

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIELA LOVISON

**AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO MADEIRA-ADESIVO EM MADEIRA
RESINADA DE *Pinus elliottii* Engelm.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS
2020

GABRIELA LOVISON

**AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO MADEIRA-ADESIVO EM MADEIRA
RESINADA DE *Pinus elliottii* Engelm.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Prof. Dr. Flávia Alves Pereira
Coorientadora: Prof. Msc. Helena Cristina Vieira

DOIS VIZINHOS

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO MADEIRA-ADESIVO EM MADEIRA RESINADA DE *PINUS ELLIOTTII* ENGELM.

por
Gabriela Lovison

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 07 de Dezembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Flávia Alves Pereira
Orientadora

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza
Membro titular (UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Sandra Mara Krefta
Membro titular (UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha orientadora Flávia Alves Pereira, agradeço por me orientar na realização deste trabalho, agradeço por sua amizade, por me defender, por toda paciência e compreensão. Você foi a melhor orientadora que eu poderia ter, e sempre será.

À minha família, em especial à meus pais, Lilian e Irio, à minha irmã Valentina e à minha tia Ivânia. Muito obrigada pelo suporte durante a minha graduação e a toda ajuda no desenvolvimento deste trabalho. Sem vocês não seria possível.

Ao meu namorado Paulo, por ter aguentado quase todos os surtos. Por todo amor, amizade, carinho e paciência. Por falar que tudo daria certo, por me ajudar neste trabalho, e ter sido meu parceiro de tantos outros.

À minha amiga Jeniffer, que sempre esteve comigo, desde o primeiro semestre, que aguentou todos os desesperos e crises, sempre me acalmando e falando que vamos sim conseguir. Agradeço também aos meus amigos Wanderson, Patrícia e Maraiza. Muito obrigada por toda ajuda e apoio. Mesmo com a distância, vocês estarão para sempre em meu coração.

À todos os meus professores, em especial à minha coorientadora Helena, ao professor Marcos Aurélio, e à professora Raquel Ponzoni, que estiveram sempre disponíveis.

À Alvaro Poleze, por ceder o material de estudo utilizado neste trabalho.

À todos que me ajudaram, muito obrigada!

RESUMO

LOVISON, Gabriela. **Avaliação da interação madeira-adesivo em madeira resinada de *Pinus elliottii* Engelm.** 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso II (Curso Superior de Engenharia Florestal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2020.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a interação madeira-adesivo em madeira de *Pinus elliottii* em relação ao seu lado resinado e não resinado. Foi realizada descrição anatômica da espécie, determinação do pH, propriedades físicas e determinado o ângulo de contato e umectação com o uso de polivinil acetato (PVA), etilenoglicol e água destilada. O experimento foi realizado no laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, no estado do Paraná. Foram selecionadas quatro árvores com 20 cm de diâmetro de uma área que realiza extração de resina, e destas foram retiradas amostras para análise. Todas as análises foram feitas em relação ao lado resinado (R) e não resinado (NR) da árvore. Para análise dos dados, os resultados foram submetidos a ANOVA a 5% de significância e análise gráfica descritiva dos dados. Em relação a análise anatômica da madeira, não houve diferença entre as análises da madeira R e NR. Em relação ao ângulo de contato e umectação o teste realizado com PVA no plano tangencial da madeira apresentou diferença entre o lado R e NR. Em relação ao pH, não houve diferença significativa entre as amostras R e NR. As propriedades físicas, massa específica básica e aparente não diferiram entre o lado R e NR.

Palavras-chave: Ângulo de contato e umectação. Resinagem. Anatomia da madeira.

ABSTRACT

LOVISON, Gabriela. **Evaluation of the wood-adhesive interaction in resinous wood of *Pinus elliottii* Engelm.** 47 p. Completion of Course Work II (Superior Course of Forest Engineering), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2019.

The objective of this work was to evaluate the wood-adhesive interaction in resinous wood of *Pinus elliottii* in relation to its resin and non-resin sides. Anatomical description of the species, determination of pH, physical properties and the angle of contact and wetting were determined using polyvinyl acetate (PVA), ethylene glycol and distilled water. The experiment was realized at the Wood Technology Laboratory of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos campus, in the state of Paraná. Four trees with a diameter similar to an area that performs resin extraction were selected, and these were removed for analysis. All analyzes were performed in relation to the resin (R) and non-resin (NR) sides of the tree. For data analysis, the results were subjected to 5% confidence ANOVA and descriptive graphical analysis of the data. Regarding the anatomical analysis of the wood, there was no difference between the analysis of R and NR wood. Regarding the contact and wetting angle, the test carried out with PVA in the tangential sense of the wood showing a difference between the R and NR side. Regarding pH, there was no significant difference between R and NR. The physical properties, basic and apparent specific mass did not differ between R and NR wood.

Key-words: Contact angle and wetting. Resin. Wood anatomy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVO GERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1. <i>Pinus elliottii</i> Engelm.....	10
3.2. RESINAGEM	10
3.3. ADESIVOS	12
3.4. CARACTERÍSTICAS DOS ADESIVOS	12
3.5. INTERAÇÃO MADEIRA-ADESIVO	13
3.6. TEORIAS DE ADESÃO	15
3.7. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA	16
3.7.1. Anéis de crescimento	16
3.7.2. Cerne e alburno	16
3.7.3. Idade da árvore	17
3.7.4. Lenho de reação	17
3.7.5. Grã	18
3.7.6. Porosidade	18
3.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA	18
3.8.1. Extrativos	18
3.8.2. pH.....	19
3.8.3. Cinzas	19
3.9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA	19
3.9.1. Densidade	19
3.9.2. Conteúdo de umidade	19

3.10. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DA MADEIRA	20
3.10.1. Tensões internas e externas.....	20
4. METODOLOGIA.....	20
4.1. DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE CONTATO	21
4.2. ANÁLISE ANATÔMICA	23
4.3. MENSURAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS	24
4.4. DETERMINAÇÃO DO pH.....	24
4.5. PROPRIEDADES FÍSICAS	24
4.6. ANÁLISE DOS DADOS	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. ÂNGULO DE CONTATO E UMECTAÇÃO	26
5.2. ANÁLISE ANATÔMICA DE <i>Pinus elliottii</i>	36
5.3. pH	40
5.4. PROPRIEDADES FÍSICAS	40
6. CONCLUSÃO.....	42
7. RECOMENDAÇÕES	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

A madeira é considerada como um dos primeiros materiais de origem natural a ser explorado pelo homem (JUVENAL; MATOS, 2002). Seu uso e aplicações vieram evoluindo com os anos, afim de acompanhar a humanidade e suas necessidades.

A implantação de florestas plantadas vem crescendo consideravelmente a cada ano para suprir a demanda por madeira. Atualmente, no Brasil, estas plantações ocupam uma área de 7,83 milhões de hectares, sendo basicamente compostas por pinus e eucalipto (IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2019).

A madeira é utilizada como matéria prima na indústria para variados fins, como para produção de celulose, de energia, extração de resina, ou em serrarias. Para ampliar o uso deste material, adesivos podem ser introduzidos na confecção de produtos como móveis, vigas coladas ou painéis reconstituídos.

A etapa de colagem é relevante pois influencia na qualidade final da peça. O custo do adesivo, utilizado na colagem, pode chegar a 50% do valor final do produto (BIANCHE, 2014) e, por isso, é importante estudá-lo para que se atinja a máxima eficácia naquilo que será gerado.

O mercado é exigente por produtos de qualidade, com resistência e durabilidade. Com isso, o estudo da interação entre a superfície de contato da madeira com o adesivo é necessário, pois existem fatores que podem interferir, significativamente, nesta colagem.

A constituição química das espécies utilizadas é um dos fatores que interferem na adesão, bem como o estado de sua superfície no momento da colagem. Outro fator pertinente a qualidade da colagem da madeira são as características do adesivo e como eles interagem com a espécie utilizada.

A técnica de resinagem surgiu como forma de antecipar receitas de um plantio florestal, principalmente em espécies de *Pinus sp.*, porém os extrativos presentes na madeira, podem interferir na colagem, e por isso é importante que estudos sobre a possibilidade de se obter produtos de maior valor agregado a partir desta madeira resinada sejam desenvolvidos, avaliando seu potencial na colagem e na produção de painéis reconstituídos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho foi avaliar a interação madeira-adesivo nas faces das árvores *Pinus elliottii* submetidas à resinagem.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o ângulo de contato e umectação.
- Avaliar o efeito das características anatômicas nas duas faces de árvores *Pinus elliottii* submetidas à resinagem (resinada e não resinada).
- Determinar o pH da espécie *Pinus elliottii*.
- Determinar massa específica básica e aparente da madeira.
- Comparar o desempenho da madeira resinada de *Pinus elliottii* com a madeira não resinada da mesma espécie com trabalhos de literatura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Pinus elliottii* Engelm.

O *Pinus elliottii* possui madeira branca-amarelada de densidade baixa, com boa trabalhabilidade, apresenta facilidade para aplainar, desdobrar, lixar, colar e permite bom acabamento. Sua madeira é amplamente destinada para o processamento mecânico, utilizada desde a construção civil, fabricação de móveis, como também para produção de celulose, papel e extração de resina (AGUIAR et al., 2014; IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Originária dos Estados Unidos é a espécie mais utilizada para produção de resina no país, por ser mais fluida e não formar crostas endurecidas, quando comparada a outras espécies do gênero. Foi introduzida na década de 60 no Brasil e atualmente é considerada espécie padrão para extração de resina. Apresenta plantios no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e no Sudoeste paulista devido ao clima predominante ser subtropical e temperado (MARCELINO, 2004).

O Brasil é o segundo maior exportador de resina no mundo, e a produção média anual é de 2 kg por indivíduo nas árvores sem melhoramento genético, quando melhoradas geneticamente, essa produção pode chegar a 10 kg por árvore (AGUIAR et al., 2014).

3.2. RESINAGEM

A resina é um líquido viscoso formado por células epiteliais dos canais resiníferos (FUSATTO, 2006). É um produto de sustentação e proteção da árvore e surge a partir de um ferimento, como a retirada de sua casca (CARVALHO et al., 2018).

A lesão provocada na árvore é responsável pelo corte dos canais resiníferos. Pastas são aplicadas, pois promovem a síntese de etileno, hormônio envolvido na liberação de resina (FUSATTO, 2006).

A partir da resina são obtidos dois principais produtos; o breu, que é sólido, e a terebintina, líquida. Esses materiais são utilizados para produzir colas,

vernizes, tintas, na indústria farmacêutica, gomas de mascar, entre outras coisas (CARVALHO et al., 2018).

A exploração de resina além de antecipar receitas para o proprietário, é fonte de emprego. A técnica também possui o diferencial de não possuir grande horizonte de amortização do investimento como outras atividades florestais (FERREIRA, 2001).

Apesar de recente no Brasil, a atividade relacionada a obtenção de resina é capaz de atender a demanda interna como também participar do mercado externo (FUSATTO, 2006). De acordo com a Associação dos Resinadores do Brasil (ARES B), a produção nacional de resina de pinus em 2018 é de 185,692 toneladas.

Apesar de contar com grandes vantagens ao produtor de madeira, o setor enfrenta diversos problemas, exigindo novas pesquisas para seu desenvolvimento. Aproximadamente metade da área plantada de pinus no estado do Paraná é composta por *Pinus elliottii*, entretanto, a exploração de resina não segue o mesmo ritmo, em virtude das dúvidas e ou do desconhecimento da técnica por parte dos produtores (BAENA, 1994).

Cademartori et al. (2012), citam a relevância econômica da resinagem, sendo constituída como uma atividade secundária e rentável de aproveitamento de floresta plantada, ainda de acordo com os autores, a resinagem pode influenciar em vários aspectos qualitativos da madeira, tornando necessário estudos deste material, afim de abrir espaço no mercado a produtos oriundos de florestas resinadas.

A madeira resinada é comercializada sem que se saiba ao certo quais as interferências químicas, físicas e mecânicas que sofreu. A informação a respeito da resinagem não representa sua importância na indústria madeireira brasileira. Há pouco conhecimento sobre o tema, o que dificulta soluções de problemas do cotidiano (MARCELINO, 2004).

Este trabalho visa obter informações sobre estas mudanças e se isto poderá afetar os processos de colagem deste material. Deste modo, será possível abranger novas formas de utilização destas madeiras.

3.3. ADESIVOS

A necessidade de preservar florestas nativas abriu caminho aos plantios comerciais. Entretanto, estes, por muitas vezes não são capazes de cumprir a demanda por madeira. A utilização de madeira colada aumentou a possibilidade de uso, transformando-as em peças de variados tamanhos de acordo com o interesse e mais atrativas (Mendoza et al., 2017).

Os primeiros adesivos desenvolvidos pelo ser humano são datados de 3000 anos antes de Cristo no Egito (AZEVEDO, 2009). Estes desejavam tornar seus móveis de madeira mais bonitos colando adornos e também mais resistentes. Os adesivos eram feitos à base de elementos naturais, como sangue, látex, proteínas de soja entre outros. Somente após a Segunda Guerra Mundial aqueles formados de base sintética obtiveram destaque, surgindo representantes de sucesso na utilização com a madeira, como o polivinil acetado (PVA), isocianato e o poliuretano (FRIHART, 2015).

3.4. CARACTERÍSTICAS DOS ADESIVOS

As características dos adesivos e da madeira, tanto de sua estrutura interna como de sua superfície, influenciam no grau de mobilidade do adesivo, sendo determinante na qualidade do processo de colagem (ALMEIDA, 2009).

Segundo Almeida (2009), a viscosidade diz respeito ao potencial do fluido resistir ao fluxo livre, como também o modo de quantificar a existência de atrito entre as moléculas de um fluido, gerando como resposta o escoamento.

A viscosidade determina o grau de fluidez do adesivo. Quando esta é muito elevada, diminui a mobilidade do adesivo na madeira (BIANCHE, 2015), conseqüentemente, a aplicação é ineficiente e pode causar linha de cola espessa. Entretanto, quando adesivos de baixa viscosidade são aplicados podem gerar linha de cola faminta, devido à alta absorção do líquido pela madeira (ALMEIDA, 2009).

É a concentração de íons dissociados H^+ e OH^- de uma solução aquosa. O pH do adesivo deve estar na faixa de 2,5 a 11 para que não ocorra degradação das fibras (STELLA, 2009). A cura dos adesivos ocorre através de reações que são por muitas vezes influenciadas pelo pH (BIANCHE, 2015).

Durante a colagem é importante levar em consideração o pH da madeira e do adesivo, pois, quando o adesivo apresenta pH muito baixo pode propiciar formação excessiva de espuma, enquanto madeira com elevado pH pode gerar pré-cura durante a prensagem (STELLA, 2009).

O teor de sólidos é a quantidade de sólidos no adesivo, e é aquilo que permite que a linha de cola exista (BIANCHE, 2015). Sabendo que o adesivo é formado por substâncias sólidas e líquidas, durante o processo de prensagem a quente a parte líquida é evaporada, restando a parte sólida, que cura e solidifica formando a ligação entre a madeira e o adesivo (ALMEIDA, 2009).

Um teor de sólidos baixo pode prejudicar a colagem, tanto pela baixa concentração do material que realmente permite a ligação madeira-adesivo como pela maior quantidade de voláteis, o que aumenta as chances de ocorrer delaminação (ALMEIDA, 2009).

Também chamado como gel time, o tempo de gelatinização caracteriza-se como o tempo transcorrido desde a preparação do adesivo para aplicação até sua solidificação ou fase de gel, que é quando atinge sua máxima elasticidade (STELLA, 2009).

O tempo de gelatinização aponta a reatividade do adesivo. Quanto maior, mais rápido será o tempo para alcançar a fase de gel e isto influencia no tempo de prensagem, que deve ser o menor possível. Este fator também está relacionado a temperatura ambiente (ALMEIDA, 2009).

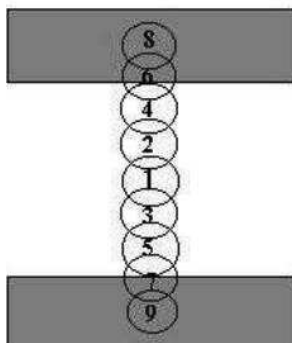
O tempo de gelatinização é mensurado através de um aparelho com haste metálica com disco que realiza movimento vertical vibratório e deve ser realizado em temperatura padrão. O teste continua até que as hastes parem de se movimentar, indicando maior resistência do adesivo (STELLA, 2009).

3.5. INTERAÇÃO MADEIRA-ADESIVO

A interação entre duas peças de madeira e o adesivo pode ser explicada através de nove elos de conexão. Cada um desenvolve uma ação específica em relação ao trabalho do adesivo (Figura 1), sendo o número 1 o filme de adesivo, 2 e 3 camadas de ligação intra-adesivo, 4 e 5 interfaces madeira-adesivo, 6 e 7 subsuperfície do aderente, 8 e 9 o próprio aderente (IWAKIRI, 2005).

A colagem do adesivo na madeira começa com sua aplicação na superfície de interesse. A partir desse momento se iniciam os movimentos do adesivo e finaliza com a fase de solidificação (BIANCHE, 2015).

Figura 1: Elos de conexão entre duas peças de madeira e o adesivo.

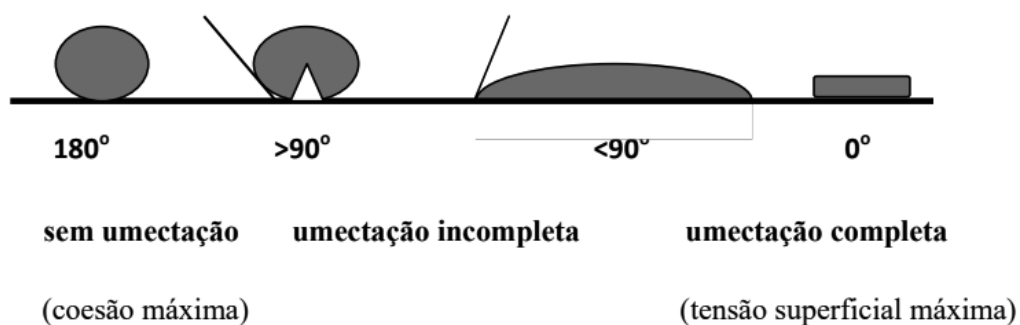


Fonte: Iwakiri, 2005.

O comportamento do adesivo atingindo a madeira pode ser observado na figura 2. Duas forças começam a agir após o contato inicial do adesivo com a madeira, a força de coesão por parte do adesivo, que tenta manter sua forma esférica, e a força de adesão adesivo-madeira que tenta romper a forma esférica do líquido e estender a gota de adesivo sobre a superfície da madeira, através da tensão superficial (IWAKIRI, 2005).

Ainda de acordo com Iwakiri (2005), as diferentes forças atuantes nesse processo levam a diferentes níveis de umectação da madeira pelo adesivo. Dependendo do ângulo de contato e umectação, que é o ângulo formado entre a madeira e a reta tangente ao menisco do líquido existem três possíveis resultados, sem umectação, umectação incompleta ou umectação completa.

Figura 2: Comportamento do adesivo em contato com a madeira e ângulo de contato e umectação.



Fonte: Marra, 1992 citado por Iwakiri, 2005.

Quanto menor a densidade e maior a porosidade da madeira, melhor será a umectação. Além disso, os extrativos presentes na madeira podem afetar esse processo, assim como secagem a alta temperatura (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Trianoski et al. (2015), a maior umectação favorece maior resistência da linha de cola ao cisalhamento.

Segundo Jesus (2000), a solubilidade do adesivo, a rugosidade da madeira, a penetração do adesivo na madeira, a fluidez e viscosidade do adesivo, espessura da linha de cola e pressão aplicada, são fatores que influenciam na ligação adesiva. Quanto maior o espalhamento do adesivo sob a superfície da madeira, mais resistente será a ligação; a rugosidade da superfície interfere no fato de que pode proporcionar maior área de contato entre o adesivo e a superfície aderente, gerando uma ligação eficaz; o grau atingido pela penetração vai depender da permeabilidade da madeira, viscosidade e tempo de cura do adesivo, onde o fator fluidez possui papel relevante para que não haja linha de cola insatisfatória e nem faminta.

A mobilidade do adesivo que permite que aconteça a ligação madeira-adesivo consiste de cinco etapas, sendo elas: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação (MARRA, 1992, citado por CÉSAR, 2011).

3.6. TEORIAS DE ADESÃO

O processo de adesão é explicado por três teorias, mecânica, química e por difusão de polímeros.

A adesão mecânica ocorre quando o adesivo penetra nas irregularidades da madeira e forma uma espécie de ganchos quando se solidifica, travando fortemente a peça. O problema desta teoria é que ela não explica como a adesão ocorre em materiais que não são porosos, ou em madeiras de elevada densidade, deste modo existe a teoria por difusão de polímeros que defende que correntes moleculares são móveis e solúveis. Os problemas que ocorrem nesta adesão são explicados pelo tempo de contato, temperatura e passo molecular dos polímeros (MENDOZA et al., 2017).

A adesão química apresenta que as forças atuantes no processo são as ligações primárias de natureza eletrônica, porém a ação das forças químicas não

promove a adesão, as forças secundárias é que fornecem a resistência e versatilidades dos adesivos (JESUS, 2000).

Das diversas teorias que tentam explicar o princípio da adesão, nenhuma delas é totalmente eficaz, necessitando da união entre elas a fim de chegar a um resultado próximo da realidade (VITAL et al., 2006).

3.7. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA

3.7.1. Anéis de crescimento

Os anéis de crescimento iniciam sua formação na primavera e terminam no outono, formando o lenho inicial e o tardio. Estes apresentam estrutura diferenciada que intervém na penetração do adesivo na madeira. O lenho inicial possui as paredes celulares mais finas formando um sistema de menor densidade, com maior porosidade, o que facilita a penetração do adesivo no substrato. O lenho tardio por sua vez possui parede celular grossa e menor porosidade e, por isso, a penetração do adesivo pode ser dificultada (KLOCK et al., 2005).

3.7.2. Cerne e alburno

Quando jovem, a árvore é formada por alburno, mas com o passar do tempo, as células parenquimáticas morrem e o alburno torna-se cerne, processo denominado cernificação. Durante este período ocorrem mudanças químicas que geram grandes quantidades de extrativos (KLOCK et al., 2005). Quando comparado ao alburno, o cerne tem menor permeabilidade, o que dificulta a penetração do adesivo. A presença de extrativos na madeira também pode gerar problemas, devido ao seu potencial de acelerar a reatividade do adesivo, o que pode ocasionar que a aproximação entre o adesivo e a superfície da madeira seja insuficiente, impedindo a adesão (ALMEIDA, 2013).

3.7.3. Idade da árvore

A árvore possui um ciclo de vida que é composto pelo lenho juvenil e o adulto. Foelkel et al. (1976) frisam que não existe uma linha divisória entre os lenhos, essa mudança é gradual. Os autores ainda citam que na madeira juvenil há aumento progressivo na dimensão das células, com mudanças em sua forma, estrutura, arranjo, organização e proporção de tecidos. Já para o lenho adulto a alteração de maior importância é a transformação do alburno em cerne.

Durante o período juvenil da árvore, o crescimento das fibras em relação ao comprimento está em ritmo acelerado, quanto mais velho o indivíduo, menor será este acréscimo no comprimento das fibras. Na cernificação acontecem alterações nas dimensões das fibras, além de cessar a organização estrutural da parede celular (FOELKEL, 1976).

A madeira juvenil apresenta densidade menor que a madeira adulta, algo que facilita a colagem, entretanto esta madeira possui anéis de crescimento largos, com menor resistência e maiores variações dimensionais que podem resultar em tensões na linha de cola prejudicando o processo (VITAL et al., 2006).

Estudo realizado por Muñiz (1993), constatou que a relação entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio é alta. Em compensação, quando analisado o lenho juvenil, uma menor correlação foi identificada, uma vez que essa madeira foi influenciada pelos extrativos presentes.

3.7.4. Lenho de reação

Fatores ambientais como clima, vento, solo e topografia, as características do local onde a árvore foi plantada como encostas, e fatores externos como assimetria da copa e dos galhos da árvore podem ocasionar a formação do lenho de reação (MONTEIRO et al., 2010). Coníferas desenvolvem lenho de compressão e folhosas de tração (KLOCK, et al., 2005). Este fenômeno diminui a resistência da madeira, deixando-a mais instável dimensionalmente, e isto irá prejudicar a qualidade do produto colado (VIDAURRE et al., 2013).

3.7.5. Grã

A superfície da madeira apresenta diferentes ângulos de corte, de acordo com Albuquerque e Latorraca (2000) essa diferença não gera grandes problemas em relação ao processo de colagem. O ângulo relativo para a real direção das fibras é mais relevante, pois gera modificações na estrutura da madeira. Quando a grã é cruzada tem maior porosidade, podendo gerar excesso da penetração do adesivo, ocasionando a linha de cola faminta.

3.7.6. Porosidade

A porosidade diz respeito a permeabilidade da madeira e é uma característica de relevância. Essa propriedade está relacionada ao fluxo de líquidos naquele material. O inverso da porosidade ocorre quando a parede celular é mais espessa e o lúmen é menor, resultando em uma madeira mais densa. Este fato dificulta o processo de transferência do adesivo para o substrato (ALBUQUERQUE E LATORRACA, 2000).

3.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

3.8.1. Extrativos

Os extrativos são chamados de componentes acidentais da madeira, pois são substâncias estranhas a estrutura da parede celular e da lamela média. Os extrativos são facilmente solúveis em água, vapor e em solventes orgânicos e são eles que muitas vezes determinam a cor, cheiro, resistência a patógenos, gosto e propriedades abrasivas da madeira (KLOCK et al., 2005).

Os extrativos têm potencial de selamento da superfície da madeira, podendo comprometer o desempenho da colagem, principalmente na fase de umectação (ALBINO, et al. 2012).

3.8.2. pH

O pH das madeiras pode variar de 3 a 6, dependendo de cada espécie (BIANCHE, et al. 2015). Os adesivos curam em determinadas faixas de pH, podendo sofrer uma pré-cura ou um retardo dependendo destas características da madeira. Segundo Almeida (2009), um baixo teor de pH aliado a alto teor de extrativos na madeira é uma combinação prejudicial a cura dos adesivos.

3.8.3. Cinzas

As cinzas correspondem a parte inorgânica da madeira e encontram-se entre 0,2 a 0,5 % (KLOCK et al., 2005). Desde que dentro desta faixa, o conteúdo de cinzas na madeira não afetará a colagem (IWAKIRI, 2005).

3.9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

3.9.1. Densidade

Moreschi (2012) classificou a densidade como uma das propriedades de maior importância. Madeiras densas apresentam as vantagens de serem mais pesadas, resistentes e duras, mas em contrapartida tem maior variabilidade dimensional, o que dificulta alguns processos. Segundo Trianoski et al. (2015) madeiras de baixa densidade permitem uma absorção excessiva de adesivo, formando uma linha de cola de baixo desempenho.

A densidade de uma madeira determina sua porosidade pois, quanto mais densa a espécie menor será a permeabilidade, característica que afeta diretamente a interação madeira-adesivo (REVISTA DA MADEIRA, 2007).

3.9.2. Conteúdo de umidade

Na colagem de madeira é essencial o controle do teor de umidade pelo fato de que grande parte dos adesivos existentes não são capazes de formar linha de cola satisfatória, caso a umidade da madeira esteja acima de 20% (SILVA et al., 1998).

Quando a umidade é muito elevada, durante a prensagem a quente pode acontecer a formação de bolhas na linha de cola (SILVA et al., 1998). Outro fato é a variação dimensional que ocorre devido às variações de umidade (WILCZAK, 2014). Ambas situações trazem prejuízos a colagem.

3.10. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DA MADEIRA

3.10.1. Tensões internas e externas

As tensões geradas na linha de cola podem ser tanto de fontes internas como externas. Tensões internas são decorrentes da própria madeira, de seus constituintes, como grã e densidade. As tensões externas ocorrem a partir de cargas acumulativas ou dissipativas na linha de cola (IWAKIRI, 2005).

4. METODOLOGIA

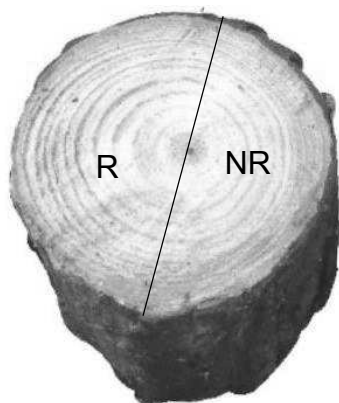
O experimento foi realizado no laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, no estado do Paraná.

O material utilizado é proveniente de um plantio de *Pinus elliottii* em Francisco Beltrão, Paraná, que realiza extração de resina. A área em questão possui árvores com 17 anos, o espaçamento inicial utilizado foi de 2m x 2m, sendo que já ocorreram 2 desbastes.

A coleta do material consistiu na seleção de quatro árvores com de diâmetro 20 cm, onde foi retirado um disco de 15 cm de altura de cada indivíduo, cortado a altura do DAP (diâmetro a altura do peito) de forma a abranger madeira já resinada. Este disco foi reduzido a fatias, e de cada uma foram retiradas as amostras para as análises.

A extração de resina no plantio era feita em faces, ou seja, cada árvore possuía uma de suas faces já resinadas. Todas as análises realizadas neste trabalho foram feitas no lado já resinado (R) e no lado sem resinar (NR), como forma de comparação (figura 3).

Figura 3: Representação da divisão da madeira resinada e não resinada na mesma árvore.



Nota: R – Lado da árvore onde era extraída resina. NR – Lado da árvore livre do ferimento para extração de resina.

Fonte: A autora, 2020.

4.1. DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE CONTATO

Durante determinação do ângulo de contato e umectação a temperatura ambiente foi de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\% \pm 5\%$. Para esta análise foram utilizados, o adesivo PVA, água destilada e etilenoglicol (BRISOLARI, 2008). Com uso de micropipeta de $20\ \mu\text{L}$ foi aplicada uma gota de cada material na superfície da madeira, este procedimento foi repetido nas três faces (transversal, tangencial e radial). A partir do momento que a primeira gota foi depositada, o cronômetro foi acionado, as gotas foram fotografadas no período de tempo determinado de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 segundos, e para o PVA foi adicionada uma leitura aos 60 segundos. A obtenção das fotos foi através de câmera fotográfica de alta resolução (figura 4).

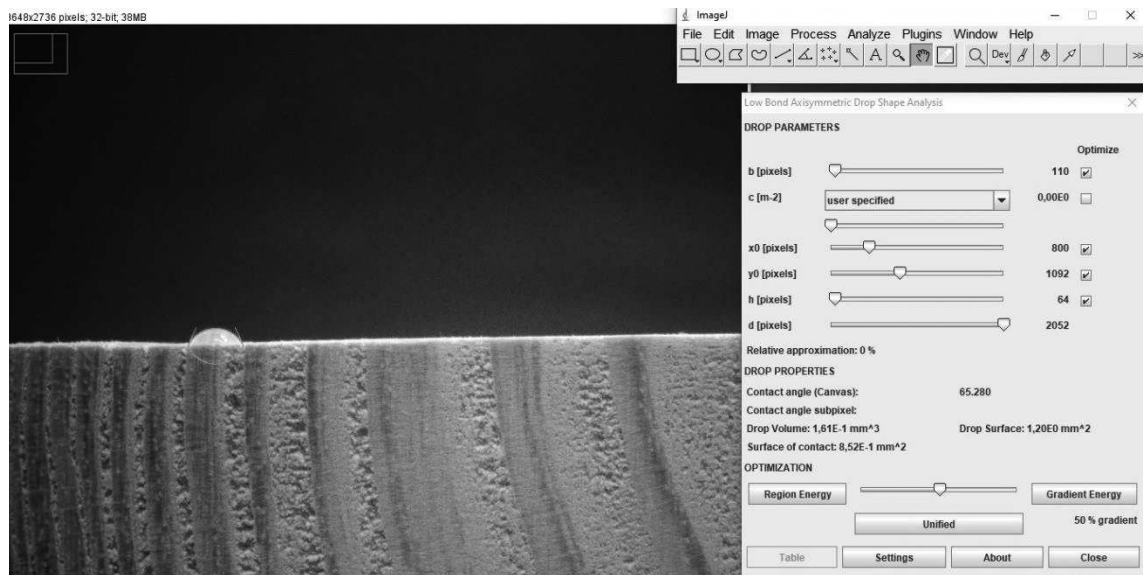
Figura 4: Procedimento para fotografar o ângulo de contato umectação da madeira de *Pinus elliottii*.



Fonte: A autora, 2020.

O software utilizado para interpretação dos dados obtidos através das fotografias foi o Image J, que possibilitou a mensuração do ângulo de contato e umectação madeira-adesivo (figura 5).

Figura 5: Mensuração do ângulo de contato e umectação com uso do software Image J.

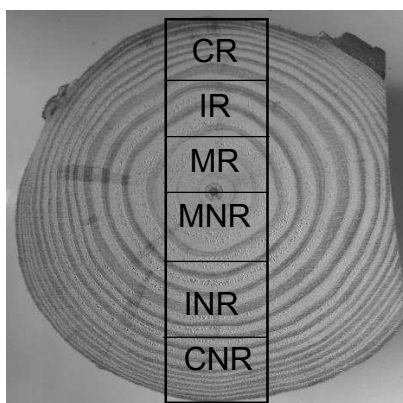


Fonte: A autora, 2020.

4.2. ANÁLISE ANATÔMICA

Para análise anatômica da espécie foram confeccionados corpos de prova nas dimensões de 2x2x2 centímetros, totalizando 6 corpos de prova de cada disco, sendo, 2 próximos a casca, 2 próximos a medula e 2 na região intermediária. Cada corpo de prova forneceu material para confecção de lâminas e de material macerado.

Figura 6: Esquema para confecção dos corpos de prova.



Nota: C – Casca. I – Intermediário. M – Medula. R – Lado da árvore onde era extraída resina. NR – Lado da árvore livre do ferimento para extração de resina.

Fonte: A autora, 2020.

A partir dos corpos de prova foram feitos cortes histológicos com o uso do micrótomo de deslize da marca Zeiss modelo Hyrax S30. Os cortes anatômicos obtidos foram regulados para as espessuras de 20 μm . Os cortes foram dispostos em lâminas de vidros com glicerina e revestidas por lamínulas de vidro (FRANKLIN, 1945).

Com o uso de microscópio foi feita a análise anatômica do material de acordo com a lista de descrição microscópicas da madeira de gimnospermas segundo Lawa (1989).

Para confecção do material macerado, foi adicionado uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético na concentração de 1:1 nos corpos de prova e estes permaneceram na estufa a 60°C, por 24 horas. Após esse processo, o material foi lavado com água até se eliminar a solução macerante. A última lavagem foi feita com água destilada. Foram adicionados safranina hidroalcoólica na concentração 1% e água destilada e, em seguida, o material foi

transferido para lâminas de vidro com adição de glicerina e cobertas por lamínulas (FRANKLIN, 1945)

A análise do material macerado foi feita de acordo com a norma proposta por Lawa (1989).

4.3. MENSURAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS

Para todos os elementos anatômicos presentes, foram realizadas 30 medições, com o uso do microscópio da marca Physis e do ISCapture.

4.4. DETERMINAÇÃO DO pH

Para análise do pH, primeiramente foi necessário que as amostras fossem moídas até que se obtivesse serragem. Após esse processo, o material passou pela peneira 40 mesh, e o que ficou retido na de 60 mesh foi utilizado. Pesou-se 15 gramas da serragem e realizou-se 3 repetições. Em cada amostra foi adicionado 150 ml de água destilada aquecida a 100°C, onde ficaram por 30 minutos. Em seguida, a água com serragem foi filtrada em um cadinho com auxílio de uma bomba de vácuo para sucção. Após, o pH foi mensurado (VITAL, 1973).

4.5. PROPRIEDADES FÍSICAS

Para determinação da massa específica básica foi utilizada a NBR 7190, em que os corpos de provas foram imersos em água até atingir saturação completa e o volume da madeira foi obtido através do deslocamento de água. Após, os corpos de prova foram levados para estufa a 103 ± 2°C até atingir massa constante. Para cálculo da massa específica básica foi utilizada a equação 1.

$$\rho_{bas} = m_s / V_{sat}$$

Equação 1

Onde:

ρ_{bas} = densidade básica (g/cm³);

ms= massa seca da madeira (g);

Vsat= volume da madeira saturada (cm³).

A massa específica aparente foi determinada a partir de medições dos corpos de prova (comprimento x espessura x altura), com uso de paquímetro digital e peso da massa na balança analítica. A massa específica aparente foi determinada da equação 2.

$$\rho_{ap} = m_u / V_u$$

Equação 2

Onde:

ρ_{ap} = massa específica aparente (g/cm³);

m_u = massa do corpo-de-prova (g);

V_u = volume do corpo-de-prova (cm³).

Para determinação do teor de umidade, os corpos de prova foram pesados, e em seguida levados a estufa a 103°C por, até peso constante. Após, permaneceram no dessecador por 40 minutos e foram pesadas novamente. O teor de umidade foi calculado através da equação 3.

$$(P_i - P_f) / P_f * 100$$

Equação 3

Onde:

P_i = Peso inicial;

P_f = Peso final.

4.6. ANÁLISE DOS DADOS

Após realização dos testes, os dados em relação a anatomia, pH e massa específica foram submetidos a análise de variância ANOVA a 5% de significância, com uso do programa Excel. Os dados também foram avaliados através de análise gráfica descritiva dos resultados.

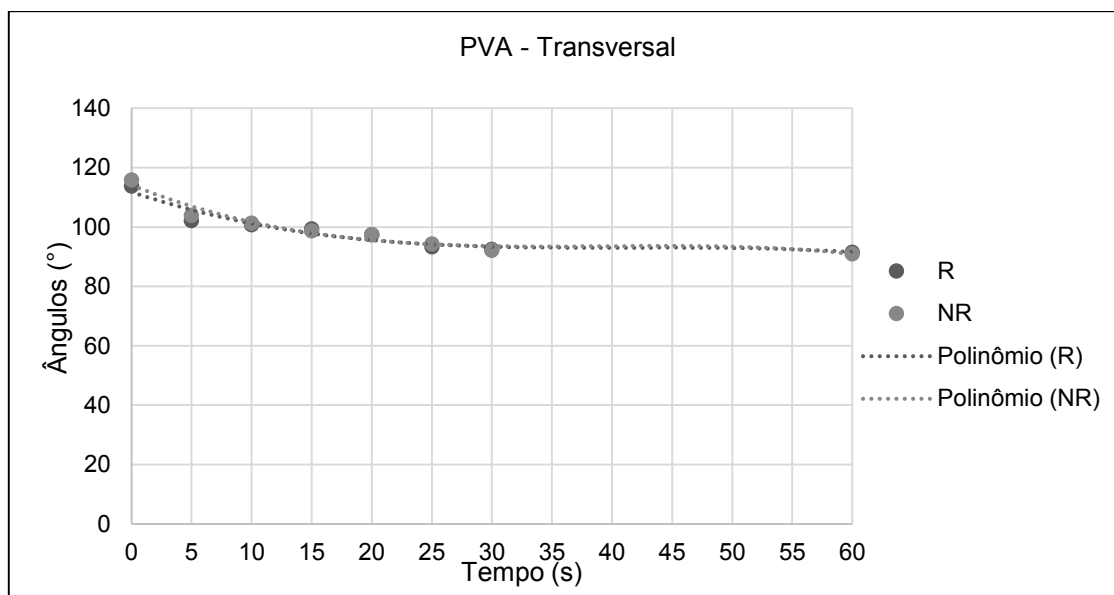
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Importante lembrar que todas as análises realizadas foram feitas no lado resinado e no lado sem resinar da árvore. Os resultados aqui expostos seguirão este critério, ao se usar (R), entende-se a face da árvore já resinada, ao se usar (NR), entende-se como a face da que não sofreu com a extração de resina.

5.1. ÂNGULO DE CONTATO E UMECTAÇÃO

Observou-se uma tendência de diminuição do ângulo de umectação com o uso do adesivo PVA, no plano transversal, até os 30 segundos, tanto no lado R quanto no lado NR (Gráfico 1). Isso se deve à maior interação entre madeira e adesivo nos primeiros segundos. Após este tempo, notou-se uma constância em relação à absorção e indica que não houve uma diferença entre os dois lados, R e NR, considerando que ambos apresentam mesma tendência de absorção.

Gráfico 1: Tendência dos ângulos de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliotii* com o uso do adesivo PVA em relação ao plano transversal da madeira.

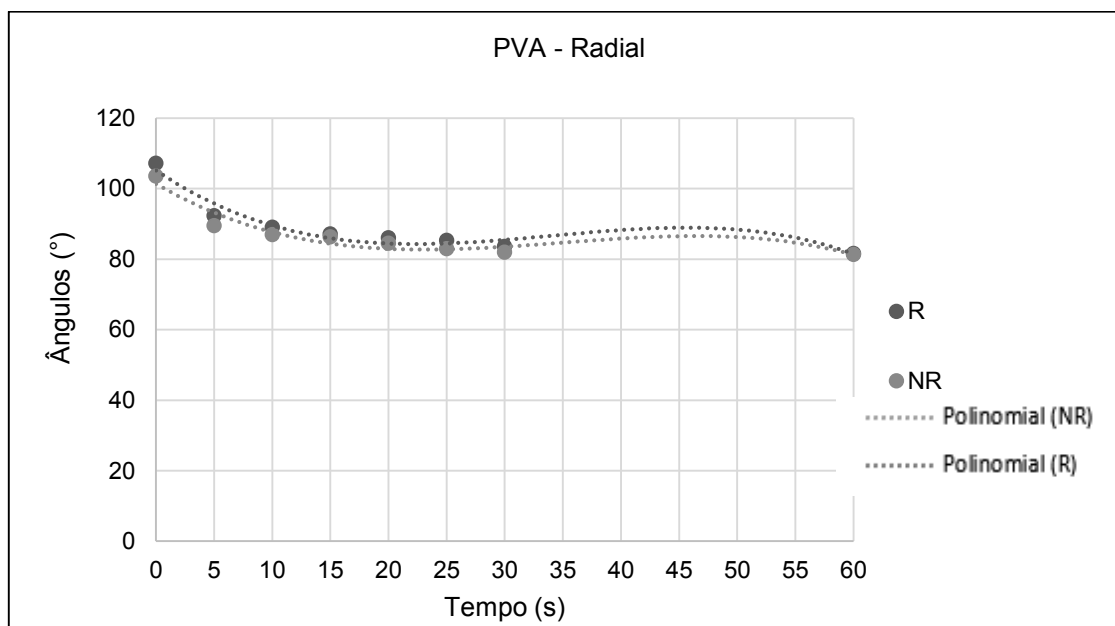


Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = -0,0003x^3 + 0,0331x^2 - 1,37x + 111,84$; $R^2 = 0,9333$. Equação Polinomial (NR) $y = -0,0004x^3 + 0,0422x^2 - 1,6288x + 114,15$; $R^2 = 0,9576$.

Fonte: A autora, 2020.

Para o plano radial da madeira, o comportamento foi semelhante ao observado no transversal. A linha de tendência obtida (Gráfico 2), mostra que houve maior interação, ou seja, maior absorção de adesivo pela madeira nos primeiros 30 segundos de contato e, posteriormente, o ângulo tende a estabilizar. O mesmo foi observado no lado R e NR.

Gráfico 2: Tendência dos ângulos de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliotii* com o uso do adesivo PVA em relação ao plano radial da madeira.



Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = -0,0007x^3 + 0,0745x^2 - 2,234x + 105,18$; $R^2 = 0,9458$. Equação Polinomial (NR) $y = -0,0006x^3 + 0,0628x^2 - 1,937x + 101,39$; $R^2 = 0,9239$.

Fonte: A autora, 2020.

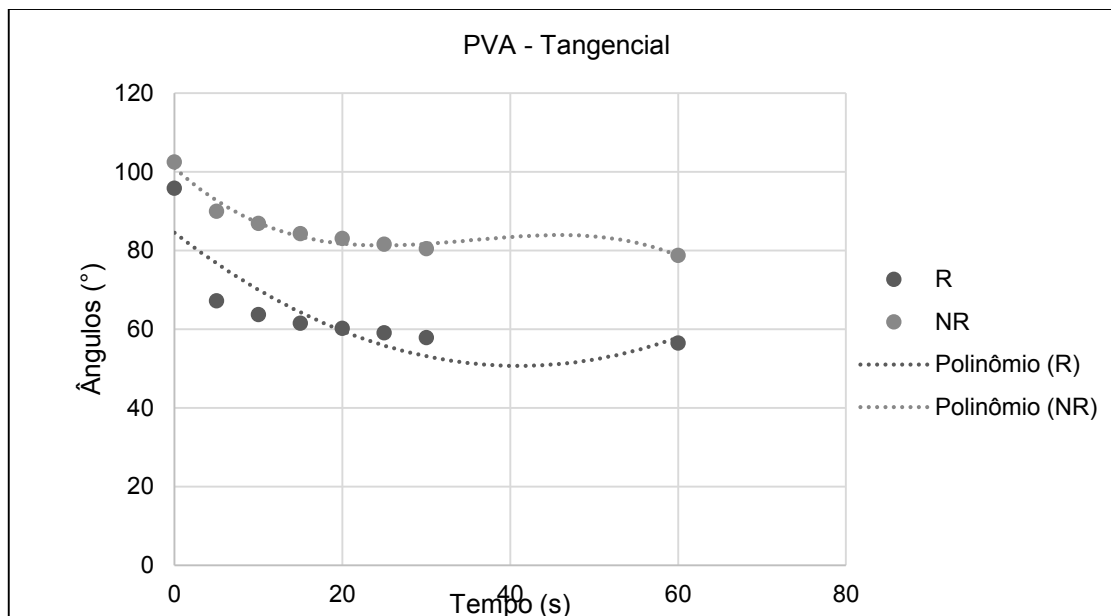
No plano tangencial da madeira (Gráfico 3), a linha de tendência observada, mostra que houve maior interação madeira - PVA nos primeiros segundos de contato. Pode-se constatar que a umectação foi maior nos períodos de 0 a 5 segundos, mas continuou até os 30 segundos, e após esse tempo entra em constância.

Ao contrário do observado no plano transversal e radial, houve diferença entre a curva de tendência do lado R e NR no plano tangencial da madeira. Os ângulos obtidos no lado R foram menores do que no NR.

A maior absorção de PVA pela madeira ocorre no sentido tangencial devido sua constituição anatômica. O plano tangencial apresenta mais raios e

estes, são constituídos de parece celular mais fina, permitindo assim maior absorção

Gráfico 3: Tendência dos ângulos de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* com o uso do adesivo PVA em relação ao plano tangencial da madeira.



Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = -0,0006x^3 + 0,0602x^2 - 1,9365x + 109,94$; $R^2 = 0,966$. Equação Polinomial (NR) $y = -0,0201x^2 - 1,6474x + 84,491$; $R^2 = 0,7376$.

Fonte: A autora, 2020.

Ao depositar um líquido sobre uma superfície sólida, ele pode se espalhar completamente ou parcialmente mantendo seu formato esférico de gota e interferindo diretamente na umectação. De acordo com Iwakiri (2005), ângulos de contato superiores a 90° são classificados como sem umectação, fato observado nos Gráficos 1 e 2, tanto no lado R como no RN.

Quando o ângulo de contato formado apresentar valores entre 90 a 0° , é classificado como umectação incompleta (IWAKIRI, 2005), que foi o caso do lado tangencial para o lado R e NR (Gráfico 3).

O comportamento característico do adesivo PVA, independente do plano da madeira e de ser R ou NR, foi de manter seu formato esférico até a última mensuração aos 60 segundos. Isto ocorre devido as forças coesivas do PVA, que trabalham a fim de manter o formato da gota, diminuindo desta forma a

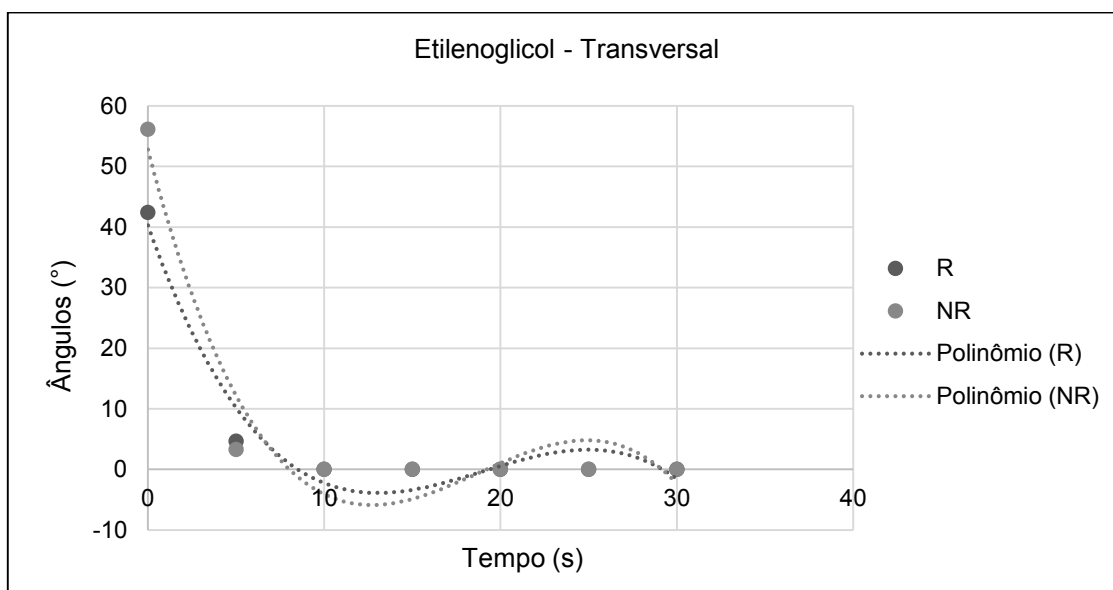
penetração deste adesivo na madeira (BIANCHE, 2014). O que também foi encontrado por Bianche (2014), ao analisar o ângulo de umectação de cinco diferentes adesivos em madeira de pinus e eucalipto.

A tendência encontrada com uso de PVA, permite observar que ao entrar em contato com a madeira o ângulo diminui rapidamente, o que é chamado de fase de espalhamento. À medida que o tempo passa, o ângulo de contato diminui, porém em menor proporção até que encontra o equilíbrio, chamada de fase de difusão (BIANCHE, 2014).

Nos gráficos 4, 5 e 6 encontram-se a tendência dos ângulos de umectação obtidos em relação ao etilenoglicol, considerando R e NR. As análises também foram feitas nos planos transversal, radial e tangencial.

Notou-se tendência de elevada diminuição do ângulo de umectação no intervalo de 0 a 5 segundos, tanto no lado R quanto no lado NR (gráfico 4). Isso acontece devido a maior interação entre madeira e o etilenoglicol nos primeiros segundos. Após este tempo, foi possível observar que os dados entram em constância. Este fato foi observado nos dois lados da madeira, R e NR, e indica que não houve uma diferença entre os dois, pois ambos apresentam a mesma tendência de absorção.

Gráfico 4: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliotii* com o uso de etilenoglicol em relação ao plano transversal da madeira.

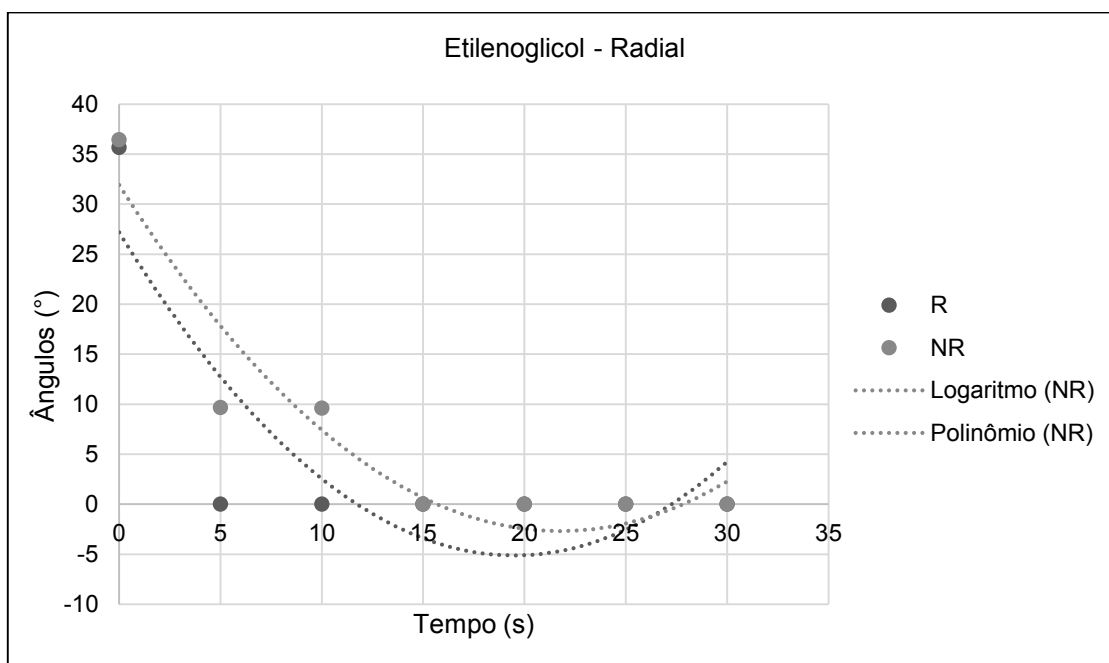


Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = -0,0117x^3 + 0,6623x^2 - 11,136x + 52,784$; $R^2 = 0,9396$. Equação Polinomial (NR) $y = -0,0084x^3 + 0,4784x^2 - 8,2007x + 40,297$; $R^2 = 0,957$.

Fonte: A autora, 2020.

No gráfico 5, plano radial da madeira, o comportamento foi muito semelhante ao observado no gráfico 4. A linha de tendência obtida mostra que houve maior interação, ou seja, maior absorção de adesivo pela madeira nos primeiros 5 segundos de contato, após, o ângulo tende a estabilizar. O mesmo foi observado no lado R e NR.

Gráfico 5: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliotii* com o uso de etilenoglicol em relação ao plano transversal da madeira.

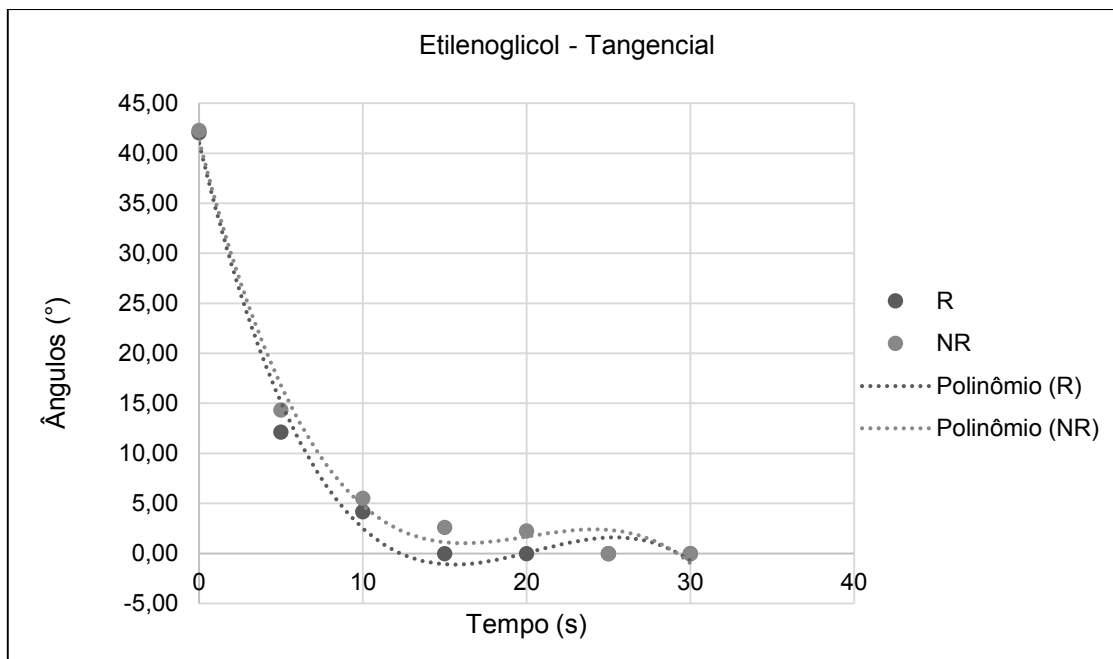


Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = 0,0849x^2 - 3,312x + 27,175$; $R^2 = 0,7222$. Equação Polinomial (NR) $y = 0,073x^2 - 3,1788x + 31,903$; $R^2 = 0,8998$.

Fonte: A autora, 2020.

A tendência observada no plano tangencial da madeira (Gráfico 6), mostra que houve grande interação madeira - etilenoglicol nos primeiros segundos de contato, após, a umectação tendeu a se estabilizar. A mesma tendência foi encontrada no lado R e NR.

Gráfico 6: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* com o uso de etilenoglicol em relação ao plano tangencial da madeira.



Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = -0,0057x^3 + 0,3516x^2 - 6,7916x + 40,987$; $R^2 = 0,9883$. Equação Polinomial (NR) $y = -0,0055x^3 + 0,3315x^2 - 6,4153x + 41,275$; $R^2 = 0,988$.

Fonte: A autora, 2020.

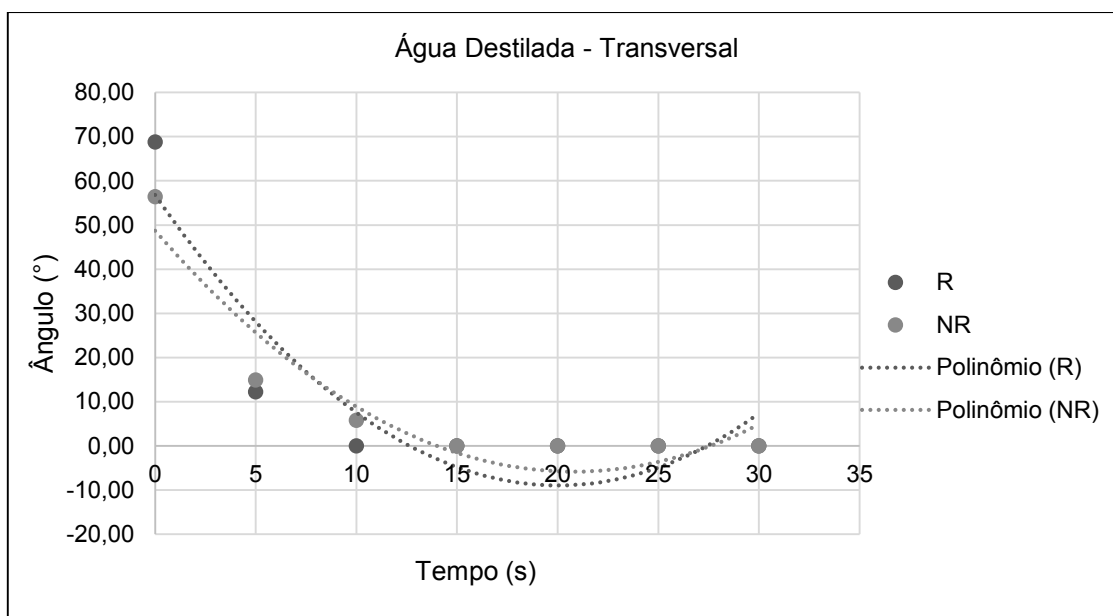
A tendência da umectação observada com etilenoglicol nos três planos da madeira, e para o lado R e NR até os 10 segundos de interação é classificada como umectação incompleta, após esse período, a umectação foi completa.

O etilenoglicol apresentou comportamento semelhante em todas as análises, penetrando a superfície da madeira muito mais rápido do que o PVA. Desta forma, podemos constatar que para o etilenoglicol a força de adesão (etilenoglicol-madeira) foi maior do que sua força de coesão, e o resultado foi de o ângulo de contato diminuir rapidamente e obter em maior parte das leituras umectação completa.

Nos gráficos 7, 8 e 9 encontra-se a tendência dos ângulos de umectação obtidos em relação a água destilada, considerando madeira resinada e não resinada e os três planos da madeira, transversal, radial e tangencial.

Nota-se tendência de elevada diminuição do ângulo de umectação no intervalo de 0 a 10 segundos, tanto no lado R quanto no lado NR (Gráfico 7). Isso permite observar que ocorreu maior interação entre madeira e água destilada nos primeiros segundos. Após este tempo, os dados entram em constância. Este fato foi observado nos dois lados da madeira, R e NR.

Gráfico 7: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* com o uso de água destilada em relação ao plano transversal da madeira.

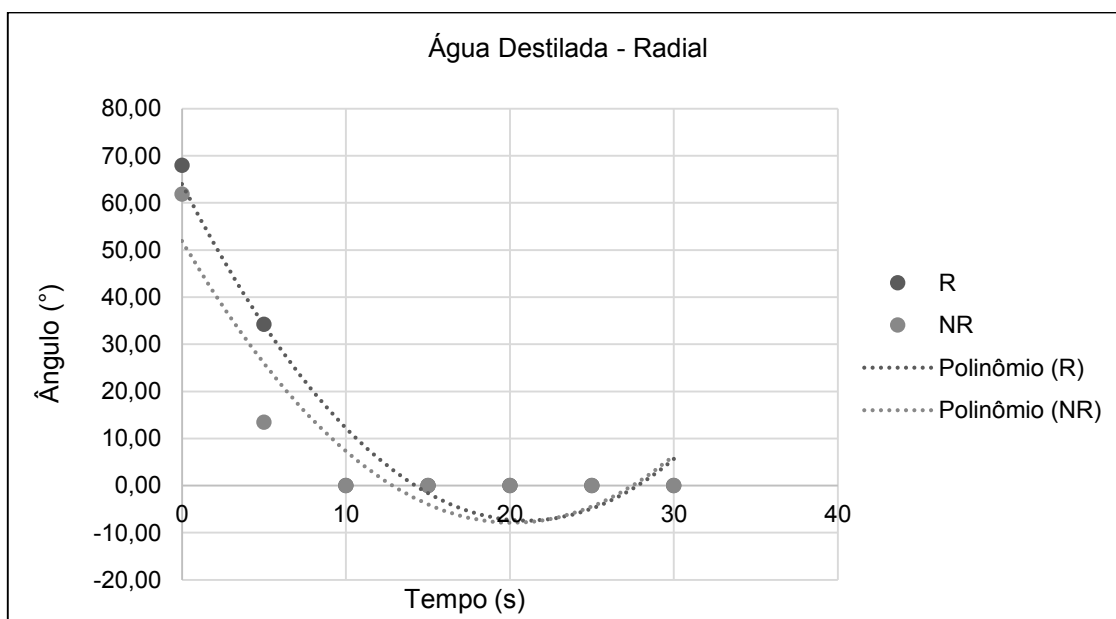


Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = 0,1638x^2 - 6,5653x + 56,812$; $R^2 = 0,8393$. Equação Polinomial (NR) $y = 0,126x^2 - 5,2439x + 48,707$; $R^2 = 0,901$.

Fonte: A autora, 2020.

A tendência encontrada no gráfico 8, mostra que quando a água destilada entra em contato com a madeira, o ângulo diminui rapidamente, conforme o tempo passa, o ângulo de contato diminui, porém em menor proporção até que encontra o equilíbrio, isto ocorreu aos 10 segundos. Fato observado também em ambos os lados da madeira.

Gráfico 8: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* com o uso de água destilada em relação ao plano radial da madeira.

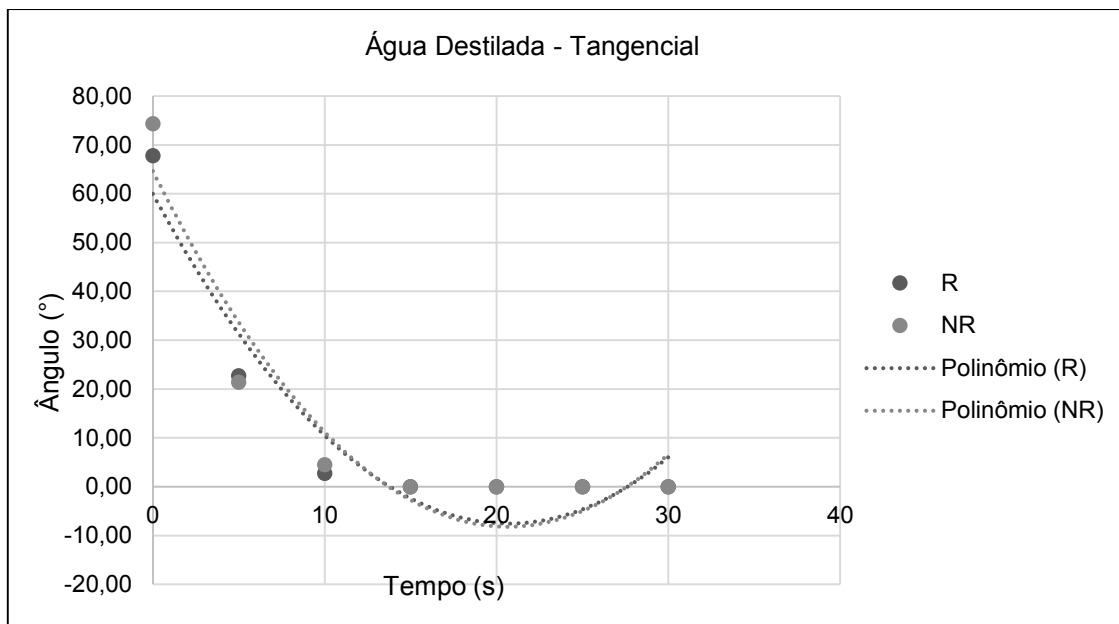


Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = 0,1619x^2 - 6,8018x + 64,021$; $R^2 = 0,936$. Equação Polinomial (NR) $y = 0,1473x^2 - 5,9359x + 51,932$; $R^2 = 0,8605$.

Fonte: A autora, 2020.

No gráfico 9 é possível observar a tendência do comportamento dos ângulos da água destilada no plano tangencial da madeira. O comportamento deste, foi semelhante ao já discutido nos gráficos 7 e 8. A tendência observada para o lado R e NR não diferiram entre si.

Gráfico 9: Tendência dos obtidos de ângulo de contato e umectação em madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* com o uso de água destilada em relação ao plano tangencial da madeira.



Nota: R – Lado resinado. NR – Lado não resinado. Equação Polinomial (R) $y = 0,1575x^2 - 6,5213x + 59,97$; $R^2 = 0,919$. Equação Polinomial (NR) $y = 0,1707x^2 - 7,052x + 64,65$; $R^2 = 0,9055$.

Fonte: A autora, 2020.

De forma geral, a interação madeira-água destilada é classificada como umectação incompleta até os 10 segundos, e umectação completa após esse período pois, a partir do ângulo mensurado aos 10 segundos, já foram encontrados valores de ângulo de contato igual a 0° .

Independente do material utilizado na interação (PVA, etilenoglicol ou água destilada), plano da madeira, ou de ser resinada (R) ou não resinada (NR), pode-se constatar que o ângulo de contato diminui com o passar do tempo. Algo observado também por Bianche (2014), onde relata que o fato já era esperado, uma vez que quando uma gota atinge a superfície da madeira, esta passa a se estender sob a superfície.

5.2. ANÁLISE ANATÔMICA DE *Pinus elliottii*

A madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* foi descrita conforme as normas para descrição microscópicas de madeiras de coníferas, segundo Iawa (1989).

Anéis de crescimento lado R e NR: distintos, com transição brusca entre os lenhos inicial e tardio.

Canais resiníferos lado R: Presentes. Axiais e radiais

Traqueóides lado R e NR: curtos e de paredes finas. Com pontoações areoladas majoritariamente unisseriadas, às vezes bisseriadas opostas.

Tanto a madeira R como a NR apresentaram parênquima axial associado aos canais resiníferos.

Raios lado R e NR: unisseriados e fusiformes. Raios heterogêneos, compostos por parênquima e traqueóides.

As pontoações do campo de cruzamento para ambas as amostras são do tipo pinóide.

Na tabela 1 encontram-se os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação em relação aos raios, aos canais resiníferos e aos traqueóides. Os resultados obtidos não apresentaram diferença significativa entre a madeira R e NR.

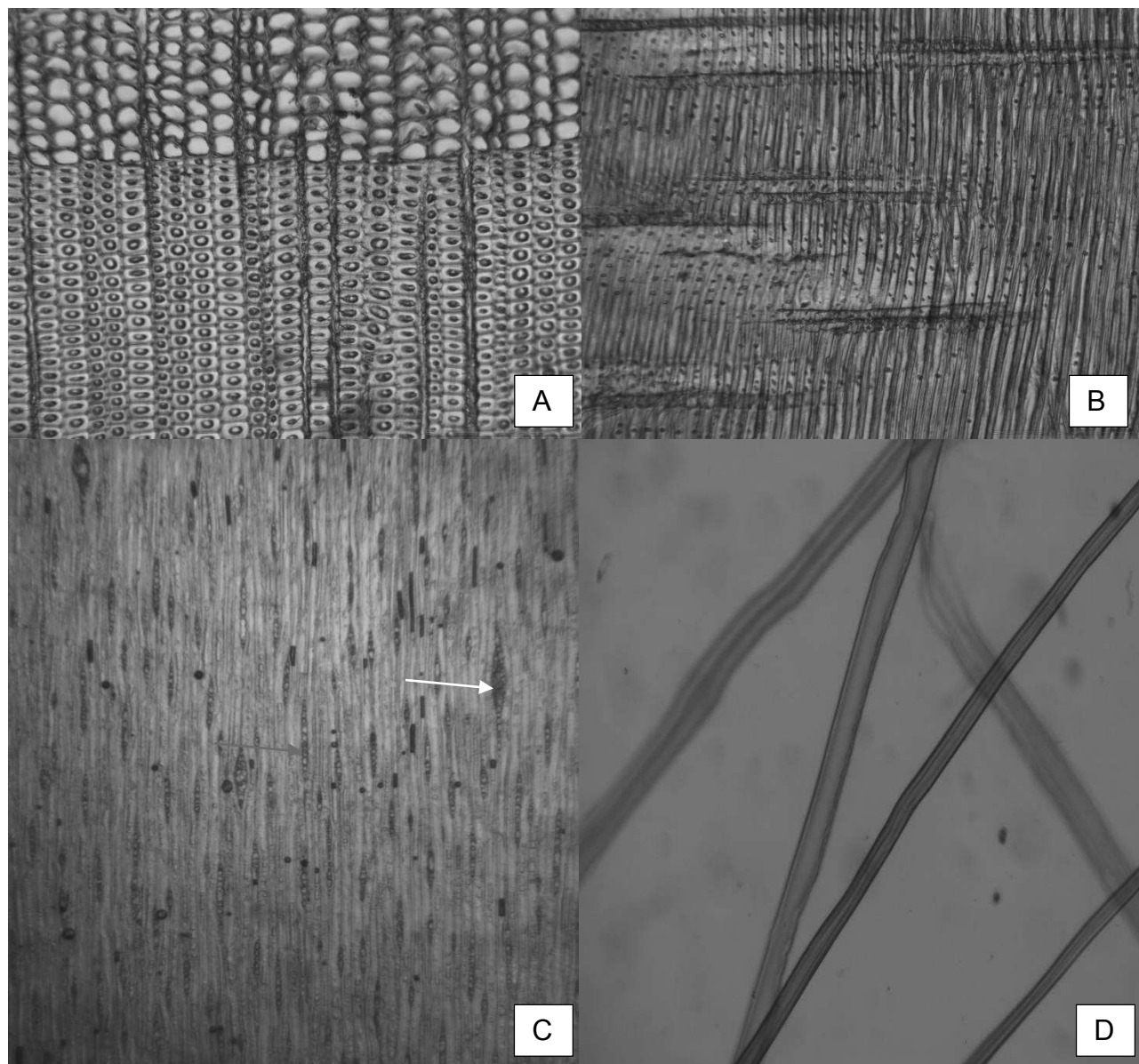
Tabela 1: Características anatômicas mensuradas da madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii*.

		Resinado (R)	Não Resinado (NR)	
Canais resiníferos	Diâmetro (µm)	Mínimo	61,98	42,48
		Média	189,96	188,69
		Máximo	359,12	377,59
		DP	58,75	65,88
		CV (%)	31,27	35,16
Traqueóides	Comprimento (µm)	Mínimo	0	0
		Média	1,14	1,08
		Máximo	5	5
		DP	0,93	0,9
		CV (%)	83,74	89,08
Traqueóides	Comprimento (µm)	Mínimo	857,16	811,53
		Média	2289,94	2181,02
		Máximo	4469,48	3959,67
		DP	711,1	683,63
		CV (%)	31,01	30,97
Traqueóides	Espessura da Parede (µm)	Mínimo	1,81	1,49
		Média	12,88	13,12
		Máximo	30,82	29,18
		DP	5,64	5,88
		CV (%)	43,84	44,91
Raios	Altura (µm)	Mínimo	53,42	56,61
		Média	165,74	164,51
		Máximo	390,98	451,27
		DP	59,35	63,31
		CV (%)	35,8	38,31
Raios	Frequência (mm linear)	Mínimo	1	1
		Média	4,74	4,35
		Máximo	8	11
		DP	1,4	1,43
		CV (%)	29,41	32,74

Nota: Os resultados não apresentaram diferença significativa entre os lados R e NR (ANOVA a 5% de significância).

Fonte: A autora, 2020.

Figura 7: Fotomicrografias do lenho de *Pinus elliottii*. A – Seção transversal. B - Seção radial. C – Seção tangencial. D – Lâmina de macerado. A – Transição do lenho tardio para inicial. B – Raios. C – Raios fusiformes (seta branca), raios unisseriados (seta vermelha). D – Traqueóides individuais.



Fonte: A autora, 2020.

A partir da descrição anatômica e da análise quantitativa dos componentes anatômicos, é possível constatar que a resinagem não acarretou mudanças na estrutura anatômica da espécie, em comparação ao lado que sofreu resinagem (R) e o lado não resinado (NR).

Siegloch e Marchiori (2015) obtiveram como comprimento médio dos traqueóides de *P. elliottii* 2164 μm . Muniz (1993) que também realizou análise anatômica da espécie em questão, obteve valor médio de comprimento dos

traqueóides de 3702,37 μm . Ainda de acordo com a autora, diferenças entre os comprimentos dos traqueóides se dão devido as idades das árvores estudadas por cada autor.

Rincoski (1994) avaliando o efeito da resinagem nas características anatômicas da madeira de *Pinus elliottii*, obteve valor médio para espessura das paredes de 12,60 μm , e concluiu que a resinagem não influencia na espessura da parede.

A frequência dos raios variou de 1 a 8 raios por mm linear no lado R e 1 a 11 raios por mm linear para o lado NR. Valores similares ao encontrado por Muniz (1993), de 2 a 9 raios por mm linear.

Os valores médios encontrados para altura dos raios do lado R e NR foram de 165,74 μm e 164,51 μm , respectivamente. As alturas dos raios, obtidas neste trabalho, ficam entre as encontradas na literatura como Muniz (1993), em que obteve valor médio de 141 μm , e Siegloch e Marchiori (2015) com valor médio de 183 μm .

Em relação aos canais resiníferos nota-se que em ambos os lados (R e NR) os canais resiníferos são mais frequentes próximos a medula. A frequência de canais resiníferos foi de 0 a 5 por mm^2 (R e NR), muito similar ao apresentado por Muniz (1993), 0,3 a 5,8 canais resiníferos por mm^2 .

Foram obtidos valores médios para diâmetros dos canais resiníferos de 189,96 μm para o lado R e 188,69 μm para o lado NR, valores superiores aos expostos por Siegloch e Marchiori (2015) que obtiveram o valor médio de 145 μm . Isso pode ter acontecido devido ao fato de que as madeiras utilizadas neste estudo (R e NR) eram provenientes de árvores que passaram por extração de resina, ao contrário das madeiras utilizadas por Siegloch e Marchiori (2015), e a resinagem pode ter influenciado o maior desenvolvimento dos canais resiníferos.

5.3. pH

Os valores encontrados na análise do pH da madeira resinada (R) e não resinada (NR) de *Pinus elliottii* foram semelhantes, não diferindo significativamente. O pH médio obtido na madeira resinada (R) foi de 4,92 e para madeira não resinada (NR) foi encontrado o valor médio de 5,48.

Almeida (2009) ao analisar o pH de *Pinus elliottii* encontrou o valor de 3,51. Embora os valores de pH obtidos neste trabalho sejam maiores do que os encontrados na literatura, encontram-se dentro da faixa estabelecida por Iwakiri (2005), de acordo com o autor o pH da madeira deve estar entre 3 e 6. Madeiras com pH fora desta faixa apresentam características que dificultam o processo de colagem.

A acidez da madeira interfere diretamente no tempo de prensagem. Madeiras de pH pouco ácido necessitam de catalisador para acelerar a cura do adesivo, porém, uso de catalisadores podem causar pré-cura do adesivo, enfraquecendo e prejudicando a colagem do material (SILVA et al., 2004). Em contrapartida, se a madeira apresenta elevada acidez, pode levar a pré-cura dos adesivos, prejudicando a qualidade do material colado (MALONEY, 1993). Trianoski (2010) relata que espécies com acidez elevada ou muito baixa não são adequadas a operações que envolvam colagem.

Com base nessas informações, é possível afirmar que a madeira de *Pinus elliottii* que passa pelo processo de extração de resina possui pH dentro da faixa estabelecida como ideal para se trabalhar com colagem.

5.4. PROPRIEDADES FÍSICAS

Para a massa específica aparente a 12,6% de umidade, foi observado valor médio de 0,548 g/cm³ para madeira resinada (R) e 0,555 g/cm³ para a madeira não resinada (NR). Os resultados encontrados durante análise da massa específica básica para madeira resinada (R) e não resinada (NR) foram iguais, 0,482 g/cm³.

Na tabela 2 estão presentes os valores médios de massa específica básica e aparente.

Tabela 2: Resultados obtidos de massa específica aparente e básica para os lados resinados (R) e não resinados (NR) da madeira de *Pinus elliottii*.

		Resinado (R)	Não Resinado (NR)
Massa específica aparente (g/cm³)	Média	0,548	0,555
	DP	0,136	0,024
	CV (%)	24,767	4,252
Massa específica básica (g/cm³)	Média	0,482	0,482
	DP	0,043	0,055
	CV (%)	8,889	11,503

Nota: Os resultados não apresentaram diferença significativa entre os lados R e NR (ANOVA a 5% de significância).

Fonte: A autora, 2020.

Os resultados foram submetidos a análise estatística e não apresentaram diferença significativa entre o lado R e NR. Desta forma, entende-se que a resinagem não interfere na massa específica em relação ao lado R e NR. Além disso, os resultados deste estudo apresentam similaridade aos valores encontrados na literatura para madeira de *P. elliottii* que não foram resinadas.

Ao analisar a massa específica aparente de *Pinus elliottii* que não passa pela extração de resina, Muniz (1993), obteve o valor de 0,553 g/cm³ e Durlo (1988) citado por Haselein et al. (2000), encontrou valores que variaram de 0,37 a 0,53 g/cm³.

Em relação a massa específica básica de *Pinus elliottii*, Conte et al. (2014), encontraram o valor de 0,37 g/cm³. Balloni (2009), obteve o valor de 0,47g/cm³. Almeida (2009), encontrou valor médio de 0,54 g/cm³. Muniz (1993), em seu trabalho obteve valores de 0,46 a 0,51 g/cm³.

As pequenas diferenças entre os valores deste estudo e os resultados da literatura podem ser explicadas em relação das diferentes idades, sítios e condições de crescimento.

De acordo com Souza (2002), madeiras com densidade inferior a 0,5 g/cm³ são classificadas como “madeiras leves”. Madeira de menor densidade, facilita a penetração do adesivo. Madeiras densas além de apresentarem menor penetração do adesivo, podem também gerar extravasamento de adesivo pelas bordas durante a prensagem, gerando linha de cola ineficaz (PLASTER et al., 2008).

6. CONCLUSÃO

- A técnica de resinação em árvores de *Pinus elliottii* não influenciou suas características anatômicas, seu pH e massa específica básica e aparente.

- O ângulo de contato e umectação diferiu entre os lados R e NR com o uso de PVA no plano tangencial da madeira.

- As características anatômicas quantitativas e qualitativas da madeira *Pinus elliottii*, não diferiram significativamente entre o lado R e NR pela ANOVA a 5% de significância, como também não foram obtidos resultados divergentes dos expostos na literatura, que utilizaram madeira que não sofre com resinagem.

- O pH obtido foi semelhante (ANOVA a 5% de significância) entre os lados R e NR, 4,92 e 5,48 respectivamente.

- As propriedades físicas (massa específica básica e massa específica aparente) foram semelhantes entre o lado R e o NR pela ANOVA a 5% de significância. Para massa específica aparente, foi obtido o valor de 0,548 g/cm³ (R) e 0,555 g/cm³ (NR). Para massa específica básica, foi obtido o valor de 0,482 g/cm³ para R e NR. Nota-se também que não houveram divergências entre os resultados obtidos neste estudo aos encontrados na literatura, onde estudavam *Pinus elliottii* que não passava por extração de resina.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a trabalhos futuros, estudar a interferência da resinação na madeira de *Pinus elliottii*, em árvores de que se extrai resina e de plantios que não fazem uso da técnica e que, ao se comparar estas árvores, considere-se as diferentes alturas da árvore, não somente no DAP como foi neste trabalho.

Realizar também testes mecânicos para comparação de madeira resinada e não resinada.

Além disso, realizar novos estudos em relação ao ângulo de contato e umectação com madeira resinada e não resinada de *Pinus elliottii*.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus**. Brasília, DF.: Embrapa Florestas, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/oJaV6u>>. Acesso em: 29 out. 2020.

ALBINO, V. C. do S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis w. hill ex maiden* na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n. 4, p. 803- 811, out/dez, 2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de.; LATORRACA, J. V. de. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.158-166, jan/dez. 2000.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009, 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. 2013, 123p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ARESB. **Estatísticas**. Disponível em:< <https://goo.gl/oh8Pxd>>. Acesso em: 25 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro,1997.

AZEVEDO, E. C. de. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretana derivado do óleo de mamona**. 2009, 134p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BAENA, E. S. **Análise da viabilidade econômica da resinagem em *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* nas regiões Sul do Estado do Paraná e Sul e Sudeste do Estado de São Paulo**. 1994, 107 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1994.

BALLONI, C. J. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii***. 2009, 42 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlia de Mesquita Filho” Campus Experimental de Itapeva, Itapeva, SP, 2009.

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. 2014, 98p. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

BIANCHE, J. J. et al. Características físico-químicas dos adesivos e pH das madeiras de eucalipto e pinus para a colagem. **II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**, Belo Horizonte, 2015.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008, 99p. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

CADEMARTORI, P.H.G.D. et al. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. procedentes de florestas resinadas. **Cerne**, v.18, n.4, p.577-583, 2012.

CARVALHO, P. L. P. T de.; GODINHO, T. de. O.; MOREIRA, D. A. F. **Pró-resina: uma alternativa para a diversificação de renda no Espírito Santo**. Vitória, ES.: Incaper, 2018.

CÉSAR, A. A. da. S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (ORIENTED STRAND BOARD)**. 2011, 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

COELHO FILHO, P.R. de. **Utilização de filme a base de blenda de polianilina e poli (álcool vinílico) com a finalidade de blindagem eletromagnética**. 2008, 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

CONTE, B. et al. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104. P.555-563, dez. 2014.

DUNKY, M. Adhesives in the Wood Industry. **Taylor & Francis Group**, Krems, Austria, 2003.

FERREIRA, J. P. R. J. **Análise da cadeia produtiva e estrutura de custos do setor brasileiro de produtos resinosos**. 2001, 120 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz /USP, Piracicaba, SP, 2001.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; GARCIA, W.; BRITO, J. O. **Celulose Kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii***. Boletim Técnico, IPEF, v. 12, p. 127-142, 1976.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood- resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

FRIHART, C. R. Wood Adhesives: Past, Present, and Future. **Forest Products Journal**, Wisconsin, v. 65, n. ½, p. 4-8, 2015.

HASELEIN, C. R.; CECHIN, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A. Wood characteristics of plantation slash pine at age 30. **Ciênc. Florest.** [online]. 2000, vol.10, n.2, pp.135-144.

FUSATTO, A. L. M. **Pastas estimulantes em sistemas de resinagem de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. 2006, 110p. Dissertação (Mestre em Ciências, área de concentração: Filosofia e Bioquímica de Plantas) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006.

IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information**. IAWA Bulletin, Leiden, v.10, n.3, p. 219-332. 1989.

IMAGE J (Image Processing and Analys in Java). Disponível em:<<https://imagej.nih.gov/ij/download.html>>. Acesso em 01 mar. 2020,

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. São Paulo: Studio 113, 2019. 80 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Informações sobre madeira: *Pinus elliottii***. São Paulo, SP.: [s.n.], 2018. Disponível em:< http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7>. Acesso em: 29 out. 2018.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef. 2005. 254p.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – EESC - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, set. 2002.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba, 2005. 86p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MARCELINO, F. A. **Análise técnica e econômica da resinagem de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* na região de Manduri, SP**. Dissertação (mestre em Agronomia, área de concentração em Energia na Agricultura). 2004, 103p. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

MENDOZA, Z. M. dos. S. H. de. et al. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, Campo Grande, MS, v. 22, n. 51, p. 49-68, jan./jun. 2017.

MESQUITA, A. C. **Estudo da polimerização do acetato de vinila utilizando a radiação ionizante**. 2002, 90p. Dissertação (Mestre em Ciências na Área de

Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP, 2002.

MICROSOFT EXCEL. (Programa de computador). Versão 2016.

MONTEIRO, T. C. et al. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **J. Biotec. Biodivers**, v. 1, n.1, p. 6-11, Nov. 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. 4. ed. Curitiba, 2012. 208p.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993, 235 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR, 1993.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. da S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R.L. Comportamento de juntas coladas na madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras v.14 n.3, p. 251-258, 2008.

REVISTA DA MADEIRA. **Pinus e eucalipto para produção de painéis**. Disponível <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1054>. Acesso em: 3 set. 2018.

REVISTA DA MADEIRA. **Processo de fixação da madeira exige cuidados**. Disponível em: < <https://goo.gl/QeEc4p> >. Acesso em: 28 out. 2018.

RINCOSKI, C. R. **Efeito da resinagem nas características da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii***. 1994, 124p. Dissertação (Mestre em ciências florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1994.

SIEGLOCH, A. M.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de treze espécies de coníferas. **Ciência da madeira**, v.6, n. 3, p. 149-165, 2015.

SILVA, D. A. da.; TOMASELLI, I.; IWAKIRI, S. Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade dimensional do compensado utilizando resina de alta reatividade. **Scientia forestalis**, n. 54, p. 69-80, dez. 1998.

SILVA, J. R. M. da; MATOSKI, S. L. S. LEONHADT, G., CARON, J. Produção de chapas com diferentes espécies de pinus. **Revista da madeira**, v. 14, n. 84, 2004.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2 ed. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 152 p.

STELLA, J. C. **A influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensados de paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** 2010, 262p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. Produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.4, p.759-768, 2015.

VIDAURRE, G. B. et al. Propriedades da madeira de reação. **Floresta Ambient.**, Seropédica, RJ, v. 20, n.1, Jan./Mar. 2013.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 637- 644, 2006.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard.** 1973. 111f. Dissertation (Magister Science in Wood Technology) -University of Wisconsin, Madison, 1973.

WILCZAK, L. **Avaliação do comportamento mecânico do adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado na produção de painéis compensados.** Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.