pontos demonstrados na Figura 6.

**Figura 6.** Esquema ilustrativo dos corpos de prova para determinação da molhabilidade.



**Fonte:** Autora (2022).

Segundo Yuan e Lee (2013), ângulos de contato com valores menores que 90° tendem a apresentar alta molhabilidade, enquanto que ângulos que possuem valores maiores que 90° correspondem a uma baixa molhabilidade. Dessa forma o valor da molhabilidade das madeiras foi calculado pela média dos ângulos de contato entre 5 e 60 segundos, conforme a Equação (01). A recomendação para o cálculo da molhabilidade é descrito na norma ASTM D724-99 (ASTM, 2000):

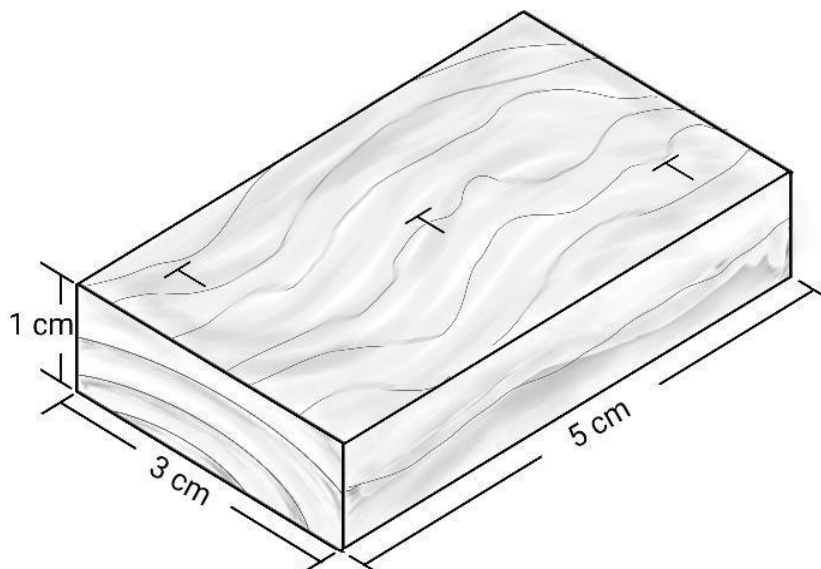
$$R = (A - a) / 55 \quad (01)$$

Onde R é a taxa de mudança da molhabilidade %/s, "A" é o ângulo médio de contato após 5 segundos, e "a" é o ângulo médio de contato após 60 segundos.

#### 4.3.2 Rugosidade

A rugosidade superficial foi determinada com auxílio de um rugosímetro (Mitotoya, modelo SJ - 210). As medições de rugosidade foram realizadas na face tangencial, em 3 posições diferentes dentro de cada CP no sentido perpendicular à disposição das fibras, e curso de avaliação de 8 mm, conforme demonstrado na Figura 7.

**Figura 7.** Esquema ilustrativo do corpo de prova para determinação da rugosidade.



**Fonte:** Autora (2022).

O dispositivo do equipamento mede a rugosidade da superfície obtendo o perfil pico-vale da superfície movendo a agulha da ponteira de varrimento para cima e para baixo na superfície da madeira. A rugosidade de cada corpo de prova corresponderá a média aritmética da medição das três posições mensuradas (detalhes da Figura 8).

#### 4.3.3 Colorimetria

As análises colorimétricas dos CP's realizaram-se com auxílio de um espectrofotômetro CM-5 da Konica Minolta. A cor da madeira foi determinada antes e após aplicação do nanoproduto. A esfera integradora do equipamento é de 150 mm de diâmetro, a faixa de comprimento de ondas lida foi de 360 até 740 nm com intervalo de leitura de 10 nm.

A determinação da cor foi realizada por medições em pontos distribuídos pela superfície da madeira. Estas medidas fornecem dados para avaliar os parâmetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Tais parâmetros, definidos pela Comissão Internationale L'Eclairage – CIE em (1976), foram utilizados para determinar a cor das madeiras estudadas.

Para a obtenção dos valores de saturação da cor e o ângulo de tinta utilizou-se as Equações 2 e 3, respectivamente:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (02)$$

Em que:  $C^*$  – Saturação da cor;  $a^*$  – Coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho;  $b^*$  – Coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

$$H^* = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (03)$$

Em que:  $h^*$  – Ângulo de tinta;  $a^*$  – Coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho;  $b^*$  – Coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

Para verificar se ocorreu alterações na cor das madeiras após a aplicação do nanoproduto, foi utilizado a relação matemática entre os parâmetros mensurados, conforme Equação 4. A norma ASMT D 2244 (2011) padroniza os métodos para realização das medidas dos parâmetros colorimétricos.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (04)$$

Em que:  $\Delta E$  - a variação de cor entre o tratamento e o controle;  $\Delta L$  - variação da luminosidade;  $\Delta a$  - variação do parâmetro  $a^*$  (parâmetro colorimétrico para o eixo vermelho-verde); e  $\Delta b$  - variação do parâmetro  $b^*$  (parâmetro colorimétrico para o eixo amarelo-azul).

Segundo Nzokou e Kamdem (2006), o menor valor de  $\Delta E$ , implica em uma menor variação da cor, de forma que as mudanças de cor passam a ser perceptíveis para os olhos humanos a partir de valores superiores a 1,5, valores entre 3 e 6 são considerados como apreciável, e valores mais alto que 6 classificam-se como muito apreciáveis. A Tabela 3, proposta por Hikita *et al.* (2001), apresenta a classificação da variação da cor de madeiras.

**Tabela 3.** Classificação da variação total de cor de madeiras.

<b>Variação da cor (<math>\Delta E^*</math>)</b>	<b>Classificação</b>
0,0 – 0,5	Desprezível
0,5 – 1,5	Ligeiramente perceptível
1,5 – 3,0	Notável
3,0 – 6,0	Apreciável
6,0 – 12,0	Muito apreciável

**Fonte:** Hikita *et al.* (2001).

#### **4.4 Análise dos Tratamentos**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os efeitos do tratamento sobre as propriedades de superfície das madeiras foram verificados pelo teste de comparação de médias para dados independentes (Teste T), a 5 % de significância. Para a utilização do Teste T, foi verificada a normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro- Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, ao nível de 5% de significância. Para as amostras que não atenderam os pressupostos da análise de variância para utilização do Teste T, foi utilizado o teste não paramétrico de Mann -Whitney a 5% de significância. As análises ocorreram separadamente para cada espécie estudada, com diferenças no número de repetições para cada variável avaliada considerando as peculiaridades de cada análise.

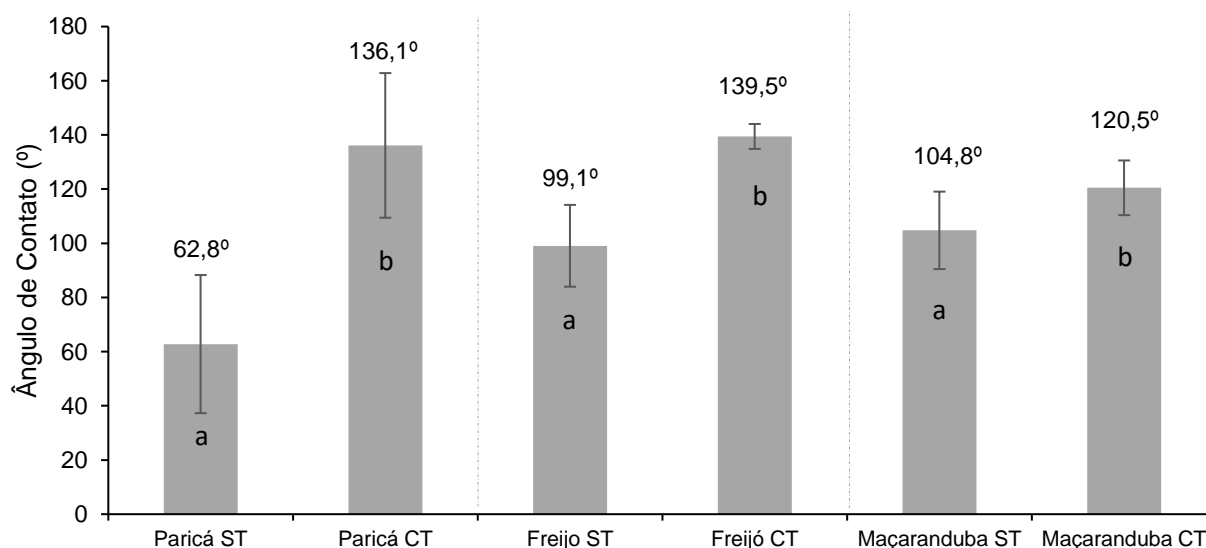
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Molhabilidade

A Figura 8 apresenta os valores obtidos pela análise do ângulo de contato antes e após o tratamento superficial com nanoproduto.

A molhabilidade foi maior nas superfícies dos corpos de prova sem tratamento, diferenciando estatisticamente dos corpos de prova tratados para todas as espécies. A espécie que apresentou maior molhabilidade, em suas condições naturais, foi o paricá, enquanto que a maçaranduba mostrou-se mais resistente a molhabilidade. O freijó foi a espécie que apresentou maior ângulo de contato da superfície tratada, porém o paricá mostrou-se maior diferença entre a madeira tratada e não tratada.

**Figura 8.** Valores médios do ângulo de contato dos corpos de prova antes e após a aplicação do nanoproduto. Em que ST= sem tratamento e CT= com tratamento.



**Legenda:** Valores médios seguidos da mesma letra entre mesmas espécies não diferem estatisticamente a um nível de significância de 0,05.

**Fonte:** Autora (2022).

O ângulo imediato de contato dos corpos de prova com a água, sem tratamento, indica que a madeira da espécie de Paricá é hidrofílica, enquanto que o Freijó e a Maçaranduba são hidrofóbicas. Após o tratamento com nanoproduto a madeira de

paricá passa a ser hidrofóbica, enquanto o freijó e maçaranduba aumentam a sua hidrofobia.

Com a aplicação do produto nas superfícies das madeiras de Paricá, Freijó e Maçaranduba, sucedeu-se o aumento significativo do ângulo de contato médio da gota séssil em relação a superfície da madeira das três espécies estudadas. Antes da aplicação do nanoproduto, o Paricá, espécie de baixa densidade, possuía um comportamento hidrofílico, de forma que o valor do ângulo se encontrava abaixo de  $90^\circ$  ( $62,8^\circ$ ). Após a aplicação do nanoproduto a espécie apresentou um ângulo superior à  $90^\circ$  ( $136,1^\circ$ ), obtendo um aumento de 117% no ângulo de contato.

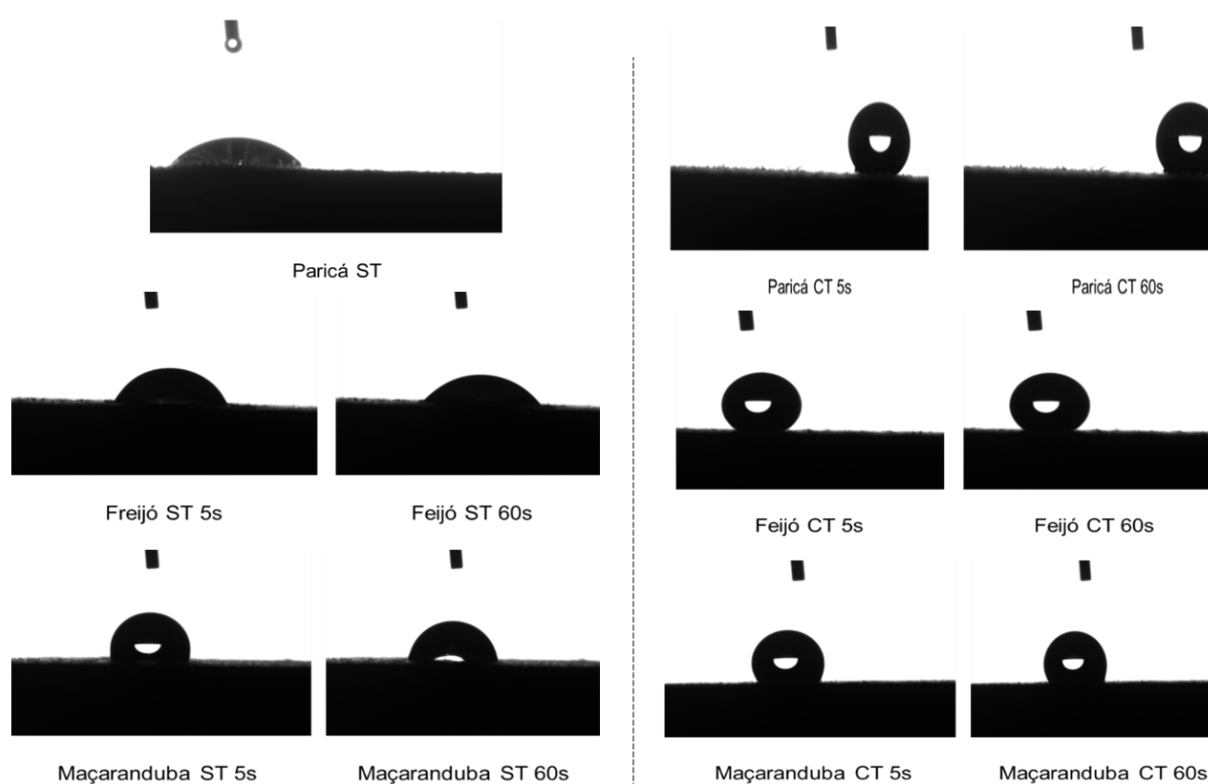
As espécies de média (Freijó) e alta densidade (Maçaranduba), apesar de não apresentarem um comportamento hidrofílico comparado ao Paricá, obtiveram igualmente um aumento considerável referente aos valores do ângulo de contato após a aplicação do nanoproduto, apresentando diferenças significativas nos valores de AC e menor desvio padrão após o tratamento. O Freijó antes do tratamento possuía um ângulo de  $99,1 \pm 15,1^\circ$  e após a aplicação nanoproduto o valor do ângulo passou para  $139,5 \pm 4,5^\circ$ , aumento de 41%. De forma similar ocorreu para a espécie Maçaranduba, que antes do tratamento superficial apresentava o valor de  $104,8 \pm 14,3^\circ$ , e passou para  $120,5 \pm 10,1^\circ$  após o tratamento, com aumentado 15% do ângulo de contato.

Logo, foi possível perceber que a intensidade de alteração da superfície em relação ao ângulo de contato foi inversamente proporcional ao aumento da densidade das madeiras utilizadas na pesquisa, sendo observado que quanto maior a densidade da madeira menor é o impacto da aplicação do nanoproduto em relação ao aumento do ângulo de contato. Dessa forma, evidenciou-se que o tratamento com nanoproduto promoveu alterações superficiais significativas nas madeiras das três espécies com diferenças na intensidade dos resultados entre elas.

Para Brisolari (2008), a variação do ângulo de contato de líquidos com a madeira, depende das características da espécie, considerado que medidas de ângulo de contato de líquidos sobre superfícies sólidas são importantes e uma ferramenta de fácil diagnóstico acerca do estudo da molhabilidade.

A Figura 9 apresenta imagens dos ensaios de molhabilidade em laboratório, onde mostra as gotas de água em interação com a superfície das madeiras sem tratamento (ST), e após tratadas (CT) com o nanoproduto.

**Figura 9.** Perfil da gota de água da análise do ângulo de contato nos ensaios de molhabilidade das espécies amazônicas sem tratamento (ST) e após receber o nanoproducto (CT) aos 5 e 60 segundos de contato com a superfície das madeiras.



**Fonte:** Laboratório de Tecnologia da Madeira – UFLA (2022). Adptado pela autora (2022).

A espécie de Paricá por conta da hidroflicidade da sua superfície antes do tratamento, não foi permitiu obter a captura das imagens de 5 e 60 segundos, em função da rápida absorção do material. Após o tratamento superficial foi possível realizar captura do ângulo após 5 e 60 segundos sem absorção do material indicando a hidrofobicidade adquirida após o tratamento. O freijó e maçaranduba antes do tratamento após 60 segundos apresentava diminuição do ângulo indicando a absorção da água, depois do tratamento o ângulo permaceu na superfície sem diminuição para as duas espécies. A Tabela 4 apresenta os valores médios de molhabilidade das espécies antes (ST) e após (CT) o tratamento com nanoproducto.



**Tabela 4.** Valores médios de molhabilidade das espécies antes (ST) e após (CT) o tratamento superficial.

Espécie	Molhabilidade (°/s)	
	Sem tratamento	Com tratamento
Paricá	0,35 ± 0,38 a	0,00 ± 0,01 b
Freijó	0,43 ± 0,31 a	0,00 ± 0,01 b
Maçaranduba	0,53 ± 0,43 a	0,10 ± 0,08 b

**Legenda:** Valores médios seguidos da mesma letra entre mesmas espécies não diferem estatisticamente a um nível de significância de 0,05.

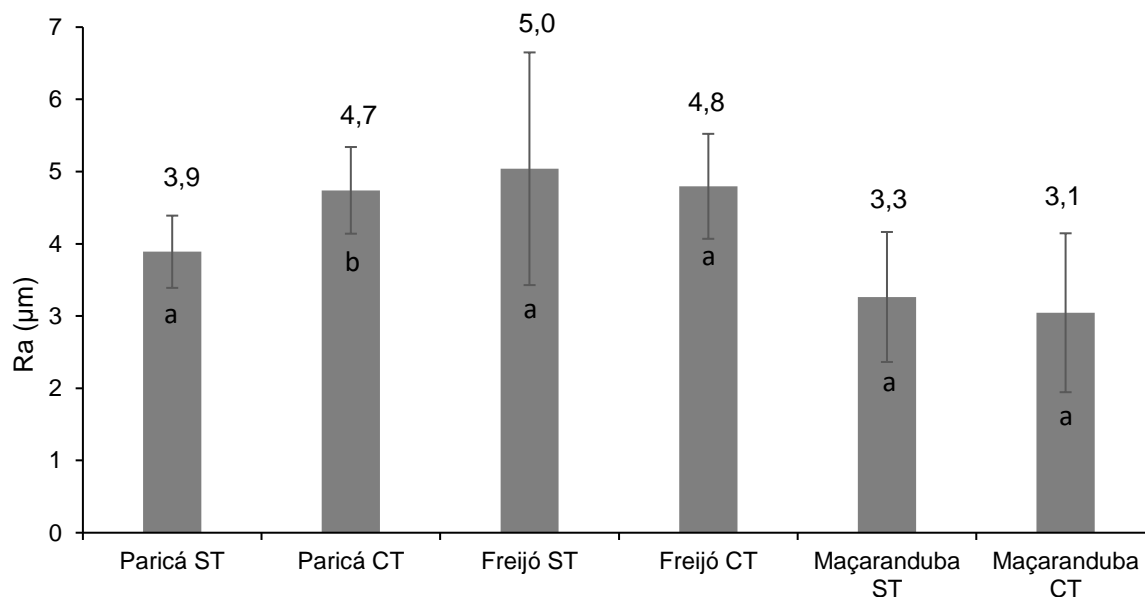
**Fonte:** Autora (2022).

Logo, constatou-se que as três espécies apresentaram diferenças significativas para o tratamento superficial. Os valores médios do ângulo em 5 e 60 segundos obtidos para molhabilidade das três espécies após o tratamento foi próximo de 0 °/s, ou seja, a cada segundo foram modificados 0° no ângulo de contato com a água, indicando não absorção do material.

## 5.2 Rugosidade

Os valores médios da rugosidade (Ra) das espécies de Paricá, Freijó e Maçaranduba antes e após o tratamento superficial são apresentados na Figura 10. O Paricá foi a espécie que apresentou estatisticamente maior rugosidade da madeira, com um aumento significativo no valor da rugosidade média (Ra) para espécie (21%) após a aplicação do tratamento superficial.

**Figura 10.** Rugosidade média das espécies sem tratamento (ST) e com tratamento (CT).



**Legenda:** Valores médios seguidos da mesma letra entre mesmas espécies não diferem estatisticamente a um nível de significância de 0,05.

**Fonte:** Autora (2022).

A rugosidade que as madeiras possuem são resultado da sua anatomia e processamento. Sendo assim, existem variados fatores que podem influenciar a rugosidade de uma superfície, e quanto menor o valor da rugosidade média melhor será a qualidade de superfície que essa madeira irá possuir (LEÃO, 2016; BAJIC; LELA, ZIVKOVIC, 2008). Segundo os autores, a aspereza da madeira pode ser influenciada por parâmetros relativos e processos controlados ou não controlados, como o corte e a velocidade e profundidade de corte, sendo considerados como fatores influentes.

Dessa forma, a partir do tratamento com nanoproducto esperava-se a diminuição da rugosidade da superfície das madeiras. Contudo para espécie de Paricá observou-se um aumento significativo desse parâmetro, um resultado conflitante ao que se esperava (diminuição rugosidade média). Tal comportamento pode estar associado a possíveis reações e interações químicas entre os componentes químicos presentes na madeira e nanoproducto. No entanto, estudos mais aprofundados devem ser realizados para esclarecer o presente resultado, indicando as possíveis variáveis que influenciaram a madeira de Paricá apresentar aumento da rugosidade após a aplicação do nanoproducto.

De acordo com Gardner *et al.* (1991 apud PIAO, WINANDY e SHUPE, 2010), a madeira é considerada um material heterogêneo e apresenta em sua composição celulose, lignina, hemicelulose e extrativos. Mesquita (2016), cita em seu estudo sobre o comportamento de espécies madeireira submetidas ao intemperismo artificial com diferentes produtos de acabamento. O autor elucida que a madeira pode apresentar distintos comportamentos em relação a produtos de acabamento, e que a rugosidade é uma característica bastante variável entre espécies, de modo que não só a usinagem e aplicação de produtos de acabamentos possuem influencia neste parâmetro, mas também a composição anatômica e a densidade básica de cada uma.

Sugere-se um estudo futuro mais aprofundado para a rugosidade superficial do Paricá e dos seus componentes químicos para compreender a variação da rugosidade média (Ra) após o tratamento com nanoproduto.

Para as demais espécies estudadas (Freijó e Maçaranduba) observou-se que os valores de rugosidade tenderam a diminuição, em 4 % e 6 % respectivamente, após a aplicação do tratamento superficial com nanoproduto. Entretanto, a partir da análise estatística evidenciou-se que para ambas, o tratamento com o nanoproduto não resultou em alteração da rugosidade de forma significativa. Isso mostra que o tratamento superficial com o nanoproduto utilizado age de maneira diferente para diferentes espécies, no que diz respeito a rugosidade superficial.

### **5.3 Colorimetria**

A Figura 11 apresenta a coloração dos corpos de prova das madeiras antes e após o tratamento superficial com nanoproduto. Foi possível observar uma pequena alteração na tonalidade de cor de todas as amostras após tratamento.

**Figura 11.** Corpos de prova das espécies antes (ST) e após (CT) o tratamento superficial.



**Fonte:** Autora (2022)

Os valores médios e desvio padrão das leituras colorimétricas realizadas ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  h) antes e após o tratamento superficial são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos das espécies antes (ST) e após (CT) o tratamento com nanoproduto.

Tratamentos	Parâmetros Colorimétricos					
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	h	$\Delta E$
Paricá ST	$86,8 \pm 1,5$ a	$3,1 \pm 0,9$ a	$18,3 \pm 1,5$ a	$18,6 \pm 1,6$ a	$80,6 \pm 2,0$ a	10,1
Paricá CT	$86,2 \pm 1,8$ a	$2,8 \pm 0,5$ a	$28,4 \pm 3,7$ b	$28,5 \pm 3,9$ b	$84,3 \pm 1,1$ b	
Freijó ST	$64,2 \pm 8,7$ a	$6,5 \pm 1,32$ a	$21,4 \pm 2,5$ a	$22,5 \pm 2,2$ a	$72,7 \pm 4,1$ a	10,6
Freijó CT	$55,0 \pm 5,2$ b	$9,0 \pm 0,63$ b	$25,8 \pm 2,3$ b	$27,3 \pm 2,3$ b	$70,6 \pm 1,9$ a	
Maçaranduba ST	$42,4 \pm 3,0$ a	$12,2 \pm 1,6$ a	$14,9 \pm 2,5$ a	$19,2 \pm 2,9$ a	$50,7 \pm 1,5$ a	3,6
Maçaranduba CT	$40,9 \pm 2,3$ a	$13,3 \pm 0,7$ b	$18,0 \pm 1,6$ a	$22,4 \pm 1,7$ a	$53,5 \pm 1,8$ a	

**Legenda:** Valores médios seguidos da mesma letra entre mesmas espécies não diferem estatisticamente a um nível de significância de 0,05.  $L^*$ : luminosidade;  $a^*$ : coordenada cromática (verde - vermelho); coordenada cromática (azul - amarelo);  $C^*$ : saturação da cor;  $h^*$ : ângulo de tinta.

**Fonte:** Autora (2022).

A partir do agrupamento colorimétrico sugerido por Camargos e Gonzalez (2001) foi possível caracterizar a cor para cada espécie estudada (Tabela 1). De acordo com a tabela, o Paricá classifica-se como uma madeira branco-acinzentada, tal definição é considerada pela sua alta claridade ( $L^*$ ), considerável pela presença da cromática amarela e baixa cromática vermelha (MELO *et al*, 2013).

Segundo Ferreira (2017), altos valores de  $L^*$  representam cores mais claras enquanto que valores menores indicam cores mais escuras desse parâmetro. Em seu estudo Arruda *et al.* (2011) obteve resultados similares para os parâmetros colorimétricos do Paricá, segundo o autor maiores valores de  $h$  (ângulo de tonalidade) indicam o posicionamento da espécie de Paricá próximo ao eixo  $b^*$  (amarelo) mostrando assim a influência dessa coordenada na caracterização da cor desta madeira. Desse modo, o baixo valor de  $a^*$  (vermelho) comparado ao maior valor de  $b^*$  (amarelo) e o elevado valor do  $h$  indicam a tendência da espécie a coloração amarela.

Após a realização do tratamento superficial com nanoproducto na madeira de Paricá, constatou-se que não ocorreu alterações significativas de cor para os valores de luminosidade ( $L^*$ ) e cromática vermelha (parâmetro  $a^*$ ). Para os demais parâmetros houve um pequeno aumento, principalmente para a cromática  $b^*$ , indicando o aspecto amarelo da superfície após o tratamento, além do aumento da saturação ( $C^*$ ), e intensidade da cor, sendo estatisticamente evidenciado os aumentos e a diferença significativa de cor para tais parâmetros entre as madeiras tratadas e não tratadas.

A madeira de Freijó, segundo a tabela de agrupamento colorimétrico, se classifica como Oliva-amarelado (Tabela 1). Os resultados das análises para os parâmetros colorimétricos (Tabela 3), mostram a influência principal da Luminosidade ( $L^*$ ) e do parâmetro  $b^*$  (amarelo) na coloração da espécie, resultado igualmente evidenciado por Gonçalves *et al.* (2010) em seu trabalho.

Após a aplicação do tratamento superficial na espécie, foi observado a diminuição da Luminosidade (55,0), o que indica o escurecimento da superfície tratada. Do mesmo modo, observou-se o aumento do parâmetro  $b^*$  (25,8), responsável pela coloração amarela, sendo o maior valor entre as espécies analisadas.

Semelhantemente, Gonçalves *et al.* (2010), estudou a coloração da madeira de Freijó com e sem tratamento, utilizando produtos de acabamento, após a realização dos testes a madeira de Freijó foi caracterizada pela pigmentação amarela, coordenada  $b^*$ , e pela luminosidade ( $L^*$ ). Segundo os autores os produtos de acabamento podem alterar a cor da madeira e provocar o seu escurecimento.

Conforme os resultados estatísticos para a espécie, pôde-se evidenciar que todos os parâmetros com exceção do ângulo de tinta apresentaram diferenças significativas após a realização do tratamento superficial.

Em seu trabalho Teles *et al.* (2015), realizou análises colorimétricas para avaliar a influência do tratamento preservante (CCA) na superfície de três espécies de madeiras tropicas, utilizando os parâmetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ). Segundo os autores a cor das madeiras estudadas foram alteradas de forma significativa obtendo coloração mais escura após a realização do tratamento.

Segundo a literatura, produtos de acabamento podem provocar o escurecimento da superfície de madeiras, a diminuição dos valores de  $L^*$  indicam que o nanoproducto pode alterar a cor das madeiras estudadas mediante a baixa luminosidade.

A madeira de Maçaranduba segundo a tabela de agrupamento colorimétrico classifica-se como marrom-escuro por conta do baixo valor de luminosidade (42,4), valor próximo ao encontrado por Maia *et al.* (2018). O baixo valor de  $h$  (50,7), corresponde ao vermelho e indica a pouca influência do parâmetro  $b^*$ (14,9) em relação a sua coloração. Após a realização do tratamento da espécie, foi observado a diminuição da luminosidade (40,9) da madeira, e aumento dos demais parâmetros presentes,  $a^*$ (13,3) vermelho,  $b^*$ (18,0) amarelo, e  $h$  (53,5) ângulo de tinta.

A cromática  $a^*$ (12,2), coloração avermelhada, exerce maior influência na caracterização da cor da madeira de maçaranduba em comparação aos valores das espécies de Paricá (3,07) e Freijó (6,5), sendo evidenciado após a realização do tratamento superficial que houve diferença significativa desse parâmetro. Outrora para os demais parâmetros não foi observado alterações significamente após o tratamento.

A Tabela 2 baseia-se em níveis de percepção, e classifica a variação total da cor ( $\Delta E$ ) das madeiras (LIMA *et al.*, 2013). De acordo com as análises, os valores de  $\Delta E$  presentes na Tabela 3, mostram que variação total de cor foi maior para o Paricá ( $\Delta E = 10,1$ ) e Freijó ( $\Delta E = 10,6$ ), sendo classificadas como alterações muito apreciáveis (6,0 a 12,0). O valor de  $\Delta E$  obtido para madeira de maçaranduba ( $\Delta E = 3,6$ ) apresentou menor alteração total da cor em comparação as demais espécies, e classificou-se como uma alteração apreciável da cor (3,0 a 6,0).

Sendo assim, a caracterização colorimétrica indicou que a espécie de Paricá apresentou alteração significativa para o parâmetro  $b^*$ (amarelo) de forma a influenciar na percepção da cor da espécie após o recebimento do tratamento, conferindo um

aspecto amarelado. A luminosidade e o parâmetro  $b^*$  são os principais parâmetros que influenciam a cor da espécie de Freijó, indicando o escurecimento da superfície a partir da diminuição de luminosidade. Para maçaranduba, observou-se aumento significativo do parâmetro  $a^*$ (vermelho), sendo a espécie que apresentou menor variação de cor após o tratamento superficial.

## 6 CONCLUSÃO

Após a aplicação de nanoproduto, as características superficiais avaliadas foram alteradas. O ângulo de contato das três espécies estudadas foi alterado após o tratamento superficial. Com isso, as espécies apresentaram características mais hidrofóbicas, com destaque para a espécie de Paricá que teve um aumento de 117% do ângulo de contato.

A rugosidade média da madeira de Paricá após aplicação de nanoproduto apresentou-se significativamente maior que na madeira sem tratamento. As espécies de Freijó e Maçaranduba não apresentaram alterações significativas para esse parâmetro após a aplicação do nanoproduto.

Diferenças estatísticas foram observadas entre os parâmetros colorimétricos analisados para as três espécies estudadas após a aplicação de nanoproduto. No entanto, de acordo com a tabela de agrupamento colorimétrico as cores das madeiras não sofreram alterações

O nanoproduto pode ser indicado para espécies madeireiras de baixa, média e alta densidade que necessitem manter a sua coloração natural e diminuir sua hidrofobicidade.



## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287** Especificações geométricas dos produtos (GPS) – rugosidade: método do perfil – termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002. 5 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14725-2**. Produtos químicos-Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- AGUILERA, A. M. P. Machining qualification of solid wood of *Fagus silvatica* L. and *Picea excelsa* L.: Cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als roh-und Werkstoff**, v. 59, n. 6, p. 483-488, 2001.
- ALMEIDA, D. H. D. **Estimativa de propriedades de resistência e resistência das madeiras tropicais brasileiras pela técnica de colorimetria**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASMT. **ASTM G7/G7M-13**: Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2244** – Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. Philadelphia, USA, 2009.
- AMORIM, M. K. M. **Tratamentos a plasma para a modificação de polímeros convencionais e polímeros depositados a plasma**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2018.
- AMORIM, P.G. R.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A. Wood properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* estimated by colorimetry. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 461-466, 2013.
- ARRUDA, L. M. *et al.* Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecânicamente. **Revista Ciência da Madeira**, v. 3, n. 2, 2012.
- ATAYDE, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v. 17, p. 231-235, 2011.
- AYRILMIS, N. *et al.* Wettability of fire retardant treated laminated veneer lumber (LVL) manufactured from veneers dried at different temperatures. **BioResources**, v. 4, n. 4, p. 1536-1544, 2009.

BAJIC, D.; LELA, B.; ZIVKOVIC, D. Modeling of machined surface roughness and optimization of cutting parameters in face milling. *Metalurgija* 47, 331-334. 2008.

BERTOLINI, C. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Centro de Ciências Exatas e Naturais Curso de Ciência da Computação, Bacharelado) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2010.

BORGES, C. C. *et al.* Nanoparticles-based wood preservatives: the next generation of wood protection. **CERNE**, v. 24, n. 4, p. 397-407, 2018.

BRISCHKE, C. Wood protection and preservation. **Forests**, v. 11, n. 5, p. 549, 2020.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BRITO, A. F. D. **Resistência da madeira de várias espécies de eucalipto a organismos xilófagos e intemperismo após tratamento com ccb por substituição de seiva.** 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira:** metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. 2014. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BURDURLU, E. *et al.* The effect of the number of blades and the grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish journal of agriculture and forestry**, v. 29, n. 4, p. 315-322, 2005.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p. 30-41, 2001.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente construído**, v. 9, p. 83-98, 2021.

CARVALHO, D. E. *et al.* Natural durability of *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus robusta* Sm., *Eucalyptus tereticornis* Sm. and *Hovenia dulcis* Thunb. wood in field and forest environment. **Revista Árvore**, v.40, n.2, p.363-370, 2016.

CASTRO, V. G. *et al.* **Deterioração e preservação da madeira.** Mossoró: EdURFESA, p. 213, 2018.

CIE - COMMISSION INTERNATIONAL DE L'ECLAIRAGE. Jul.2017 Disponível em: <http://www.cie.co.at>. Acesso em: 21 julho de 2022.

COSTA, A. A. *et al.* Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

DA SILVA, V. R.; EVALDT, D. C. Proposta de plano de gerenciamento dos resíduos do processo de beneficiamento mecânico da madeira. **IBEAS -INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTUDOS AMBIENTAIS**, Belo Horizonte, MG 2014.

DAMÁSIO, R. A. P. **Caracterização e aplicações de celuloses nanofibrilada (CNF) e nanocristalina (CNC)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

DASHTI, H. *et al.* The effect of nanoclay on the mass transfer properties of plywood. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 7, n. 3, p. 853-860, 2012.

DE CADEMARTORI, P.H.G. *et al.* Molhabilidade superficial de lâminas de madeira tratadas por plasma frio e seu efeito de envelhecimento. In: **Embrapa Florestas- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 9., 2017, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017.

DE FREITAS, D. L. *et al.* Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 435-439, 2016.

DE L'ÉCLAIRAGE, Commission Internationale. Colorimetry CIE Publication, supplement 2, no. 15. **Commision Internationale de l'Eclairage**, Vienna, Austria, 1976.

DE MEDEIROS, D. T. *et al.* Molhabilidade da madeira de Maçaranduba (*Manilkara huberi*) in natura. **ACSA**, Patos-PB, v.16, n.2, p.111-112, 2020.

DE MELO, R. R. *et al.* Grouping of commercial tropical timber using wood color. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019.

DE SOUSA BARBOSA, E.; DE SOUSA, V. C. B.; DEL AGUILA, V. M. Construção de um aparato de baixo custo para medir ângulo de contato. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 9, n. 1, p. 63-74, 2019.

DE SOUZA, M. O. A.; DE CASTRO SILVA, J.; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* ST Blake visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 403-409, 2011.

E SOUSA, W. C. S. *et al.* Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: A subsidy for a more efficient and sustainable use. **CERNE**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

FECHINE, P.B. A. **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

FERREIRA, L.M.V. **Revestimentos Hidrofóbicos**.2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. **Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura**. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE), 2017.

FERREIRA, O. P. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA: SindusCon-SP**,60 p., 2003.

GONÇALEZ, J.C. **Characterization technologique de quatre espèces peu connues de la Forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**.1993. Tese (Doutorado), École Nationale du Gêne Rural des Eaux et des Forêts, Nancy. 444 p. 1993.

HUPFFER, H. M.; LAZZARETTI, L.L. Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 16, n. 3, p. 153-177, 2019.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório técnico 2019**. Brasília, DF: IBÁ, 80p, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - **IBAMA**. Produtos preservativos de madeiras. 2017. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/preservativos-de-madeiras/sobre-os-produtos-preservativos-de-madeiras>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

JÚNIOR, A. F. D.*et al.* Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Revista Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 10-12953/2177-6830. v04n01a08, 2013.

JÚNIOR, E. A. B; LENGOWSKI, E. C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

KÖHLER, R. *et al.* Wood protection through plasma powder deposition—An alternative coating process. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 898, 2019.

LEÃO, F. C. **Efeito do intemperismo artificial na rugosidade e na cor de madeira de cedro (Cedrela odorata L.) tratada com um produto de acabamento**. 2016. 34 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - universidade de Brasília, Brasília, 2016.

LEPAGE, E. S.; SALIS, G. A. **Atualização em preservação de madeiras**. São Paulo: editora, 64 p, 2015.

LIMA, C. M. *et al.* Comportamento da cor de lâminas de madeira de Pau-marfim (Balfourodendron riedelianum) tratada com produtos de acabamento. **Revista Árvore**, v. 37, p. 377-384, 2013.

LIMA, J. D. D. **Desenvolvimento de nanoformulações biopesticidas aplicadas na agricultura**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

LOPES, J.D. O. *et al.* **Caracterização físico-química e molhabilidade da superfície da madeira juvenil de teca modificada termicamente**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2018.

LOPES, M. N. G; NECHET, D. Caracterização do regime térmico de Imperatriz, MA. Imperatriz, MA. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis. **Anais[...]**Florianópolis, 2006. MAGOSS, E. General regularities of wood surface roughness. **Acta Silvatica et Lignaria Hungarica**, n. 4, p. 81-93, 2008.

MELO, R. R. D. *et al.* Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 238-249, 2013.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE (NNI). **Nanotechnology: Big Things from a Tiny Word**. Jul. 2008. Disponível em: <https://www.nano.gov/about-nanotechnology>. Acesso em: 03 maio de 2022.

NEVES, G. D. S. **Efeito da aplicação de extrativos naturais e produtos de acabamento na superfície das madeiras de cedro (*Cedrela odorata*) e freijó (*Cordia goeldiana*) expostas ao intemperismo acelerado**. 2019. 115 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

NZOKOU, P.; KAMDEM, D. P. Influence of wood extractives on the photodiscoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. **Color Research and Application**, Medford, v. 31, n. 5, p. 425-434, out. 2006.

OST, C. A. **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço p20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificarrefrigerantes**. 2016. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 103p, 2016.

PARRA, B. S. *et al.* Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 2, p. 15-18, 2006.

PEREIRA, K. D. N. *et al.* Surface quality of the Ficus sp. wood veneers submitted to finishing treatments. **Madera y bosques**, 23(2), 181-191, 2017.

PEREIRA, K. M.; GARCIA, R. A.; DO NASCIMENTO, A. M. Rugosidade da superfície de madeiras amazônicas. Surface roughness of Amazonian woods. **Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 46, n. 119, p. 347-356, 2018.

PIAO, C.; WINANDY, J.E.; SHUPE, T. F. From hydrophilicity to hydrophobicity: A critical review: Part I. Wettability and surface behavior. **Wood and Fiber Science**, p. 490-510, 2010.

POUBEL, D. D. S. *et al.* Effect of ZnO nanoparticles on UV resistance of the heat-treated pine wood. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 49-62, 2017.

PRAKASH, C. G. J.; RAJ, C. C.; PRASANTH, R. Fabrication of zero contact angle ultra-super hydrophilic surfaces. **Journal of Colloid And Interface Science**, v. 496, p. 300–310, 2017.

QUEIROZ, F. L. C. **Qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. de diferentes procedências para utilização na indústria de produtos florestais**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

QUINTILHAN, M. T. *et al.* Deterioração da madeira de Eucalyptus e Corymbia em ensaio de campo. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, 2018.

RESCH, S.; FARINA, M. C. Mapa do conhecimento em nanotecnologia no setor agroalimentar. RAM - **Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, n. 3, p. 51-75, 2015.

ROWELL, R. M. Handbook of Wood chemistry and wood composites. Boca Raton: **CRC Press**; 2005.

SACILOTTO, D. G.; FERREIRA, J. Z. Influência do revestimento super-hidrofóbico na resistência à corrosão em liga de Alumínio 5052. *In*: INTERCORR 2018, USP - Centro de Difusão Internacional. **Anais[...]**. São Paulo, 2018.

SANTOS, D.S. **Avaliação de técnicas de reabilitação e reforço em estruturas de madeira**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SANTOS, W. A. **Efeito do envelhecimento e da rugosidade nas propriedades da superfície e na aderência do verniz em madeiras de eucalipto**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

SILVA, H. G. D. **Estudo comparativo na utilização de dois inoculantes alternativos e suas influências na rugosidade e tração do ferro fundido cinzento**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio, 2015.

SILVA, J. R. M. *et al.* A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de Eucalyptus sp. **Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, v. 10, 2006.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica, Manaus**, v. 43, n. 2, p.179 – 184, 2013.

SINGH, D. *et al.* Applications of nanotechnology in forest management. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 21, n. 6, p. 3466-3480, 2021.

SOUZA, R.V.; LIMA, A. D. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantada para a construção civil. **Mix Sustentável** - Edição 05/V3.N.1-2017.

SULAIMAN, O. *et al.* Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n.8, p.3949-3955, 2009.

STANGERLIN, D. M. *et al.* Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 429-438, 2013.

STANOJEVIC, D.M. *et al.* Prediction of the surface roughness of wood for machining. **Journal of Forestry Research**, Berlin, v. 28, n. 6, p. 1281-1283, 2017.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a Wood sanding operation. **Forest Products Journal**. V. 49, n. 5, p. 41-46, 1999.

TELES, R. F. **Ensaio não destrutivo para avaliar o desempenho de madeiras amazônicas tratadas quimicamente**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. D; SOUZA, M. R. D. Análise da influência do tratamento preservativo na cor e rugosidade de superfícies de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 100-108, 2015.

TOMASI, L. *et al.* AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE LÂMINAS DE PINUS ELLIOTTII TRATADAS TERMICAMENTE COM ÓLEO VEGETAL. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 2016.

VETTER, R. E. Colorimetria aplicada em pesquisa de madeira. **Acta Amazonica**, v. 18, p. 179-188, 1988.

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

VIEIRA, L. A. A. **Molhabilidade e cor da madeira de Khaya ivorensis termorretrificada**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

YUAN, Y.; LEE, T. R. Contact angle and wetting properties. In: **Surface science techniques**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 3-34, 2013.

ZHOU, L.; FU, Y. Flame-retardant wood composites based on immobilizing with chitosan/sodium phytate/nano-TiO<sub>2</sub>-ZnO coatings via layer-by-layer self-assembly. **Coatings**, v. 10, n. 3, p. 296, 2020.