



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

PRISCILA CARNEIRO DOS SANTOS

**TERMODENSIFICAÇÃO DE PAINÉIS COMERCIAIS DE OSB (ORIENTED  
STRAND BOARD)**

Brasília  
2016



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

PRISCILA CARNEIRO DOS SANTOS

**TERMODENSIFICAÇÃO DE PAINÉIS COMERCIAIS DE OSB (ORIENTED  
STRAND BOARD)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia como requisito para obtenção de título de Engenheiro Florestal na Universidade de Brasília.

Orientador: Prof.º Dr.º Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Brasília  
2016



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

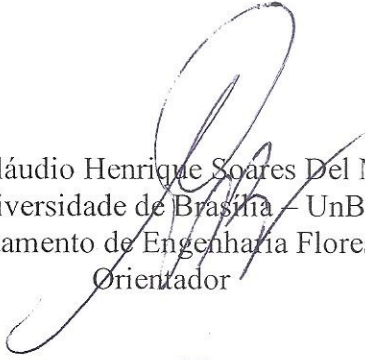
**TERMODENSIFICAÇÃO DE PAINÉIS COMERCIAIS DE OSB (ORIENTED  
STRAND BOARD)**

Estudante: Priscila Carneiro dos Santos

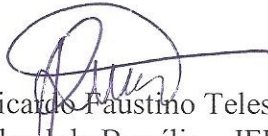
Matrícula: 10/0119841

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

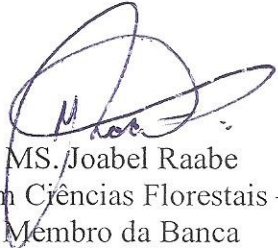
Menção: 55



Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador



Prof. Dr. Ricardo Faustino Teles  
Instituto Federal de Brasília – IFB  
Membro da Banca



MS. Joabel Raabe  
Doutorando em Ciências Florestais – EFL/UnB  
Membro da Banca

Brasília, 6 de julho de 2016

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Lázaro Faria dos Santos e Lucilene Carneiro Alves dos Santos, por me proporcionarem sempre com muito esforço, um ensino de qualidade, essa é a maior herança que vocês poderiam deixar para mim, o conhecimento que ninguém poderá roubar. Tudo que já conquistei até hoje foram frutos de amor e dedicação que vocês têm por seus filhos, oferecendo toda a oportunidade que antes não tiveram ou não puderam ter. Muito obrigada por tudo, e eu agradeço e dedico este trabalho a vocês!

Ao orientador Prof.º Dr.º Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, que depositou toda confiança em mim para a realização deste estudo, sempre disponível para esclarecer minhas dúvidas, aprendi muito durante este período de construção. Ao doutorando em ciências florestais, Joabel Raabe, que compartilhou seus conhecimentos comigo para a elaboração desta pesquisa, sou muito grata pela sua atenção e paciência.

Para Otávio Augusto Rodrigues Motter, quem esteve sempre ao meu lado me apoiando nas minhas decisões, a pessoa que sempre pude contar para qualquer situação, desde uma simples anotação de dados até os piores imprevistos. Você foi e é muito especial durante todo esse tempo que estive na universidade.

Por fim, ao meu irmão, Thiago Carneiro dos Santos, que esteve comigo rindo e chorando durante todos os semestres letivos, juntamente com Winnie, Rafaella, Isadora, Mariana, Larissa e outros que vão deixar muitas lembranças. Obrigada a todos por tudo, há um pedacinho de cada um neste trabalho!

## RESUMO

A instabilidade dos painéis OSB ocasionada pela sua fácil expansão, quando em contato com líquido ou alta umidade, fazem com que este necessite de processos que alterem suas propriedades para obter um material mais estável a condições extremas. Esse trabalho avalia o efeito da termodensificação nas propriedades físicas e mecânicas do painel, a partir das combinações dos fatores pressão e temperatura. Foram amostrados quatro tratamentos combinados com duas temperaturas (170 e 190°C) e duas pressões (25 e 50% de resistência perpendicular ao plano do painel), além das testemunhas. A caracterização das propriedades, segundo a norma ASTM D1037 (adaptada), foram: inchamento em espessura, absorção de água, taxa de não retorno em espessura, teor de umidade, módulo de ruptura e elasticidade a flexão estática, módulo de elasticidade dinâmico nas direções paralela e perpendicular, dureza janka e resistência a compressão paralela. As principais análises estatísticas feitas pelo programa SPSS 20.0 foram: teste das médias de Dunnett e variância fatorial. A termodensificação proporcionou uma melhora substancial das propriedades físicas encontradas nos materiais tratados quando comparados à testemunha. O tratamento 3 (T 190°C; P 25%) se apresentou como o melhor tratamento, acompanhado do tratamento 4 (T 190°C; P 50%); já o tratamento 2 (T 170°C; P 50%) mostrou o pior desempenho nessa avaliação. Ocorreu uma interação entre a temperatura e a pressão, provando sua significância para estas propriedades. Para as propriedades mecânicas, os resultados absolutos apresentaram melhoras mediante a termodensificação dos painéis OSB. Embora não tenha apresentado dados satisfatórios, o tratamento 4 demonstrou ser o melhor entre os tratados para as propriedades mecânicas; e o pior sendo o tratamento 1 (T 170°C; P 25%). A termodensificação alterou as propriedades do material tratado, sendo este tratamento satisfatório para melhorar as propriedades estudadas, amenizando a instabilidade dos painéis.

**Palavras-chave:** Tratamento termomecânico, painel reconstituído, propriedades físicas, propriedades mecânicas, painel OSB.

## ABSTRACT

The instability of OSB panels caused by its easy expansion, when in contact with liquids or high humidity, make it so that it needs procedures that alter its properties as to obtain a more stable material under extreme conditions. This work evaluates the effect of thermal densification on the physical and mechanical properties of the panel, from the combinations of the factors pressure and temperature. Four treatments were sampled, combined with two temperatures (170°C and 190°C) and two pressures (25 and 50% of the resistance perpendicular to the panel's plane), not including the witnesses. The characterization of the properties, following the norm ASTM D1037 (adapted), were: swelling in thickness, water absorption, rate of no return in thickness, moisture content, break and bending elasticity modulus, parallel and perpendicular dynamic modulus of elasticity, hardness and resistance to parallel compression. The main statistical analysis made by the program SPSS 20.0 were: test of the Dunnett average and factor variance. The thermal densification provided a substantial increase of the values of the physical properties when compared to the witness. Treatment 3 (T 190°C; P 25%) presented itself as the best treatment, followed by treatment 4 (T 190°C; P 50%), whereas treatment 2 (T 170°C; P 50%) showed the worse performance in this evaluation. An interaction between temperature and pressure occurred, proving its significance to the properties. For the mechanical properties, the absolute results presented improvements by the thermal densification of the OSB panels. Though it did not present satisfactory data, treatment 4 demonstrated to be the best of the treatments for the mechanical properties; and the worse being treatment 1 (T 170°C; P 25%). The thermal densification altered the properties of the treated material, being this treatment satisfactory to improve the studied properties, easing the instability of wood.

**Key word:** Thermal mechanic treatment, reconstructed panel, physical properties, mechanical properties, OSB panel.

## SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRAC	
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
2.1. OBJETIVO GERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>3. HIPÓTESE</b> .....	10
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	11
4.1. PAINEIS RECONSTITUÍDOS.....	11
4.2. PAINEIS OSB E PRINCIPAIS APLICAÇÕES .....	12
4.3. PROPRIEDADES DO OSB.....	14
4.3.1. Propriedades físicas.....	14
4.3.2. Propriedades mecânicas.....	16
4.4. MODIFICAÇÃO TERMICA ALIADA A PRESSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA E PAINEIS.....	17
4.5. PRINCIPAIS DESAFIOS DA PESQUISA PARA PAINEIS OSB.....	19
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
5.1. TRATAMENTO TERMOMECÂNICO .....	20
5.1.1. Ensaio preliminar .....	21
5.1.2. Prensagem do material .....	23
5.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS .....	26
5.2.1. Imersão .....	28
5.2.2. Stress wave.....	30
5.2.3. Flexão estática .....	30
5.2.4. Dureza janka.....	31
5.2.5. Resistência à compressão paralela.....	31
5.3. ANÁLISE DOS DADOS .....	32
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
6.1. TRATAMENTO TERMOMECÂNICO .....	32
6.2. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS.....	38
6.2.1. Propriedades físicas.....	38
6.2.2. Propriedades mecânicas.....	44
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	47
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de corte das 20 amostras de 40 x 40 cm de um painel OSB. ....	21
Figura 2. Ensaio preliminar de compressão perpendicular ao plano do painel.....	22
Figura 3. Tratamento termomecânico: 1) Máquina utilizada para a prensagem do painel. 2) Painel de controle (manômetro) da pressão e temperatura aplicada no painel. 3) Termopar utilizado para medir a temperatura interna do painel durante os tratamentos.....	24
Figura 4. Esquema simplificado do tratamento termomecânico aplicado para os painéis.....	24
Figura 5. Esquema simplificado do ensaio preliminar para determinação da duração e para a aplicação do tratamento termomecânico nos painéis (Adaptado de DEL MENEZZI, 2010)..	25
Figura 6. Esquema de corte dos corpos de prova de 40 x 5 cm e 5 x 5 cm de uma amostra de 40 x 40 cm. Onde CP = flexão estática; I = imersão; C = resistência à compressão paralela; D = dureza janka. ....	27
Figura 7. Imagens dos ensaios físicos e mecânicos: 1) <i>Stress wave timer</i> . 2) Flexão estática. 3) Imersão – determinação da massa. 4) Imersão – medição da espessura. 5) Imersão – secagem ao ar livre. 6) Imersão – secagem em estufa. 7) Dureza janka. 8) Resistência à compressão paralela. ....	28
Figura 8. Temperatura interna dos painéis para cada tratamento. ....	33
Figura 9. Esquema geral dos valores médios dos tratamentos 1 (T 170°C; P 25%) e 2 (T 170°C; P 50%) com seus respectivos ajustes (T1 e T2).....	34
Figura 10. Esquema geral dos valores médios dos tratamentos 3 (T 190°C; P 25%) e 4 (T 190°C; P 50%) com seus respectivos ajustes (T3 e T4).....	35
Figura 11. Valores médios para TxD, TxC e PM. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey B a 5% de significância. ....	36
Figura 12. a) Taxa de inchamento e (b) absorção das amostras durante o período de imersão. ....	39
Figura 13. Interações entre os fatores temperatura e pressão para a propriedade IE de 2 (a), 24 (b) e (c) 72h de imersão.....	42
Figura 14. Interações entre os fatores temperatura e pressão para as propriedades de AA de (a) 8, (b) 24 e (c) 48h de imersão e para (d) TNRE.....	43
Figura 15. Coloração do painel termodensificado. ....	77
Figura 16. Espessura final do painel tratado. ....	78
Figura 17. Painel seco em estufa após o ensaio de imersão de até 72h. ....	78
Figura 18. Espessuras dos materiais secos em estufa após o ensaio de imersão de 72h. ....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Densidade depois da aplicação do tratamento termomecânico. ....	35
Tabela 2. Análise estatística entre os fatores utilizados para o tratamento termomecânico. ...	37
Tabela 3. Propriedades físicas do painel de acordo com a temperatura e pressão, comparados ao NT. ....	40
Tabela 4. Análise de cada fator em relação às propriedades físicas dos painéis tratados. ....	41
Tabela 5. Resultados do módulo de elasticidade dinâmico paralelo ( $E_d//$ ) e perpendicular ( $E_d\perp$ ) para os tratados e o não tratado a partir do ensaio de ondas de tensão. ....	44
Tabela 6. Comparação do material tratado com a testemunha para as propriedades mecânicas. ....	46
Tabela 7. Resultados dos fatores, pressão e temperatura, para as propriedades mecânicas do material tratado. ....	47

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é conhecida e utilizada desde os primórdios pelo homem. É um material utilizado para diversas finalidades, tais como: pontes, residências, passarelas, edificações expostas a intempéries, fabricação de armas, utensílios, móveis, instrumentos musicais, etc. Seu emprego, nos dias atuais, em muitos casos, é realizado por meio de painéis constituídos de madeiras.

Por ter uma característica higroscópica e anisotrópica, responde de forma diferenciada em função da face considerada, quando sob ação de força externa e/ou devido a adsorção e dessorção. Isso lhe proporciona versatilidade, mas também a torna dimensionalmente instável. A higroscopicidade é o resultado da entrada de água entre as moléculas de celulose, fazendo com que haja o afastamento da parede celular e conseqüentemente, provocando o inchamento da madeira. Já o contrário resulta na aproximação dessas moléculas ocasionando a contração do material.

Suas características tecnológicas variam de uma espécie para outra, e até mesmo dentro de um mesmo indivíduo, o que torna o estudo de suas propriedades essencial para determinar sua utilização final e assim obter uma maior durabilidade e estabilidade.

Várias vantagens da madeira sólida são mantidas na utilização de painéis de madeira, mas há também o acréscimo de outras, como: dimensões que não são estritamente relacionadas às dimensões das árvores, agregação de valor a matérias de baixa aceitação, possibilidade de eliminação de defeitos provenientes da anatomia da árvore, maior homogeneidade do que a de madeira serrada, e controle da maioria das propriedades, bem como a possibilidade de aumentar a resistência a sua degradação.

O *oriented strand board* (OSB) é um subproduto da madeira produzido sob prensagem de partículas com adesivo a altas temperaturas, e que vem ocupando espaço no mercado por ser um produto de boa qualidade, economicamente viável, comparável a painéis compensados, devido ao caráter estrutural.

Este tipo de painel, juntamente com o MDF (chapa de fibra de média densidade), vem atribuindo uma nova forma de utilização da madeira de espécies como pinus e eucalipto, assim como a credibilidade do uso de madeiras oriundas de reflorestamento. Este material proporciona uma maior homogeneidade do produto final, além de poder reduzir resíduos florestais. Um problema do painel OSB é sua fácil expansão quando em contato com a umidade do meio, liberando assim tensões de compressão advindas do processo de produção.

Existe uma variedade de tratamentos aplicados à madeira e seus subprodutos visando à melhora de suas propriedades, com destaque aos tratamentos térmicos, capazes de gerar maior estabilidade dimensional sem a necessidade do uso de produtos químicos que, além de encarecer seu valor, são tóxicos. Na Europa, segundo Gouveia (2008), os tratamentos térmicos, que utilizam uma variação de temperatura de 160 a 260°C, são divididos em cinco tipos diferentes: Plato-Process (holandês), Retification-Process (francês), Bois Perdure (francês), OHT-Process (alemão) e ThermoWood Process (finlandês).

Por intermédio do tratamento térmico, as propriedades iniciais da madeira vão sofrendo modificações de acordo com a temperatura e seu tempo de aplicação. Alguns estudos apontam para um aumento da estabilidade estrutural, da resistência a ataques de organismos xilófagos, e uma diminuição da sua higroscopicidade e de algumas outras propriedades mecânicas (BOAS, 2011). Já o tratamento termomecânico, ou termodensificação, surge como uma inovação dentro dos tratamentos mencionados anteriormente. Neste existe pressão como uma condicionante a mais no processo, proporcionando uma densificação do material e possibilitando assim o emprego do mesmo em ambientes nas quais as condições são consideradas extremas para a madeira natural.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a influência do tratamento termomecânico sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas orientadas (OSB).

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Estudar o efeito dos parâmetros de prensagem (temperatura e pressão), por meio da determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de OSB tratados, observando a interação entre eles.

Observar perdas ou ganhos das propriedades mecânicas, comparando os resultados com os painéis não tratados termomecânicamente.

## **3. HIPÓTESE**

A aplicação do tratamento termomecânico, melhora a instabilidade dimensional de painéis OSB, minimizando os impactos negativos nas propriedades mecânicas.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. PAINÉIS RECONSTITUÍDOS**

Os painéis de madeiras surgem como uma alternativa para melhorar ou amenizar problemas relacionados à anisotropia e instabilidade dimensional da madeira maciça, reduzir custos e melhorar propriedades intrínsecas do material. Os painéis podem ser definidos como chapas constituídas a partir de madeira sólida reduzidas, por via de elementos como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, e aglomeradas em tamanhos variados com incorporação de resinas sintéticas ou naturais consolidados sob a ação de calor e pressão. Indústrias utilizam madeiras de baixa à média densidade para a fabricação dos painéis (IWAKIRI et al., 2005).

Os usos de painéis estão relacionados às suas propriedades tecnológicas, onde as restrições técnicas quanto a sua destinação envolve características de resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície passível de usinagem, fixação de parafusos e etc., sendo que diversos tipos de painéis podem sobrepor essas restrições (ABIMCI, 2009).

Os tipos de painéis comumente fabricados no Brasil, segundo Remade (2002), são: compensado multilaminado, compensado sarrafeado, chapas de fibras – duras e isolantes, aglomerado, e chapas “MDF” e “OSB”. Para cada tipo de painel há um processo produtivo, uma característica tecnológica e finalidades de usos diferentes, e os principais segmentos que utilizam destes fatores são a indústria moveleira, a construção civil e a produção de embalagens (REMADE, 2002). De acordo com essa mesma revista, o processo de produção pode ser dividido em três grupos de madeira: tropical, pinus e eucalipto. Ainda mais, a madeira de pinus representa 40% da produção total de compensados e quase 100% dos aglomerados e OSB, e possui também uso para MDF. Já para chapas de fibras o emprego do eucalipto é maior.

O tipo de matéria prima destinado para LVL (Laminated Vanner Lumber) é madeiras processadas, já para compensados, aglomerados e MDF são resíduos florestais; há adição de adesivos em todas as chapas (REMADE, 2003b). A diversificação de matéria prima, de acordo com Remade (2003b), contribui para melhorar o aproveitamento do uso da madeira

(como uso de resíduos industriais) e de adesivos (como na redução de custos de produção) sem que haja perda da qualidade do produto final.

No contexto econômico-ecológico, os produtos a base de madeira reconstituída entram como uma alternativa relevante para indústrias de móveis e construção civil, onde as vantagens são inúmeras. Os principais pontos destacados são: rendimento em relação ao volume das toras, redução da anisotropia, uso de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento, e madeiras de baixa a média densidade, conferindo rigidez suficiente para uso estrutural (MENDES; ALBUQUERQUE, 2000).

Além destas, outras vantagens são citadas em Remade (2003c): com base no uso final, podem ser colocadas pequenas quantidades de resíduos da indústria madeireira e agro-industrial; o fator limitador dimensional consiste no tamanho da prensa e não da árvore; há uma maior homogeneidade do material como todo em relação à madeira maciça; existem produtos que suprimem a desvantagem da baixa fixação de pregos e outros conectores; o coeficiente de resistência é distribuído uniformemente; podem ser moldadas para determinado uso; fácil emprego de produtos contra agentes xilófagos e umidade, e de retardantes de fogo.

O painel OSB é reconhecido como uma segunda geração dos painéis *waferboard*, sendo produzido a partir de partículas de madeira, do tipo *strand* e de destacado crescimento dentre os produtos modificados a base de madeira (MENDES et al., 2002).

A diferença desse produto em relação aos aglomerados tradicionais se dá pela incapacidade dos aglomerados em usar resíduos de serraria para sua fabricação. Os produtos *waferboard* e OSB possuem suas principais diferenças na dimensão, os *wafers* são mais curtos (por volta de 40 x 40 mm) e os *strands* mais alongados (25 mm x 80-150 mm) e na formação do colchão, os *waferboard* são mais homogêneos e aleatórios enquanto os OSBs possuem partículas *strands* com orientações paralelas e perpendiculares, em camadas externas e internas respectivamente (REMADE, 2003a).

Em Moslemi (1974), as partículas *strand* apresentam dimensões maiores quando comparadas aos do tipo *sliver*, *flake* e *wafer*, proporcionando ao painel uma melhor orientação.

#### 4.2. PAINÉIS OSB E PRINCIPAIS APLICAÇÕES

O OSB – painel de partículas orientadas – é um painel reconstituído por partículas de madeiras finas e longas (GOUVEIA; VITAL; SANTANA, 2003), com dimensões variando

entre 25 mm de largura e 80 a 150 mm de comprimento, orientadas e coladas com adesivos à prova d'água e consolidadas por meio de prensagem a quente (CABRAL et al., 2006; ABREU; MENDES; SILVA, 2009).

A aplicação de adesivos, sendo o fenol-formaldeído (FF) e o difenilmetano diisocianato (MDI) os mais comuns, é utilizada na incorporação das partículas do painel e, além de serem resistentes a altas temperaturas, ajudam na diminuição da absorção da umidade. Há também o uso de emulsão parafínica, que contribui para a redução da higroscopicidade, e de anti-cupim, que reduz o ataque de agentes xilófagos deteriorantes que provocam perda de massa da madeira e conseqüentemente, perda das propriedades mecânicas. Segundo Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003) há uma variação percentual da quantidade de resina fenólica e parafínica a ser aplicada na fabricação do painel OSB (de 3% a 6%, e de 0,5% a 1,5%, respectivamente) em função do peso seco das partículas e do material resinoso.

Segundo Tsoumis (1991), esse tipo de painel é geralmente constituído de três camadas, sendo que nas externas as partículas são orientadas paralelamente a formação do painel, e nas internas perpendicularmente. A orientação das partículas proporciona propriedades mecânicas que podem assemelhar-se as de madeira maciça (SHALER, 1991; MENDES et al., 2002). O OSB é geralmente confeccionado nas espessuras de 0,6 a 1,9 cm, podendo ser encontrados até com 3,8 cm, e com dimensões de 122 x 244 cm até 360 x 732 cm em usos industriais (REMADE, 2003a). As espécies que tem maior uso industrial para a produção de painéis de madeira no Brasil são do gênero *Pinus*, especialmente o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, por conter boas características (IWAKIRI et al., 2002).

O OSB foi descrito por Cloutier (1998) como um material que vem crescendo e tomando o espaço que antes era exclusivo dos compensados, através de fatores como: utilização de toras de boa ou inferior qualidade e até mesmo de espécies de baixo valor comercial; limitações dadas pela tecnologia disponível e não por tamanho das toras; desempenho reconhecido pelos grupos normativos, construtores e consumidores. De acordo com Cabral et al. (2006), a fabricação desse tipo de painel é uma alternativa mais econômica que o compensado pois podem ser produzidos a partir de resíduos florestais, obedecendo as dimensões do mesmo. Esses mesmos autores, e Iwakiri et al. (2004), falam que no Brasil já existe o uso desse material com madeira de pinus para confecção de chapas de OSB desde 2002.

A desvantagem no uso destes painéis é a sua fácil expansão quando em contato com a chuva, ou uma alta umidade relativa, por longos períodos. Esta expansão se dá através das

tensões geradas do processo de prensagem do material durante sua produção (DEL MENEZZI; TOMASELLI; SOUZA, 2007). Outro fator levado em consideração sobre a produção de painéis de partículas e MDF são as emissões de formaldeídos a partir de resinas de UF (ureia formaldeído), por longos períodos de tempo após a sua produção e durante seu uso. Em um estudo realizado por Forintek Canada Corp. é apontado que as emissões de formaldeídos em painéis OSB, colados com resinas FF (fenol-formaldeído), são considerados desprezíveis ou até mesmo inexistentes, porém estes painéis não são submetidos às normas de emissão de formaldeído (REMADE, 2003a).

Os painéis OSB são produtos que podem ser utilizados em aplicações estruturais. Possuem boas características de resistência mecânica e estabilidade dimensional para suporte de vigas e forros, para componentes de vigas, para fabricação de móveis, bem como para outros ramos da construção civil e da confecção de embalagens (IWAKIRI et al., 2004; CABRAL et al., 2006). Segundo Remade (2003a), o uso principal é destinado para telhados, paredes e bases para pisos. Este tipo de painel é reconhecido pelos códigos de construção civil do Canadá e EUA, afinal eles correspondem a 95% da produção mundial, e estruturalmente é equivalente a um painel de compensado (JÚNIOR; GARCIA, 2004).

#### 4.3. PROPRIEDADES DO OSB

O uso de painéis OSB vem aumentando em vários lugares, portanto há necessidade de se conhecer as propriedades tecnológicas desse material para os mesmos se adequarem aos requisitos mínimos estipulados por normas.

A avaliação em tais propriedades é um fator importante para a qualidade deste, pois estão relacionadas ao teor de umidade, que varia com o ambiente, e a densidade do painel (quantidade de partículas em uma dimensão estabelecida) (MENDES et al., 2014; SURDI et al., 2014). Esses dois fatores afetam a estabilidade dimensional, que por sua vez é similar a sua resistência e rigidez a flexão estática referente à sua forma de construção (TSOUMIS, 1991).

##### 4.3.1. Propriedades físicas

As propriedades físicas da madeira são diversas, pelo fato de ser um material heterogêneo e higroscópico. A instabilidade dimensional tem como característica os efeitos de

retração e inchamento, que advêm da incessante busca do equilíbrio da umidade com o meio, e sendo esta variação sempre observada nos materiais higroscópicos (VASCONCELOS, 2012). A elevada anisotropia dimensional na madeira faz com que seja de extrema importância os conhecimentos das propriedades físicas que interagem com a retratibilidade do material.

A entrada e a saída de água provoca, respectivamente, a expansão e a retração na madeira e está relacionada à três condições, sendo elas: se é capilar ou livre, se é de impregnação ou higroscópica e a constituição química. A água livre se encontra nos espaços porosos e é a primeira a ser retirada quando há perda desta para o meio externo. Em seguida, quando se atinge o ponto de saturação das fibras, há a transição da água livre para a saída da água higroscópica contida na parede das células lenhosas da madeira; essa é a segunda forma de liberação de água na madeira. Por último temos a água de constituição, contida por meio de combinações químicas com os constituintes interno do material lenhoso. Só há perda desta quando a madeira começa a ser deteriorada, quebrando assim as ligações químicas e liberando a água em forma de vapor.

A densidade é outro elemento de grande relevância que compõem as propriedades da madeira. Esta tem efeito sobre a densidade do painel e suas propriedades mecânicas. Madeiras que possuem baixa densidade possibilitam maiores razões de compactação, aumentando a área de contato entre as partículas do material, além de permitir painéis mais uniformes, com alta capacidade de distribuição das forças entre os flocos, melhorando propriedades de resistência à flexão estática e ligação interna (CABRAL et al., 2006).

De acordo com Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001), os painéis que possuem maior massa específica proporcionam maior resistência mecânica. Porém a estabilidade dimensional do material é comprometida, por conta da quantidade de partículas, resultando uma maior densificação do produto durante o processo de prensagem.

A densidade dos painéis é entorno de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ , podendo variar de acordo com o fabricante e as condições climáticas em que se encontram (REMADE, 2003a). Ainda, materiais com elevada densidade, possuem maior dificuldade de usinagem, inibindo a entrada de produtos mais densos. A permeabilidade é proporcional à densidade, grau de orientação das partículas e espessura do painel.

Em estudo realizado por Mendes et al. (2002) com várias espécies de pinus, segundo a norma ASTM D1037, constataram que os valores de densidade dos painéis produzidos ficaram dentro da faixa de  $0,25$  a  $0,45 \text{ g/cm}^3$ , faixa essa mencionada por Cloutier (1998). Já



durante o teste de imersão de 2h e 24h foram encontrados valores não compatíveis com os definidos na norma canadense CSA 0437 para as três categorias de painéis com espessura acima de 12,7 mm e com 24 horas de imersão em água. Ainda, para a taxa de não retorno em espessura foi encontrado uma variação de 14,61% a 24,39%.

Maloney (1993) fala que a geometria das partículas afetam as propriedades dos painéis OSB, pois a razão de esbeltez é dada pela relação do comprimento com a espessura dessas partículas, e que este possui influência direta no aumento da resistência a flexão estática. Este mesmo autor comenta que, quando é aumentada a espessura das partículas e mantido o comprimento constante, há um aumento da quantidade de resina por área superficial do painel, propiciando maiores valores de ligação interna do painel.

#### 4.3.2. Propriedades mecânicas

Os painéis OSB, assim como qualquer outro produto ou subproduto a base de madeira, reagem quando em contato com a umidade. Estes painéis possuem normas americanas que estipulam que os mesmos devem manter a sua resistência e dureza sobre condições normais de temperatura, 20°C, e umidade relativa, de 65%, e por longos períodos construtivos (REMADE, 2003a).

Ainda nessa mesma revista é comentado que as propriedades mínimas de flexão, exigidas por norma, devem ser definidas em dois sentidos; sendo eles paralelos e perpendiculares ao comprimento do painel. Esta propriedade possui valores maiores no sentido paralelo, quando comparado às partículas dispostas aleatoriamente na chapa (REMADE, 2003a).

Os valores encontrados de MOE (módulo de elasticidade) por Mendes et al. (2002) são superiores aos encontrados na norma canadense CSA 0437, sendo de 15000 e 55000 Kgf/cm<sup>2</sup> nas direções perpendicular e paralela, respectivamente. Os valores de MOR (módulo de ruptura) também se apresentaram superiores a 124 e 290 Kgf/cm<sup>2</sup>, valores estes estipulados por essa mesma norma e para as mesmas direções.

Um aspecto foi observado nesse mesmo trabalho: não houve diferença estatística significativa, do MOE e do MOR, entre as direções. Observou-se também o mesmo comportamento sobre a ligação interna dos painéis OSB, onde os resultados foram atribuídos a uma pequena variação de amplitude da densidade básica (0,06 g/cm<sup>3</sup>) dentre as espécies, e

apresentando valores superiores ao de 3,45 Kg/cm<sup>2</sup> estipulado pela norma, nas três categorias de painéis citados no trabalho.

Outro método, utilizado desde a década de 1960, bastante difundido para avaliação das propriedades da madeira e seus subprodutos, é o método não destrutivo com o *stress wave timer* (DEL MENEZZI; TOMASELLI; SOUZA, 2007). Segundo Pellerin e Ross (2002), esse método é definido para identificar propriedades tecnológicas dos materiais sem que os mesmos sejam danificados para uso final e assim usar as informações coletadas para destinar o uso destes materiais de forma mais apropriada.

A grande diferença desse método em relação aos métodos destrutivos é a rápida obtenção de dados com uma menor quantidade de trabalho (DEL MENEZZI; TOMASELLI; SOUZA, 2007). Esses autores sustentam, que de forma, geral os estudos vêm apontando que esse método não destrutivo também pode ser adequado para a predição de propriedades de materiais compostos.

#### 4.4. MODIFICAÇÃO TÉRMICA ALIADA A PRESSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA E PAINÉIS

A procura pela redução dos efeitos advindos da higroscopicidade fez com que pesquisadores se interessassem em desenvolver técnicas que aprimorassem o uso da madeira em determinadas condições adversas. A modificação térmica surge como uma tecnologia eficaz na redução da instabilidade dimensional e aumento da resistência à biodegradação.

Os tratamentos térmicos conhecidos como termoretificação, retificação térmica ou madeira tratada (ARAÚJO, 2010; COSTA, 2015), aparecem como uma alternativa aplicada à madeira não tratada, para o melhoramento tecnológico de fatores que são considerados problemáticos quando utilizados estruturalmente, e assim obter um produto com menores danos ao meio ambiente (HILL et al., 2012; VASCONCELOS, 2012). A modificação térmica, geralmente, é conduzida através do aquecimento do material até atingir o tempo e temperatura estipulado, posteriormente por um resfriamento em câmara climática e, por último, a obtenção da estabilização do material. Rodrigues (2009) comenta que há mudanças expressivas nas propriedades físicas, químicas e mecânicas quando a madeira é submetida a tratamento térmico, principalmente em temperaturas mais elevadas.

Quando o material é exposto a temperaturas inferiores à própria combustão e por determinado tempo de aplicação, inicia-se internamente um fenômeno químico que faz

ocorrer à degradação de alguns constituintes químicos básicos da estrutura anatômica da madeira como a lignina, celulose e hemicelulose (DEL MENEZZI, 2004), sendo este último apontado por Pereira (2013) como um constituinte que contribui para instabilidade dimensional por apresentar forma estrutural amorfa e ramificada. Segundo esta mesma autora, os fatores que alteram o componente principal da higroscopicidade do material, possibilitando assim um ganho de estabilidade dimensional comparado à madeira não tratada, são: o decorrer do tempo de exposição ao calor, à diminuição de oferta de grupos hidroxílicos e a reticulação de lignina.

Segundo Moslemi (1974), dois aspectos fundamentais devem ter enfoque para a melhoria das propriedades dos painéis, sendo eles a redução da higroscopicidade e a liberação das tensões de compressão advindas do processo de produção do material. Del Menezzi (2004) cita que o tratamento térmico auxilia na melhoria desses fatores mencionados. Esse método vem sendo estudado no Brasil por esse mesmo autor desde 2001 (DEL MENEZZI, 2001). Um estudo conduzido por Del Menezzi e Tomaselli (2006) apontou que esse tratamento reduziu expressivamente as propriedades de inchamento em espessura (-49%), teor de umidade de equilíbrio (-43%) e taxa de não retorno em espessura (-73%), em relação aos painéis não tratados termicamente (testemunhas). Entretanto, Del Menezzi (2004) observou à redução das propriedades mecânicas através desse mesmo método.

Quando os tratamentos térmicos são aliados a densificação da madeira eles são denominados de tratamentos termomecânicos, ou termodensificação, e neles se promove um aumento da densidade e a melhoria de algumas propriedades (VASCONCELOS, 2012; COSTA, 2015). O emprego desse método permite que madeiras mais leves e porosas se tornem mais densas, podendo ser solicitadas em situações que exija maior resistência desta, e amenizando o efeito da perda de massa provocada pelo calor do tratamento (ARRUDA et al., 2011). Este tipo de tratamento modifica a madeira ao nível de reduzir a rugosidade, teor de umidade e o inchamento em espessura, ao mesmo tempo em que aumentam a densidade e melhoram as propriedades mecânicas (BEKHTA; MARUTZKY, 2007; CLOUTIER; FANG; MARIOTTI, 2008; WELZBACHER et al., 2008; BEKHTA; NIEMZ; SEDLIACIK, 2010).

Outro ponto observado é que tratamentos que utilizam o calor podem alterar a cor natural da madeira. Isso ocorre pelo fato desta liberar elementos causados pelo processo de hidrólise de carbonatos e extrativos que reagem com outros componentes da madeira (ARRUDA et al., 2011). Esses mesmos autores comentam que se deve ter uma combinação

adequada, da temperatura e pressão com base no uso final do produto, objetivando uma redução na higroscopicidade ao mesmo tempo em que se densifica a madeira.

#### 4.5. PRINCIPAIS DESAFIOS DA PESQUISA PARA PAINÉIS OSB

A madeira em seu estado natural possui limitações e por anos, cientistas vêm estudando diversos meios que acarretem em uma melhora nas propriedades da madeira, promovendo assim um aumento da sua duração natural em seus diversos usos (MENEZES et al., 2014). O uso crescente de painéis reconstituídos de partículas de madeira está causando um avanço tecnológico desse material, especialmente na área de pesquisa que visa melhorar essas propriedades tecnológicas e viabilizar esse recurso (MENDES et al., 2006).

Del Menezzi, Tomaselli e Souza (2007) afirmam que os painéis OSB possuem menor estabilidade quando comparados ao compensado. Isto se deve por causa da fixação das tensões de compressões advindas dos processos de prensagem das partículas que compõem o material, que são liberadas em certas quantidades quando em contato com água ou altas umidades, em forma de inchamento em espessura e com resultados maiores que os dos compensados.

Estudos apontam que alguns tratamentos aplicados à madeira têm efeitos positivos na estabilidade dimensional e são aplicados, em geral, antes da consolidação do painel (DEL MENEZZI; TOMASELLI; SOUZA, 2007). Esses mesmos autores comentam que esses tratamentos também podem gerar outros fatores indesejados como a redução das propriedades de resistência, quando utilizado tratamentos térmicos e modificação química das partículas, e restrições quanto ao custo, como por exemplo, no aumento do teor de adesivos.

No trabalho realizado por Del Menezzi (2004) foi apresentada uma alternativa viável por meio de tratamento térmico, para painéis de OSB, onde se obteve resultados satisfatórios referentes ao aumento na estabilidade dimensional do produto tratado. Com este experimento pode-se reduzir o inchamento em espessura e a absorção de água, comparando-se a painéis não tratados. Foi observada também uma redução no teor de umidade de equilíbrio e da taxa de não retorno em espessura, onde essa redução é desejada. Nas propriedades mecânicas houve pequenas perdas, fato este comentado também por Boas (2011) em seu trabalho, onde a diminuição ocorreu em módulo de ruptura, e mantiveram-se as demais propriedades.

O retorno em espessura após entrar em contato com a umidade é um dos problemas que muitos autores procuram solucionar, principalmente em materiais densificados, que

tendem a liberar as tensões de compressão quando absorvem umidade (COSTA, 2015). Em estudo com tratamento termomecânico conduzido por Skyba (2008), aponta-se uma evolução positiva em algumas propriedades físicas e mecânicas; porém, ainda é instável o produto densificado e há a recuperação da espessura quando exposto a umidade, limitando deste modo o uso de tais produtos tratados.

As pesquisas feitas no ramo da densificação e de pós-tratamentos, utilizados posteriormente ao tratamento termohidromecânico (tratamento termomecânico aplicado em meio úmido), visam tratar madeiras de grande porte para o emprego na construção civil (SANDBERG; NAVI, 2007). Esses autores afirmam que durante a densificação de materiais maiores acontecem problemas como rachaduras e delaminações, já em amostras menores há uma maior homogeneidade e reprodução dos tratamentos aplicados, fora a distribuição uniforme da temperatura e do teor de umidade durante o processo de densificação e no pós-tratamento.

Contudo, o compensado ainda é o tipo de painel mais estável, e os métodos empregados para melhoria da estabilidade dimensional em painéis OSB ainda não são o suficiente para serem aplicados em escala industrial; tanto pelos altos custos quanto pelos aspectos técnicos e operacionais (MENDES, 2001).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram obtidos dois painéis de OSB (multiuso) de pinus diretamente do mercado madeireiro do Distrito Federal, onde são comercializados nas dimensões de 244 x 122 x 1,5 cm (comprimento, largura e espessura). Esses painéis são fabricados utilizando adesivo fenol-formaldeído (FF) nas camadas externas e difenilmetano di-isocianato (MDI) nas camadas internas, ambas resistentes a altas temperaturas, além da emulsão parafínica e anti-cupim (LP BRASIL, s.d.).

### **5.1. TRATAMENTO TERMOMECÂNICO**

Os painéis foram desdobrados para obtenção de 20 amostras para o tratamento termomecânico (Figura 1) e dez amostras a mais para o ensaio preliminar de compressão perpendicular ao plano do painel. As mostras densificadas foram pesadas em uma balança de precisão de 0,01 g e medidas as espessuras em cinco pontos de cada amostra por meio de um

relógio comparador digital (STARRETT) com precisão de 0,001 mm. Em seguida colocadas em câmara climática com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa entorno de  $65 \pm 1\%$  da umidade relativa do ar, até obterem massa constante. Obteve-se também, o teor de umidade (%) das amostras, sendo essa a relação da diferença entre massa úmida e massa seca pela massa seca.

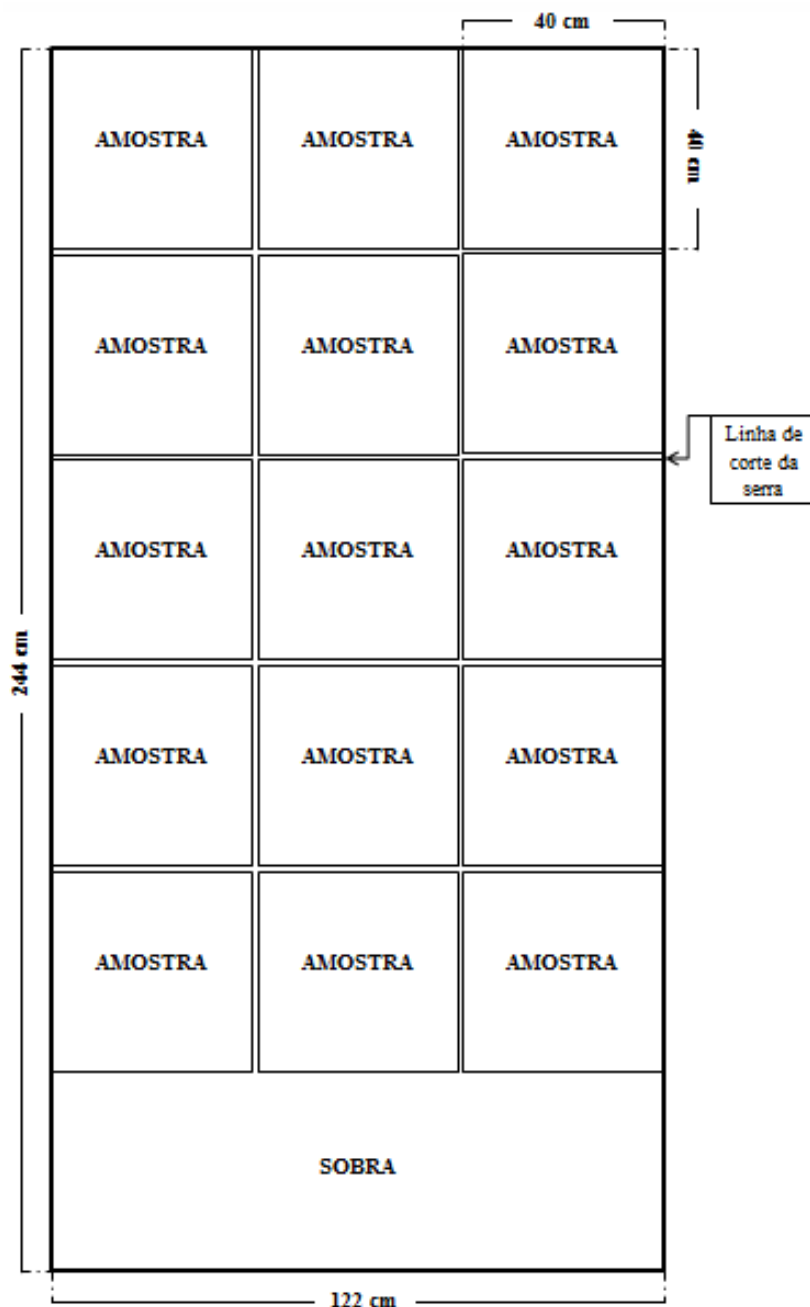


Figura 1. Esquema de corte das 20 amostras de 40 x 40 cm de um painel OSB.

#### 5.1.1. Ensaio preliminar

Foram obtidos dez corpos de prova, de 20 x 5 x 1,5 cm, segundo a norma ASTM D143 – 94 (2000) de madeira maciça (com adaptação das dimensões dos corpos de prova e velocidade de carregamento) para o ensaio preliminar (Figura 2). Esse ensaio foi fundamental para determinar a pressão que foi utilizada no tratamento termomecânico, em que foi obtido a resistência à compressão perpendicular ao plano do painel ( $f_{c,90^\circ}$ ). Esses corpos de prova foram retirados da câmara climática e cortados na serraria do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) – SFB (IBAMA). O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal (EFL) – UnB, por meio da máquina EMIC DL 30000 N, que foi utilizada também para os demais testes mecânicos, junto ao programa Tesc versão 3.04 para gerar os gráficos dos ensaios.



Figura 2. Ensaio preliminar de compressão perpendicular ao plano do painel.

Posteriormente foi calculada a tensão ( $\partial$ ) média, e a partir dela obtida a pressão no painel (P) e a pressão regulada no manômetro ( $P_m$ ) que foram utilizadas nos tratamentos, por meio das equações 1 a 3, para obter a tensão em um milímetro de deformação no gráfico.

$$\partial = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$P = \partial * 0,25 \quad \text{e} \quad P = \partial * 0,5 \quad (2)$$

$$P_m = P * \frac{A_p}{551,55} \quad (3)$$

Em que:

$\hat{\sigma}$  = tensão, Kgf/cm<sup>2</sup> ou dividir por 10,19 para transforma em MPa;

F = carga aplicada sobre a área, Kgf;

A = área da amostra que recebeu a carga F, cm<sup>2</sup>;

P = pressão equivalente a 25% e 50% de  $f_{c,90^\circ}$  no painel, Kgf/cm<sup>2</sup>;

P<sub>m</sub> = pressão no manômetro, Kgf/cm<sup>2</sup>;

A<sub>p</sub> = área do painel, cm<sup>2</sup>.

### 5.1.2. Prensagem do material

Antes de começar o tratamento termomecânico, foram utilizadas duas amostras a mais de OSB colocadas à pressão equivalente a 25% e 50% de  $f_{c,90^\circ}$  e temperatura de 170°C para regular a prensa, obtendo o tempo e pressão necessário para a realização dos testes. Essa temperatura é a mínima necessária para que os polímeros que compõem o painel atinjam a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>), perdendo sua rigidez e permitindo assim a densificação (DEL MENEZZI, 2004).

Para o tratamento termomecânico utilizadouse uma prensa hidráulica de 60 x 60 cm (INDUMEC, 1000 kN) com controle de temperatura e pressão (Figura 3). As amostras, continham as seguintes dimensões, 40 x 40 x 1,5 cm (Figura 1). O tratamento foi realizado na Fazenda Água Limpa – FAL/UnB no Laboratório de Tecnologia.





Figura 3. Tratamento termomecânico: 1) Máquina utilizada para a prensagem do painel. 2) Painel de controle (manômetro) da pressão e temperatura aplicada no painel. 3) Termopar utilizado para medir a temperatura interna do painel durante os tratamentos.

Foram testados quatro tratamentos oriundos da combinação de duas temperaturas (170 e 190°C) e duas pressões (25 e 50% de  $f_{c,90^\circ}$ ). Para cada tratamento foram feitas quatro repetições, totalizando assim 16 amostras densificadas distribuídas para: tratamento 1 (T 170°C; P 25%), tratamento 2 (T 170°C; P 50%), tratamento 3 (T 190°C; P 25%) e tratamento 4 (T 190°C; P 50%). Quatro amostras adicionais foram mantidas sem tratamento e foram utilizadas como testemunha (NT).

A aplicação do tratamento está esquematizada na Figura 4, onde após o interior do painel atingir a temperatura do tratamento, este ficou nessas condições por dez minutos e passado este tempo a pressão foi regulada até a metade e permaneceu por mais cinco minutos. Em seguida a pressão foi zerada, e o painel ficou por mais cinco minutos no calor da prensa em processo de tratamento térmico, visando liberar as tensões internas de compressão de forma mais lenta e gradativa.

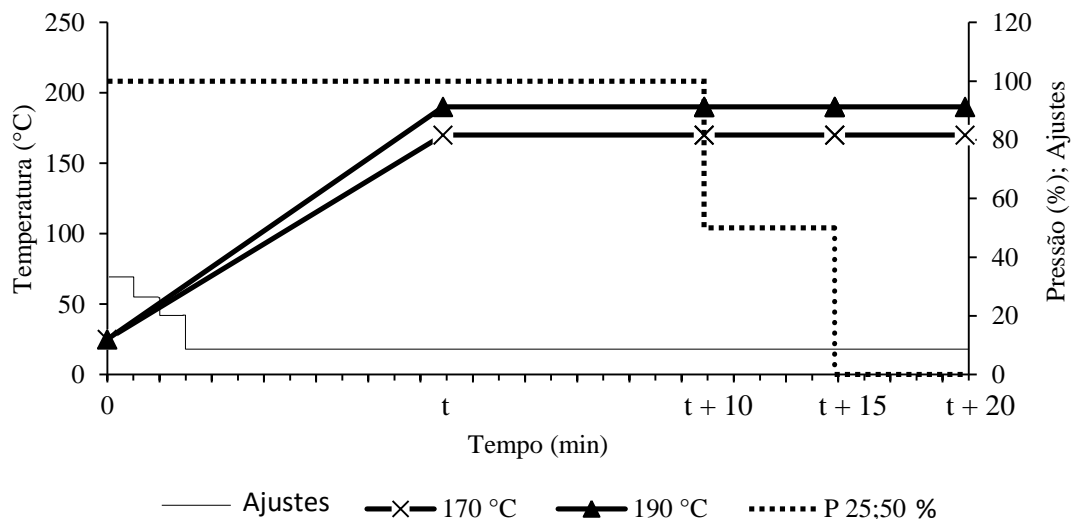


Figura 4. Esquema simplificado do tratamento termomecânico aplicado para os painéis.

Obtiveram-se também os ajustes feitos pela prensa a cada diminuição da espessura a partir da pressão aplicada, até atingir a temperatura do tratamento, para observação do tempo

médio de densificação do painel, ou seja, da diminuição da espessura inicial até a final. Foi medido, a cada 20 segundos, o comportamento da temperatura interna dos painéis com um termopar do tipo “K” conectado a um datalogger (ICEL Manaus, TD-890), o qual foi fixado na região intermediária do painel (Figura 5).

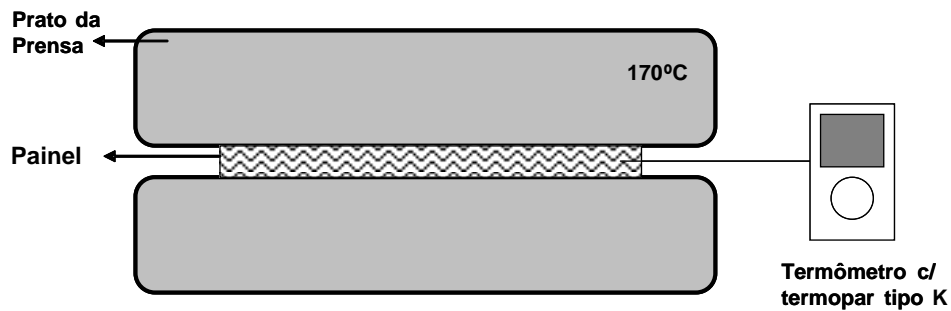


Figura 5. Esquema simplificado do ensaio preliminar para determinação da duração e para a aplicação do tratamento termomecânico nos painéis (Adaptado de DEL MENEZZI, 2010).

Foram obtidos também, antes e após a prensagem do material, a massa e a espessura de cada amostra, e depois colocados novamente em câmara climática. Calculou-se a densidade em g/cm<sup>3</sup>, a taxa de compressão (Tx C) e densificação (Tx D) e a perda de massa (PM) dos painéis tratados (a partir das equações 4 a 6, respectivamente).

$$Tx\ C = \left( 1 - \left( \frac{E_f}{E_i} \right) \right) * 100 \quad (4)$$

$$Tx\ D = \left( \left( \frac{\rho_f}{\rho_i} \right) - 1 \right) * 100 \quad (5)$$

$$PM = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100 \quad (6)$$

Em que:

Tx C = taxa de compressão, %;

E<sub>i</sub> = espessura inicial, mm;

E<sub>f</sub> = espessura final, mm;

Tx D = taxa de densificação, %;

M<sub>i</sub> = massa inicial, g;

M<sub>f</sub> = massa final, g;

PM = perda de massa, %;

ρ<sub>i</sub> = densidade inicial, Kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_f$  = densidade final, Kg/m<sup>3</sup>.

A TxC e TxD são duas formas de quantificar a densificação do material a primeira utiliza dados de espessura e a outra, a massa.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Após climatização do material tratado, foi feita a caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília segundo a norma ASTM D1037 (2012), com adaptações.

Os corpos de prova distribuídos para cada ensaio estão esquematizados na Figura 6, e observados os ensaios na Figura 7, onde foram obtidos 80 amostras para flexão estática (CP 1 ao 4, e os outros CP 5-7 foram deixados para posterior ensaio de intemperismo). A partir do ensaio de flexão, foram retirados os demais corpos de prova: 80 amostras para imersão (I), 160 para dureza janka (D) e 80 para resistência à compressão paralela (C). Todos os corpos de prova de I, D e C foram escolhidos da extremidade ao centro por estarem livres dos efeitos de rachaduras ocorridos pelo teste de flexão.

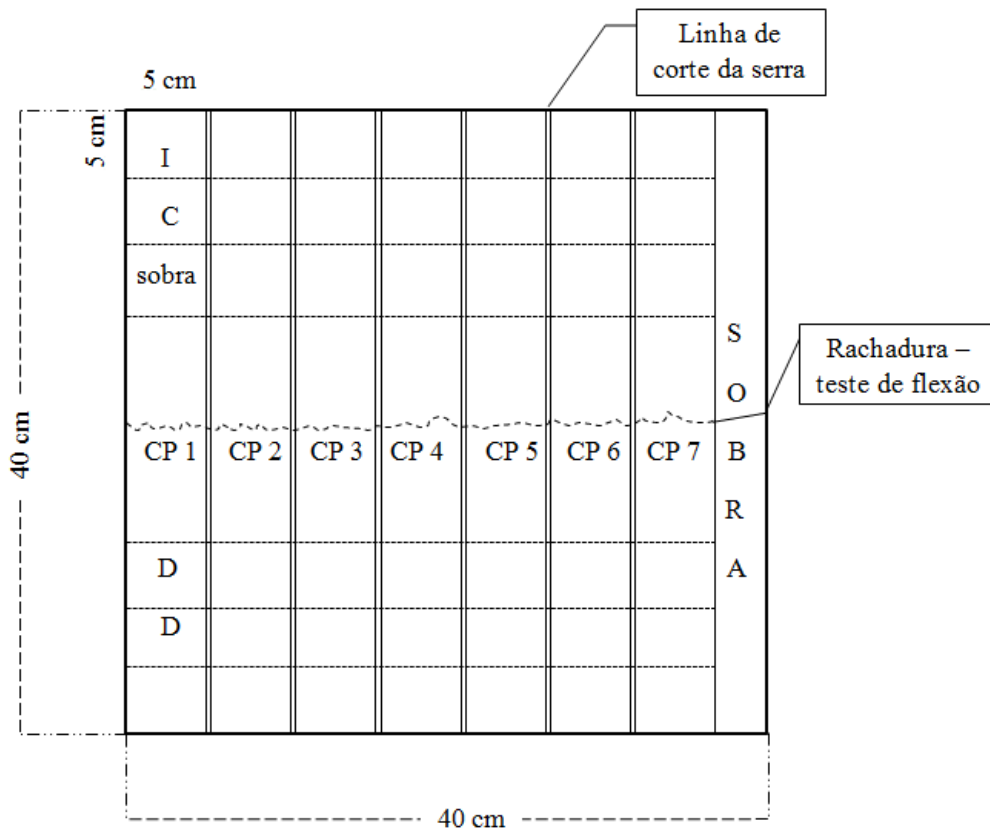
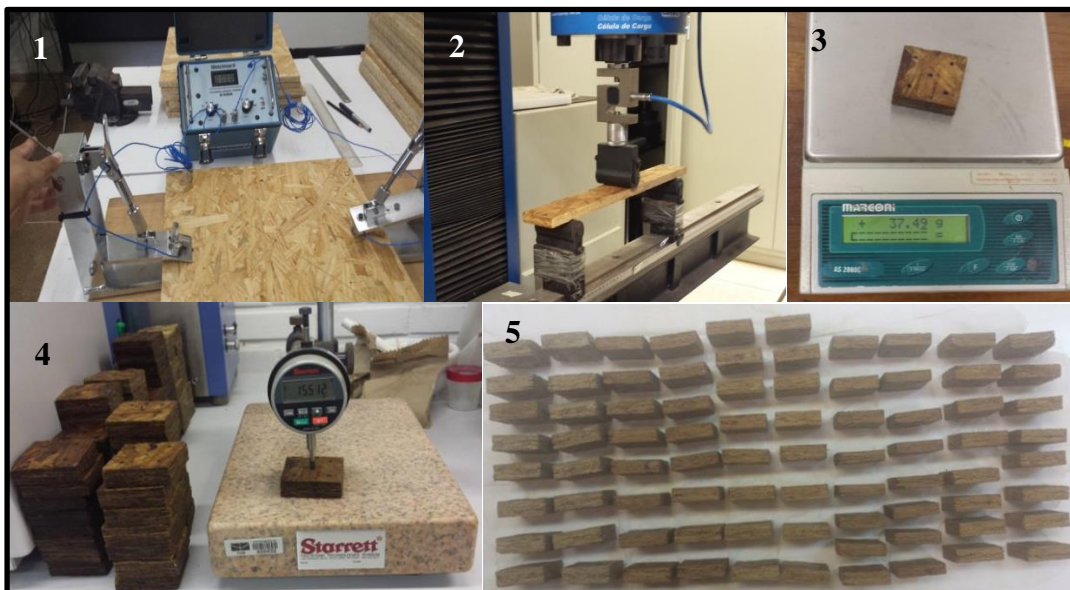


Figura 6. Esquema de corte dos corpos de prova de 40 x 5 cm e 5 x 5 cm de uma amostra de 40 x 40 cm. Onde CP = flexão estática; I = imersão; C = resistência à compressão paralela; D = dureza janka.



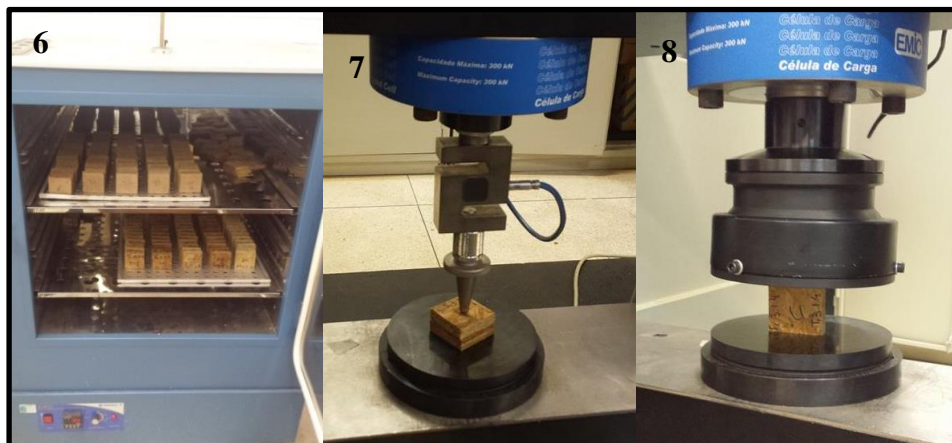


Figura 7. Imagens dos ensaios físicos e mecânicos: 1) *Stress wave timer*. 2) Flexão estática. 3) Imersão – determinação da massa. 4) Imersão – medição da espessura. 5) Imersão – secagem ao ar livre. 6) Imersão – secagem em estufa. 7) Dureza janka. 8) Resistência à compressão paralela.

Determinaram-se as seguintes propriedades físicas e mecânicas: inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA), módulo de elasticidade dinâmico (Ed) com o uso do equipamento de *stress wave timer*, módulo de ruptura à flexão estática (MOR), módulo de elasticidade à flexão estática (MOE), dureza janka e resistência à compressão paralela ( $f_{c,0^\circ}$ ).

### 5.2.1. Imersão

Para o ensaio de inchamento (IE) e absorção de água (AA) foram retirados um corpo de prova com dimensões de 5 x 5 cm de cada CP de flexão estática, sendo imersos em água e obtidos a massa e espessura nos períodos de 2, 4, 8, 16, 24, 48 e 72 h. Calculou-se um intervalo médio de 50 minutos para medição das amostras. Antes e após cada imersão determinou-se a massa por meio de uma balança de precisão de 0,01 g, e a espessura em cinco pontos por um relógio comparador digital de precisão de 0,001 mm. Pelas equações 7 e 8 foram obtidos o IE e AA, respectivamente.

$$IE = \frac{(Emf - Emi)}{Emi} * 100 \quad (7)$$

$$AA = \frac{(Mf - Mi)}{Mi} * 100 \quad (8)$$

Em que:

$E_{mf}$  = espessura média no período imerso, mm;

$E_{mi}$  = espessura média inicial, antes da imersão, mm;

IE = inchamento em espessura, %;

$M_f$  = massa no período imerso, g;

$M_i$  = massa inicial, antes da imersão, g;

AA = absorção de água, %.

Acompanhou-se a taxa de inchamento (TxI) e de absorção (TxA) no decorrer do tempo de imersão, observando o comportamento da entrada de água no painel. A TxI é dada pela relação entre as espessuras (mm) dos dados iniciais no tempo zero e dos dados nas medições de cada tempo imersão. O mesmo se fez para a TxA em relação a massa (g).

Após as 72 horas de imersão em água, as amostras foram postas em posição vertical ao ar livre para reduzir a quantidade de água absorvida, evitando assim defeitos de secagem, e depois foram colocadas em estufa com circulação forçada a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , com controle da temperatura na máquina e um termômetro, até obterem massa constante. Em seguida foram medidos novamente os cinco pontos de espessuras e a massa para calcular a taxa de não retorno em espessura (TNRE) e o teor de umidade de equilíbrio (TUE) (Equações 9 e 10).

$$\text{TNRE} = \frac{(E_{mf} - E_{mi})}{E_{mi}} * 100 \quad (9)$$

$$\text{TUE} = \frac{(M_i - M_f)}{M_f} * 100 \quad (10)$$

Em que:

$E_{mf}$  = espessura média final após a secagem, mm;

$E_{mi}$  = espessura média inicial antes da imersão, mm;

TNRE = taxa de não retorno em espessura, %;

$M_i$  = massa inicial antes da imersão, g;

$M_f$  = massa final após a secagem, g;

TUE = teor de umidade de equilíbrio, %;

### 5.2.2. Stress wave

O Ed foi obtido através da medição do tempo de propagação da onda no painel a partir do equipamento *stress wave timer* Metriguard 239A, calculando a velocidade no sentido paralelo e perpendicular em relação à orientação das partículas do painel. A partir da relação entre a distância de propagação da onda (em metros) pela média de três tempos (em  $\mu\text{s}$ ), foi calculado o Ed paralelo (Ed//) e perpendicular (Ed<sub>⊥</sub>) (Equação 11).

$$Ed// \text{ ou } Ed_{\perp} = \frac{(V^2 * \rho)}{10^6} \quad (11)$$

Em que:

$\rho$  = densidade do painel, Kg/m<sup>3</sup>;

V = velocidade paralela ou perpendicular, respectivamente, m/s;

Ed// ou Ed<sub>⊥</sub> = módulo de elasticidade dinâmico paralelo e perpendicular, respectivamente, MPa.

### 5.2.3. Flexão estática

Os CPs de dimensão 40 x 5 cm, obtidos conforme ilustrado na Figura 3, foram ensaiados para determinação da sua resistência quanto a flexão estática. Para tanto, antes do ensaio, foi calculado o vão necessário por tratamento para regular as distâncias do apoio com uma relação de 24 vezes a espessura de cada CP. Para obter a velocidade de carregamento do ensaio por tratamento, a máquina foi calibrada para 5, 6 e 7 mm/min uma vez que a espessura média do painel variava de 11 a 15 mm.

A partir dos valores da velocidade de carregamento foi realizado o ensaio de flexão estática, do qual se gerou uma curva de força por deformação para cada CP e calculado o MOR e MOE (Equações 12 e 13) por tratamento.

$$MOR = 1,5 \frac{Prup * L}{b * h^2} \quad (12)$$

Em que o MOR é o módulo de ruptura, em MPa; Prup é a carga de ruptura obtida pela máquina, em Kgf; L é a distância entre os apoios do equipamento, em cm; b é a largura do CP, em cm; e h é a espessura média medida a partir de quatro pontos do CP, em cm.

$$MOE = \frac{P * L^3}{4 * \Delta * b * h^3} \quad (13)$$

Em que MOE é o módulo de elasticidade, em MPa; P é a carga no limite proporcional obtido do gráfico, em Kgf; L é a distância entre os apoios do equipamento, em cm;  $\Delta$  é a deformação, em cm, referente à carga P; b é a largura do CP, em cm; e h é a espessura média medida a partir de quatro pontos do CP, em cm.

#### 5.2.4. Dureza janka

O ensaio de dureza foi realizado com corpos de prova de 5 x 5 cm colados dois a dois para obterem a espessura mínima estipulada por norma. Em seguida foram colocados os corpos de prova em câmara climática para estabilização da colagem para se obter posteriormente o valor da carga máxima (F máx.), em newtons, que foi aplicada em uma área longe o suficiente das bordas para evitar a divisão ou lascas a amostra.

#### 5.2.5. Resistência à compressão paralela

Para o teste de compressão paralela, os corpos de prova foram confeccionados nas dimensões de cinco centímetros de largura, e o comprimento obtido por tratamento a partir de quatro vezes a espessura média de cada tratamento. Em seguida se calculou a velocidade por tratamento sendo de 0,21 mm/min (T4), 0,22 mm/min (T2), 0,25 mm/min (T1 e T3) e 0,28 mm/min (NT). Foi mensurada e demarcada a área (espessura pela largura da peça) que recebeu a carga, assim obtendo o valor da resistência de  $f_c, 0^\circ$  (Equação 14).

$$f_c, 0^\circ = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (7)$$



Onde o  $f_{c,0^\circ}$  é a resistência a compressão paralela, em Kgf/cm<sup>2</sup> ou dividido por 10,19 para transforma em MPa;  $F_{m\acute{a}x}$  é a carga máxima dada em Kgf; e A é a área que recebeu a carga máxima, dada em cm<sup>2</sup>.

### 5.3. ANÁLISE DOS DADOS

Para cada ensaio foi calculado o desvio padrão (s) pela fórmula do programa Excel 2010 e o coeficiente de variação (CV), sendo esta uma medida de dispersão normalizada pela média e dado em porcentagem, a partir da relação do s pela média dos valores observados por tratamento.

A análise estatística foi feita inicialmente pelo programa SPSS 20.0 através da comparação par a par da testemunha com cada um dos tratamentos, por meio do teste de média de Dunnett, observando se houve diferença entre eles. Em seguida, os resultados do material tratado foram avaliados por uma análise de variância fatorial (2 x 2), onde foram analisadas as fonte de variação dos resultados (temperatura ou pressão ou interação entre eles). Para fins de análise do efeito do tratamento termomecânico, foi feito o teste de Tukey B, onde foi observado se houve ou não diferença significativa entre os tratamentos juntamente com a testemunha. Todas as análises foram consideradas significativas ao nível de  $\alpha = 0,05$ .

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. TRATAMENTO TERMOMECÂNICO

Os painéis obtidos no mercado estavam com densidade média aparente de 0,58 g/cm<sup>3</sup>. O teor de umidade médio foi de 10%, apresentando homogeneidade das amostras com um coeficiente de variação de 1,4%.

A partir do ensaio preliminar de resistência a compressão perpendicular ao plano do painel ( $f_{c,90^\circ}$ ) se encontrou a tensão máxima de 58,1 Kgf/cm<sup>2</sup> e assim obtido os valores de pressão a 25 e 50% que foram aplicados no painel, correspondentes a 15 e 29 Kgf/cm<sup>2</sup> ou 1,4 e 2,8 MPa, respectivamente. Referente a cada pressão mencionada anteriormente, os valores colocados no painel do manômetro foram de 4 e 8 MPa.

A duração média dos tratamentos foi de 33 minutos. É evidenciado o comportamento da temperatura interna dos painéis em cada tratamento (Figura 8) onde é possível observar as fases de aquecimento e possivelmente saída de produtos voláteis.

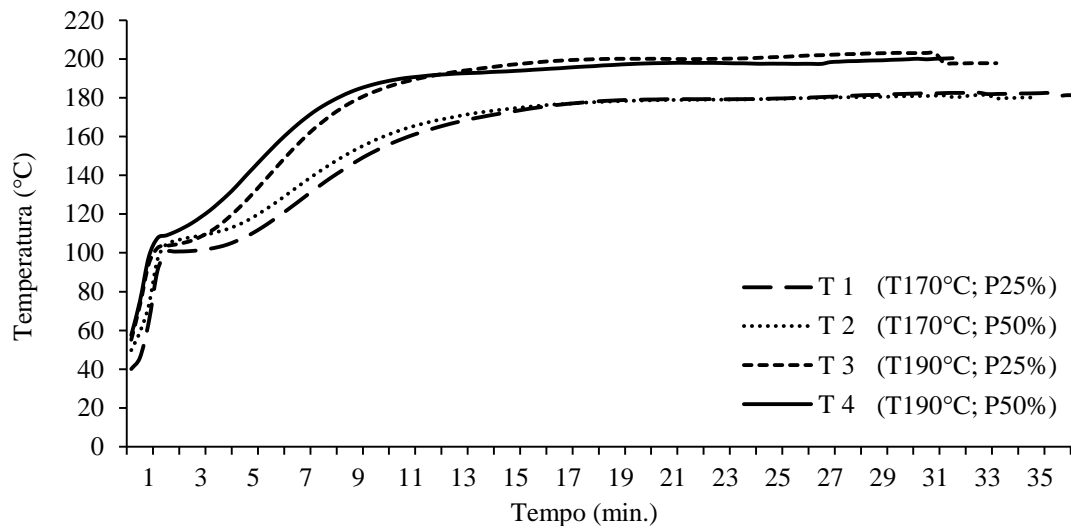


Figura 8. Temperatura interna dos painéis para cada tratamento.

Trabalhos realizados por Del Menezzi (2004) com tratamento térmico em painel OSB, e por Vasconcelos (2012) com madeira sólida e Costa (2015) com compensado e LVL, ambos com tratamento termomecânico, comentam que há três fases a serem observadas no aquecimento da madeira. Tem-se um avanço rápido da curva até os 100°C, uma diminuição em seguida, e a estabilização após atingir a temperatura estipulada na prensa.

Todos os tratamentos seguiram a mesma tendência: uma rápida evolução da temperatura dentro dos painéis até atingirem aproximadamente 100°C, em um tempo médio de aproximadamente dois minutos. A primeira fase deste processo ocorre porque há quantidades de água, que por sua vez é um ótimo condutor de calor (DEL MENEZZI, 2004; VASCONCELOS, 2012). Costa (2015) explica que a compressão mecânica do tratamento é outro fator atribuído a inclinação da curva, pois o mesmo reduz os espaços vazios e consequentemente aumenta a massa específica, resultando em um aumento da condutividade térmica dos painéis.

Na segunda fase de aquecimento é notada a saída de compostos voláteis, em forma de vapor, havendo assim uma diminuição da inclinação da curva. Por fim se tem a terceira fase, em que o material atinge a temperatura estipulada em cada tratamento, e a sua

estabilização, levando uma média de tempo ( $t$ ) de aproximadamente 13 minutos para os tratamentos 1 e 2 a 170°C, e 11 minutos para os tratamentos 3 e 4 a 190°C.

Nas Figuras 9 e 10, estão esquematizados os processos do tratamento termomecânico de forma geral, analisados nas temperaturas de 170 e 190°C o comportamento médio dos ajustes T1 ao T4 em relação as suas respectivas pressões (P 25% e P 50%). Para todos os tratamentos, os ajustes ocorreram antes de atingirem a temperatura programada na prensa.

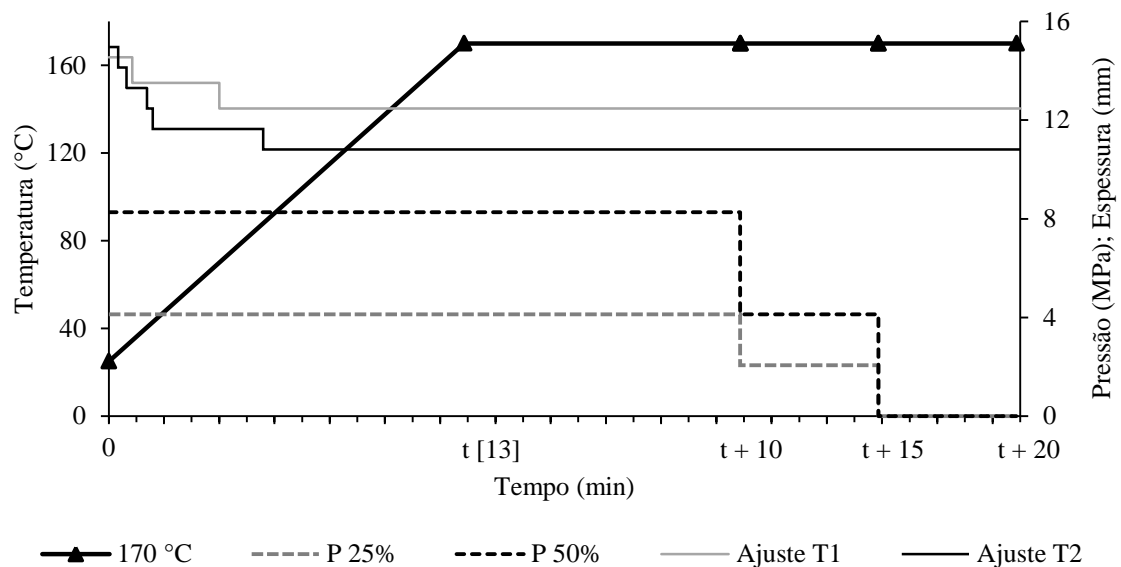


Figura 9. Esquema geral dos valores médios dos tratamentos 1 (T 170°C; P 25%) e 2 (T 170°C; P 50%) com seus respectivos ajustes (T1 e T2).

Os  $T1_{(170;25)}$  e  $T2_{(170;50)}$  tiveram um tempo total de processo termomecânico de 33 minutos. Nota-se que para os ajustes do T1, e com P25%, houve uma média de dois ajustes, sendo a espessura inicial de 14,6 mm e a espessura final de 12,5 mm, ocorridos essa densificação em um tempo médio de quatro minutos.

Na Figura 9, os ajustes do T2 a P50% tiveram um número maior que o T1, tendo um total de cinco em um tempo de seis minutos, onde a espessura inicial era de 15 mm e a final de 10,8 mm. Em 190°C (Figura 10), foi atingido um valor de  $t$  menor quando comparado ao encontrado em 170°C, tendo percorrido um total de 31 minutos para os  $T3_{(190;25)}$  e  $T4_{(190;50)}$ . Os ajustes do T3 a P25% ocorreram durante seis minutos, com espessuras inicial e final de 15 e 12,3 mm, respectivamente. Os ajustes do T4 a P50% tiveram valores de espessuras de 15,1 até 10,5 mm final, em um tempo de quatro minutos.

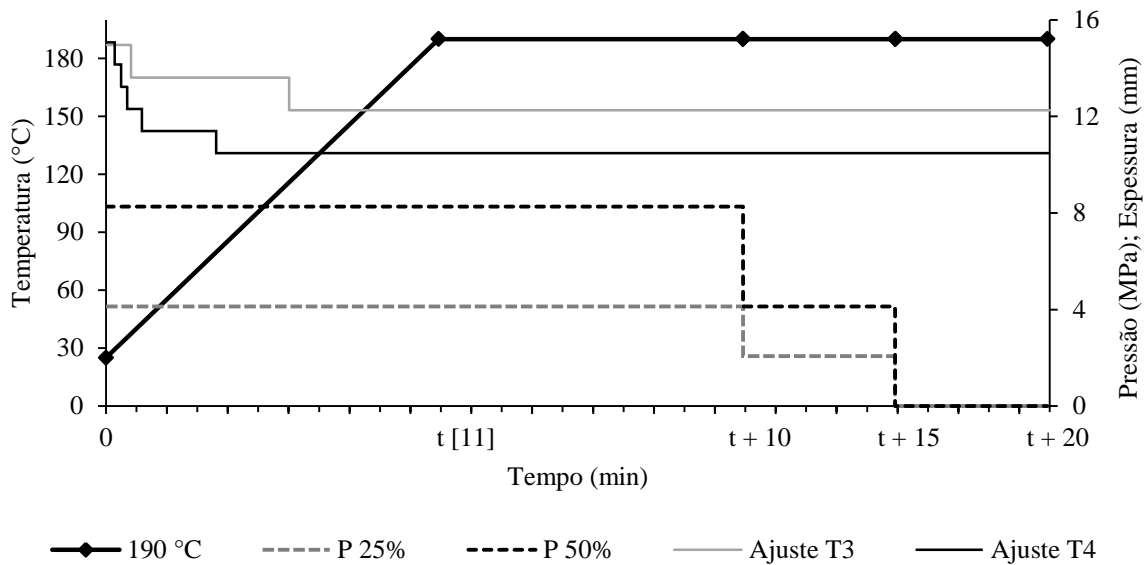


Figura 10. Esquema geral dos valores médios dos tratamentos 3 (T 190°C; P 25%) e 4 (T 190°C; P 50%) com seus respectivos ajustes (T3 e T4).

Observou-se que os ajustes T1 ocorreram em tempo menor; dois minutos em relação ao T3. Comparando os ajustes T2 e T4, é observado que o T2 leva dois minutos a mais para acontecer todos os ajustes. A quantidade de ajustes a 190°C foi igual à temperatura menor, evidenciando um comportamento muito semelhante entre as mesmas pressões a diferentes temperaturas. Pode-se inferir que o fator temperatura acelera o tempo do processo termomecânico e que as pressões aumentam as quantidades de ajustes que, por sua vez diminuem a espessura, densificando ainda mais o painel (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade depois da aplicação do tratamento termomecânico.

Tratamento	Temperatura (°C)	Pressão (%)	Densidade Pós-processo (g/cm <sup>3</sup> )
1	170	25	0,63 <sup>a*</sup>
2	170	50	0,75 <sup>b*</sup>
3	190	25	0,64 <sup>a*</sup>
4	190	50	0,75 <sup>b*</sup>
Testemunha	0	0	0,58 <sup>c</sup>

NOTAS: Valores médios seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey B a 5% de probabilidade; os valores com asterisco são significativos para o teste Dunnett.

Houve diferença estatística entre os tratamentos e a testemunha (NT), e ao mesmo tempo em que foram estatisticamente iguais o T1<sub>(170;25)</sub> e T3<sub>(190;25)</sub>, o T2<sub>(170;50)</sub> e T4<sub>(190;50)</sub>, podendo aferir que a pressão teve influência sobre esta variável. Foram encontrados a partir do teste de Dunnett valores significativos para todas as densidades depois do tratamento (Apêndice 1).

Analisando a Figura 11, têm-se as mesmas classificações estatísticas de Tukey B observadas na densidade, onde a taxa de compressão (TxC) e densificação (TxD) tiveram resultados semelhantes para T1 e T3, assim como os T2 e T4. Para a perda de massa (PM) existem três classes estatisticamente diferentes, onde provavelmente a 170°C a diferença foi com relação à pressão aplicada e para 190°C, a temperatura teve uma maior influência sobre a PM.

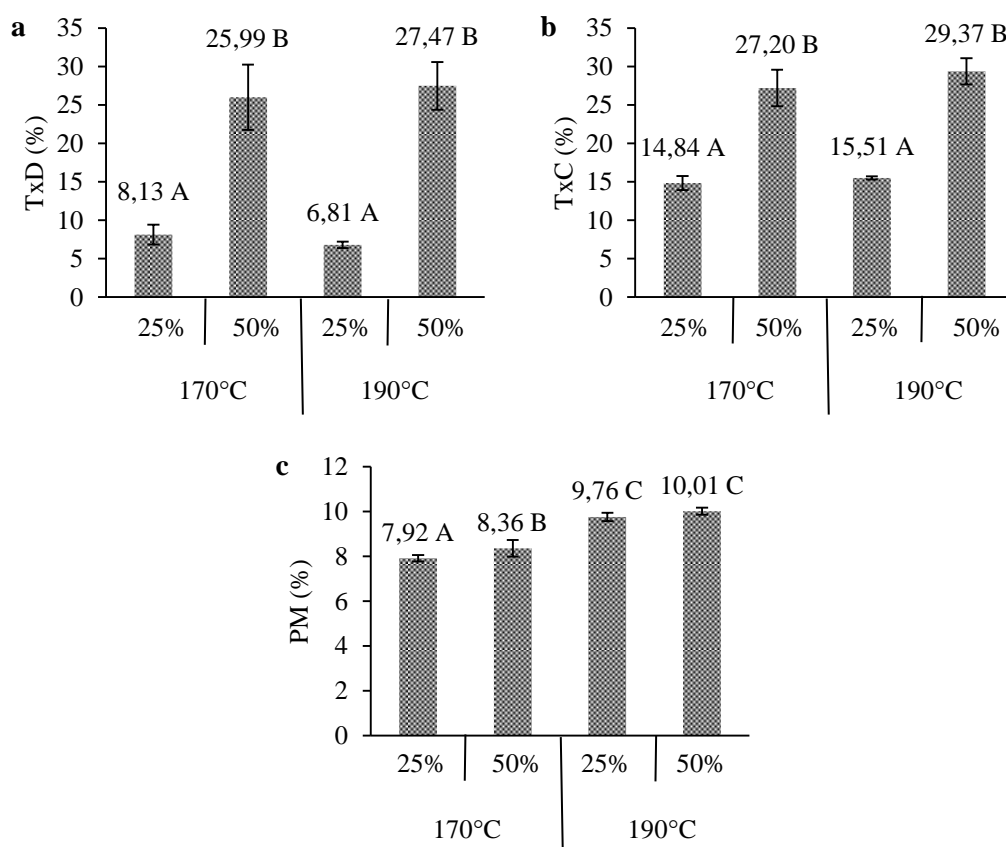


Figura 11. Valores médios para TxD, TxC e PM. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey B a 5% de significância.

Era previsto que para tratamentos mais severos ocorressem maior PM, como pode ser observado no T4 com perda absoluta de até 10% de sua massa. Era esperando que para a maior pressão ocorresse maior TxC e TxD resultando em painéis com maiores densidades,

assim como na PM para maior temperatura, porém não fica claro se houve ou não influência da temperatura somente pelo teste de Tukey B (Apêndice 2), sendo necessário outra análise para observar melhor esses efeitos.

Pela Tabela 2 nota-se que a temperatura teve influência apenas na PM. Já para a TxD e TxC não houve diferença significativa entre as temperaturas testadas, por meio de análise fatorial.

Tabela 2. Análise estatística entre os fatores utilizados para o tratamento termomecânico.

Fator		Variável (%)		
		TxD	TxC	PM
Temperatura (°C)	170	17,06	21,02	8,14*
	190	17,14	22,44	9,89*
Pressão (%)	25	7,47*	15,17*	8,84*
	50	26,73*	28,29*	9,18*

NOTA: Valores com (\*) são significativos para o teste fatorial a nível de  $\alpha = 0,05$ .

Em Costa (2015), é explicado que essas duas variáveis (TxD e TxC) possuem mesma finalidade, que é de quantificar a densidade, onde estas aumentam ou diminuem proporcionalmente. Nesse mesmo trabalho, a autora comenta que para o seu material, a TxC foi maior para a menor temperatura (120°C) sob pressão de 2,9 MPa (50% de  $f_{c,90}$ ) em 12 e 15 minutos, sendo uma com pressão e outra sem pressão, para compensado de 12 mm de espessura tratados termomecânicamente.

Analisando a PM é confirmado que a temperatura teve influência nesta variável, uma vez que quanto maior a temperatura, maior será sua perda. Esse fato foi observado também em Del Menezzi, Tomaselli e Souza (2007), onde os autores utilizaram o tratamento térmico com temperaturas de 190 e 220°C para o material de OSB, promovendo uma redução da higroscopicidade e da PM, assim podendo melhorar as propriedades físicas.

Em relação à pressão, foi verificada uma diferença nas três variáveis sendo que para maior pressão ocorre um aumento da TxD, TxC e PM, em comparação com a menor pressão. Isso é aceitável para as duas primeiras variáveis, pois há um aumento da densidade que podem melhorar as propriedades mecânicas. Porém, o aumento da PM ocasionado pela diminuição da massa específica do material pode acarretar na perda dessas propriedades. Portanto, para fins de densificação e/ou compressão, pode-se utilizar uma temperatura menor

para obter o mesmo resultado e ao mesmo tempo reduzir os gastos energéticos. Não houve interação entre os fatores dentre as variáveis.

Bekhta, Niemz e Sedliacik (2010) apontam para uma relação entre a TxC e os demais fatores envolvido no tratamento, como pressão, temperatura e tempo. Estes autores comentam que os resultados da TxC obtidos no trabalho foram mais sensíveis ao aumento da temperatura do que aos outros fatores. Porém, é observado o contrário neste estudo, onde a pressão possui influência sobre os dois extremos de valores para a TxC (15 a 28%), sendo o valor maior quando aplicado maior pressão.

No geral a temperatura de 190°C foi o maior fator para o aumento da PM, confirmando o que já foi dito por Del Menezi, Tomaselli e Souza (2007). A pressão de 50% foi o fator que apresentou maior TxD e TxC, contrariamente ao que foi observado no trabalho realizado por Bekhta, Niemz e Sedliacik (2010).

Portanto os tratamentos que obtiveram maiores TxD e TxC foram os mesmos que apresentaram maior densidade, sendo eles os T2<sub>(170;50)</sub> e T4<sub>(190;50)</sub>. A PM foi observada para ambos os fatores, porém a temperatura foi o fator limitante para maior ou menor perda. Contudo, é desejável obter maiores resultados de TxD e TxC e menor PM, sendo o tratamento 2 (T 170°C; P 50%) o que atende melhor a esses requisitos.

Pôde-se também, apenas pela análise visual, observar que o tratamento termomecânico provocou alteração na coloração dos painéis tratados sobre as faces que estiveram em contato com a prensa (Apêndice 5).

## 6.2. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

### 6.2.1. Propriedades físicas

Foi observado a velocidade de entrada de água no painel, obtido no decorrer do tempo de imersão (Figura 12), por meio da taxa de inchamento (TxI) relacionado a espessura, e a taxa de absorção (TxA) relacionado a massa das amostras.

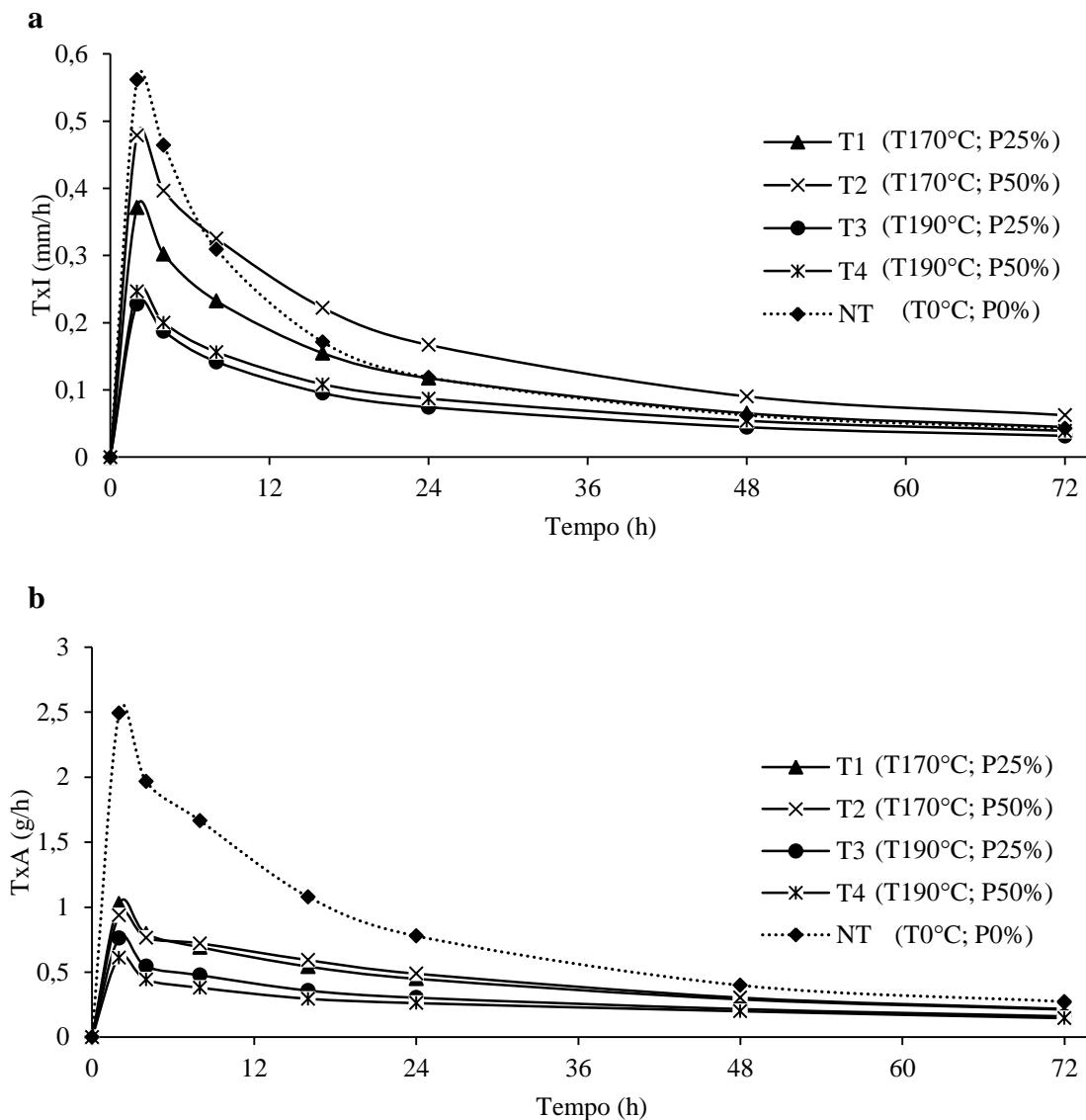


Figura 12. a) Taxa de inchamento e (b) absorção das amostras durante o período de imersão.

Em um primeiro instante ocorreu uma rápida ascensão da curva em duas horas de imersão, com TxI maior para o NT (0,56 mm/h) e menor para o T3 (0,23 mm/h). Em seguida foi diminuindo a quantidade de água absorvida, ficando com taxas entre 0,6 mm/h (T2) a 0,3 mm/h (T3) em até 72h. Obteve-se a estabilização na seguinte ordem crescente: T3, T4, NT, T1 ao T2.

Na TxA é observado o mesmo comportamento rápido da entrada de água nas amostras, seguida de uma diminuição tendendo a estabilização em 72h de imersão. Porém a ordem de absorção foi diferente, onde o material NT (2,49 g/h) apresentou valores superiores em relação ao tratado; e dentro dos tratados o menor foi para o T4 (0,61 g/h). Esse mesmo



comportamento é visto no estudo realizado por Missio et al. (2016), com a espécie arbórea *Hovenia dulcis*, para um tratamento frio-quente. Em uma hora, todos os tratados e controle apresentaram resultados superiores a 0,5 g/h.

O T3 inchou menos em espessura, podendo inferir que a água absorvida pelas amostras se encontra sob alta tensão. O T4 absorveu menos água, resultado de maior perda de massa ocorrida pela severidade do tratamento. Para fins de análise, foram estudados os efeitos da temperatura e pressão sobre as propriedades de inchamento (IE) e absorção de água (AA) a 2, 24 e 72 horas (onde tem a rápida entrada de água no interior do painel, seguida da diminuição da mesma até atingir a máxima saturação).

Uma das formas de avaliar a estabilidade dimensional é pela espessura do material densificado e se este não apresenta retorno após a compressão no ensaio de inchamento. Assim, o valor de TxC tem que ser maior que o inchamento, garantindo a forma comprimida do tratamento.

A Tabela 3 apresenta as médias absolutas dos tratamentos comparados um a um com o NT para cada propriedade analisada. Os resultados estatísticos podem ser observados no Apêndice 3.

Tabela 3. Propriedades físicas do painel de acordo com a temperatura e pressão, comparados ao NT.

Propriedades físicas (%)	Tratamento (T°C - P%)				
	T1 170 – 25	T2 170 – 50	T3 190 – 25	T4 190 – 50	NT 0 – 0
IE 2h	5,87*	8,67*	3,55*	4,66*	7,67
IE 24h	22,29	36,33*	13,91*	19,22	19,41
IE 72h	25,56*	40,71*	17,64*	27,10*	21,01
AA 2h	9,88*	8,79*	7,44*	5,79*	22,22
AA 24h	51,74*	54,92*	35,54*	29,80*	85,07
AA 72h	73,28*	73,27*	56,40*	49,92*	91,11
TNRE	14,04*	24,84*	5,93*	10,52	11,44
TUE	9,11*	8,82*	8,21*	8,05*	10,16

NOTA: Os valores médios com asterisco representam ser significativos a nível de 5% para o teste das médias de Dunnett.

Apresentaram-se sem significância as propriedades de IE às 24h, para o T1 e T2, e a TNRE para o T4. É verificado valores significativos para a maioria das propriedades em todos

os materiais tratados termomecânicamente, apontando valores abaixo do NT. Isso significa que o painel tratado ficou mais hidrofóbico em relação ao NT, ocasionando um aumento na estabilidade do mesmo.

O tratamento, em geral, demonstraram ser satisfatório para essas propriedades, reduzindo a higroscopicidade juntamente com a anisotropia do painel, no qual o T3 apresentou variação abaixo do NT quando imerso até 72h em água, para todas as variáveis estudadas. Del Menezzi e Tomaselli (2006) já haviam observado que o tratamento térmico auxilia na diminuição do IE (-49%), TUE (-43%) e TNRE (73%) quando comparado à testemunha. Comparando os resultados dos autores com os encontrados neste estudo, são observadas as mesmas tendências para as propriedades mencionadas, indicando que a pressão pode provocar esse aumento das propriedades. A diferença percentual em relação ao material NT para as propriedades estudadas foram: em 72h, o IE foi de 16% (T3); e a AA foi de 45% (T4); para a TNRE, 48% (T3); e o TUE foi 21% (T4).

Tabela 4. Análise de cada fator em relação às propriedades físicas dos painéis tratados.

Propriedades físicas (%)	Fator			
	Temperatura (°C)		Pressão (%)	
	170	190	25	50
IE 2h	7,27*	4,08*	4,82*	6,86*
IE 24h	29,31*	16,63*	18,41*	28,84*
IE 72h	33,14*	22,24*	22,02*	34,49*
AA 2h	9,34*	6,70*	8,87*	7,43*
AA 24h	53,33*	32,55*	44,56	43,47
AA 72h	73,27*	53,30*	65,78	62,86
TNRE	19,44*	8,11*	10,27*	18,45*
TUE	8,97*	8,14*	8,71*	8,48*

NOTA: Os valores médios com asterisco representam ser significativos a nível de 5% para análise fatorial.

Na Tabela 4, apenas duas propriedades não obtiveram dados estatísticos significativos, sendo elas a AA em 24 e 72 h de imersão para ambas as pressões de 25 e 50%. A temperatura de 190°C apresentou resultados melhores que os verificados para 170°C, onde o IE (22,24%), AA (53,30%), TNRE (8,11%) e TUE (8,14%), foram mais baixos. A pressão foi mais eficiente a 25% do que a 50%, com exceção da AA (7,43%) em duas horas e TUE (8,48%).

Com isso, pode-se afirmar que a temperatura de 190°C ocasionou uma maior perda de massa do material (Tabela 2), perdendo assim elementos constituintes do painel que tendem a absorver água. Essa temperatura aliada à pressão de 25% foi o suficiente para a melhoria das propriedades físicas, onde possivelmente a reprensagem do material pode ter acarretado uma maior cura do adesivo no interior do painel.

Houve interação significativa entre os fatores para as propriedades: IE (todos os horários), AA de 8 a 48 horas e a TNRE (Figura 13 e 14).

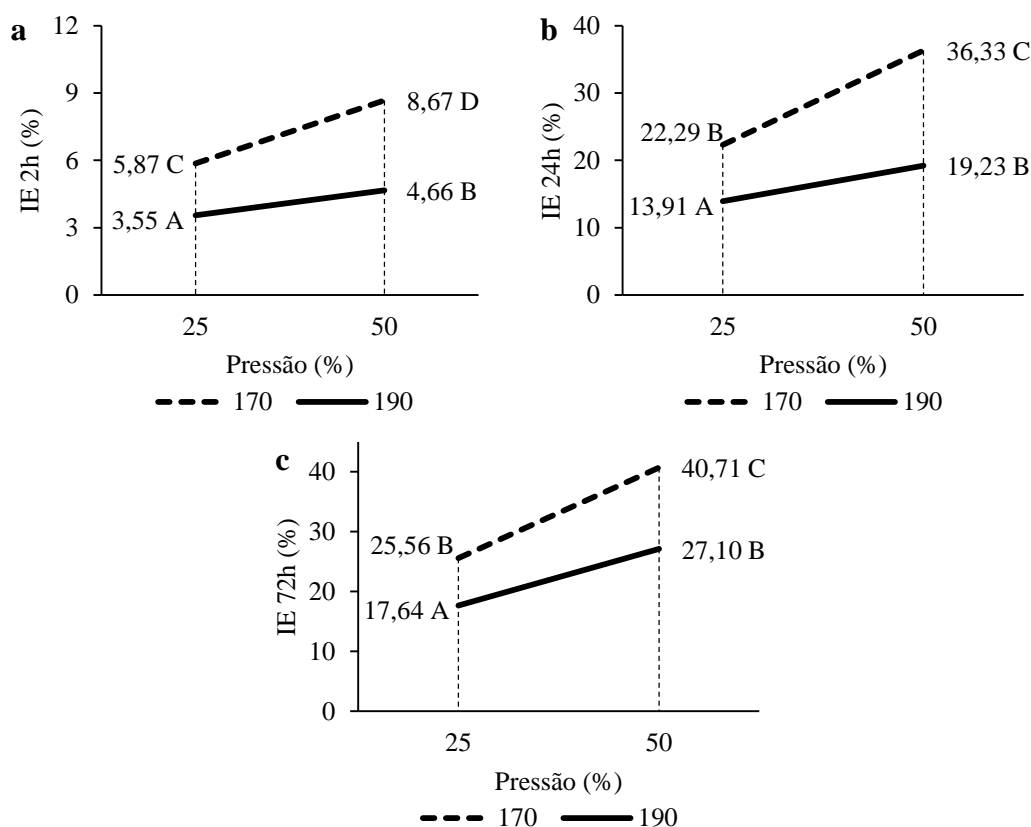


Figura 13. Interações entre os fatores temperatura e pressão para a propriedade IE de 2 (a), 24 (b) e (c) 72h de imersão.

Analisando a Figura 13 temos que cada tratamento foi diferente entre si em IE às 2h, onde o maior resultado foi para o T2 (8,67%), ficando superior ao NT. O menor resultado encontrado foi do T3 (3,55%). Isso se repetiu para os IE a 24 e 72h, entretanto, em 72h de imersão os T1 e T4 tiveram o mesmo comportamento, sendo estatisticamente iguais, podendo assim utilizar uma menor temperatura e pressão para obter resultado semelhante.

A temperatura 190°C inicialmente não demonstrou muita variação; porém, nas horas seguintes, os valores obtidos entre as duas pressões chegaram a quase 35% de diferença. A

temperatura 170°C apresentou variação acentuada em todos os gráficos, diferindo entorno de 37% entre as pressões até 72h imerso. Portanto, houve maiores IE quando atribuído menor temperatura.

De modo geral, obteve-se um menor inchamento em espessura em 2, 24 e 72h quando aplicado tratamento de 190°C a 25% de pressão e, em contra partida, os maiores valores foram encontrados para o tratamento de 170°C a 50% de pressão. Dessa forma, a temperatura mais elevada (190°C) combinada com a menor pressão (25%) proporcionaram efeitos mais significativos e desejáveis nesse estudo para o IE.

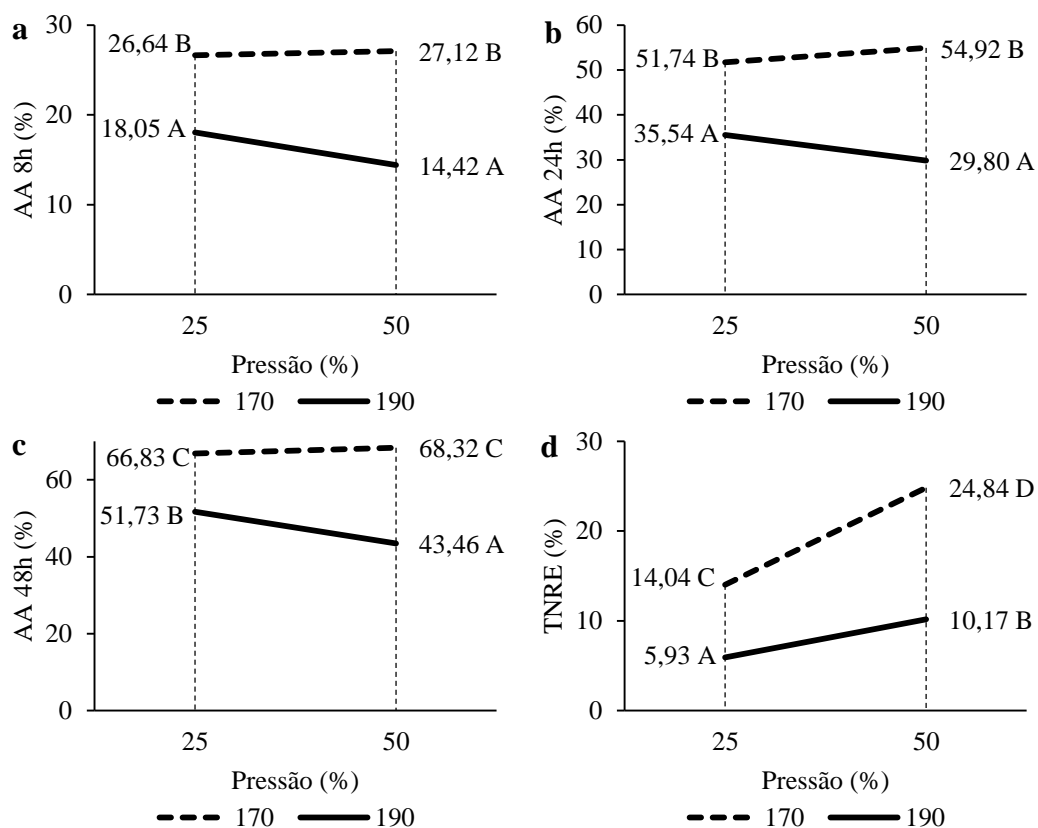


Figura 14. Interações entre os fatores temperatura e pressão para as propriedades de AA de (a) 8, (b) 24 e (c) 48h de imersão e para (d) TNRE.

A menor AA foi para o T4 (43,46%) e a maior para o T2 (68,32%). É constatado para AA que a temperatura a 190°C apresentou efeitos mais satisfatórios em relação a menor temperatura, em todos os casos, não havendo variação entre as pressões para 170°C, e que essa menor absorção é decorrente da maior perda de massa. A temperatura maior, além de prover bons resultados, demonstrou diferença entre as pressões, onde a 50% se obteve melhores valores, e uma menor absorção de água em relação a 25%. O T2 foi consistente em

todas as propriedades, sendo o maior valor observado. Já o T3 foi o que apresentou os menores valores, com exceção para AA em 48h. Isso demonstra que o tratamento de termodensificação a uma temperatura de 190°C aliado a pressão de 25% é capaz de proporcionar melhoras significativas às propriedades físicas de painéis OSB. O ideal para este estudo é conseguir manter a espessura do tratamento o mesmo durante as horas de imersão, significando que o material se tornou mais hidrofóbico, favorecendo a diminuição da instabilidade provocada por esse fenômeno higroscópico intrínseco do material. No apêndice 5 é possível observar as amostras secas em estufa após o término do ensaio de imersão, notando a variação da espessura entre os tratamentos e a testemunha.

Segundo Del Menezzi (2004), a redução da higroscopicidade e das tensões de compressões ocorrem em temperaturas severas, favorecendo um aumento da estabilidade nas propriedades físicas. Entretanto as perdas provocadas pela temperatura pode provocar diminuição nas propriedades mecânicas. Costa (2015) afirma que a pressão favorece o aumento da densidade do painel, contrabalançando a perda ocorrida pela temperatura.

#### 6.2.2. Propriedades mecânicas

Foi realizado o ensaio de propagação de onda para observar o comportamento desta no painel após o material ser submetido aos tratamentos. Esta é uma forma de estimar as propriedades do painel, sem destruí-lo. Na tabela 5 (Apêndice 1) estão apresentados as médias comparando os tratados com o não tratado (NT).

Tabela 5. Resultados do módulo de elasticidade dinâmico paralelo ( $E_d//$ ) e perpendicular ( $E_d\_\_$ ) para os tratados e o não tratado a partir do ensaio de ondas de tensão.

Tratamento	Propriedades <i>stress wave</i> (MPa)	
	$E_d//$	$E_d\_\_$
1 (T170°C; P25%)	4582,16 <sup>a</sup>	2817,53 <sup>ab</sup>
2 (T170°C; P50%)	5297,63 <sup>b*</sup>	3489,12 <sup>c*</sup>
3 (T190°C; P25%)	4475,75 <sup>a</sup>	2979,76 <sup>b*</sup>
4 (T190°C; P50%)	5409,90 <sup>b*</sup>	3694,95 <sup>c*</sup>
Testemunha (T0°C; P0%)	3980,77 <sup>a</sup>	2500,97 <sup>a</sup>

NOTAS: Valores médios seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey B a 5% de probabilidade; os valores com asterisco são significativos para o teste Dunnett;  $E_d//$ : módulo de elasticidade dinâmico na direção paralela;  $E_d\_\_$ : módulo e elasticidade dinâmico na direção perpendicular.

Houve duas diferenças estatísticas dos valores médios para o teste de Tukey para o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ( $E_d //$ ). Para esta propriedade a pressão de 25% não se apresentou diferente da testemunha. Para o módulo de elasticidade dinâmico perpendicular ( $E_d \perp$ ) foram verificadas três diferenças estatísticas, no qual o material densificado com 50% da pressão se mostrou diferente da pressão a 25% e testemunha. Foi observado um aumento dessas propriedades analisadas em relação à testemunha para todos os tratamentos aplicados. Portanto, o tratamento a pressão 25% se mostrou igual, estatisticamente, ao material não tratado; já a pressão 50% demonstrou valores diferentes e superiores ao controle.

Analisando as amostras tratadas com a testemunha, é verificada significância para os tratamentos T2 (T170°C; P50%) e T4 (T190°C; P50%) para ambas as direções. O T3 (T190°C; P25%) foi significativo apenas para a direção perpendicular. Deste modo, pode-se supor que a partir do *stress wave*, as propriedades mecânicas melhoradas foram maiores em T4, seguido do T2, T3 e T1. Este ensaio prediz também algumas das propriedades físicas como o teor de umidade do painel, onde menores teores proporcionam maiores valores de módulo de elasticidade dinâmico, e isso pode ser confirmado pela Tabela 3. Outros fatores que influenciam no aumento destas propriedades são a temperatura e a degradação do material tratado. Onde o tratamento mais severo, com maior temperatura e maior perda de massa, apresentou melhor resultado para este ensaio.

No trabalho feito por Del Menezzi, Tomaselli e Souza (2007) com tratamento térmico e material OSB, foi verificado valores inferiores à testemunha, atribuindo isso ao calor aplicado pelo tratamento. No presente trabalho foi observado que temperatura causou PM, porém a pressão ajudou densificando o material, possibilitando o aumento das propriedades analisadas pelo *stress wave*.

Analisando as outras propriedades mecânicas (Apêndice 4), tem-se: apenas a propriedade de módulo de elasticidade a flexão estática (MOE) sendo significativo para o T4. A dureza foi relevante em todos os tratamentos e a resistência a compressão paralela ( $f_{c,0^\circ}$ ) foram aceitáveis para T2 e T4 (Tabela 6).

Tabela 6. Comparação do material tratado com a testemunha para as propriedades mecânicas.

Tratamento	Propriedades mecânicas			
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Dureza (N)	fc,0° (MPa)
1 (T170°C; P25%)	23,79	4103,12	3448,86*	13,22
2 (T170°C; P50%)	29,79	4490,76	5434,23*	15,95*
3 (T190°C; P25%)	26,13	4769,79	3498,70*	13,86
4 (T190°C; P50%)	30,17	5094,41*	5744,21*	15,03*
Testemunha (T0°C; P0%)	25,17	4398,84	2445,32	11,94

NOTA: Os valores médios com asterisco representam ser significativos a nível de 5% para teste de Dunnett; MOR: módulo de ruptura a flexão estática; MOE: módulo de elasticidade a flexão estática; fc,0°: resistência a compressão paralela.

Nota-se que o T1 apresentou valor inferior ao não tratado, havendo perda das propriedades de módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) a flexão estática, porém não foram significativas para este estudo. Para a pressão a 50% (T2 e T4), pode-se observar que a temperatura a 190°C prejudicou a propriedade fc,0°. Já na dureza é percebido o inverso, com valores maiores para o T2 e T4, os que possuem 50% de pressão, onde a temperatura a 190°C foi superior os tratamentos mencionados. O esperado para essas propriedades é que haja um aumento dessas propriedades a partir do tratamento termomecânico em relação à testemunha.

Em Arruda et al. (2011) é notado perda de MOR e MOE nos compensados tratados termomecânicamente, mesmo não havendo resultados aceitáveis para seu estudo. Neste trabalho é observado o contrário; o tratamento proporcionou um aumento nas variáveis em relação ao não tratado. Observado que para pressão a 50% apresentaram-se resultados maiores que a 25%. O mesmo pode ser evidenciado para a temperatura a 190°C, exceto em fc,0° no qual ocorreu uma pequena diminuição em relação a 170°C.

Deste modo, podemos aferir que o tratamento que apresentou melhoras significativas foi o T4, seguido do T2, T3 e T1, corroborando com o que foi estimado pelo ensaio de ondas de tensão com o *stress wave* (Tabela 5). Na Tabela 7 é observado que a pressão foi mais significativa do que a temperatura, com MOE aceitável para as temperaturas, e MOR, dureza e fc,0° para as pressões. A dureza foi a que mais apresentou resultados satisfatórios entre as variáveis analisadas.

Tabela 7. Resultados dos fatores, pressão e temperatura, para as propriedades mecânicas do material tratado.

Propriedades mecânicas	Fator			
	Temperatura (°C)		Pressão (%)	
	170	190	25	50
MOR (MPa)	27,10	28,09	25,15*	29,50*
MOE (MPa)	4344,98*	4924,89*	4438,61	4755,85
Dureza (N)	4527,46	4829,62	3531,32*	5584,22*
fc,0° (MPa)	14,73	14,35	13,47*	15,42*

NOTA: Os valores médios com asterisco foram significativos a nível de 5% para análise fatorial; MOR: módulo de ruptura a flexão estática; MOE: módulo de elasticidade a flexão estática; fc,0°: resistência a compressão paralela.

A partir da análise fatorial se pode notar que a temperatura e pressão mais severas, foram os que demonstraram melhores resultados para estas propriedades. Era esperado que para tratamentos mais severos, acarretasse a perda de tais propriedades, porém nesse estudo foi observado o contrário, onde o T4 foi superior e o T1, inferior aos demais tratamentos.

A temperatura de 190°C foi o fator determinante para o aumento em MOE e a pressão de 50%, para o MOR, Dureza e fc,0°. A pressão teve grande influência nos valores significativos dos materiais tratados, podendo ser relacionado ao aumento da densidade do painel, compensando a perda de massa ocorrida pela temperatura do tratamento.

Contudo, o T4 se apresentou como melhor tratamento entre os resultados obtidos das propriedades mecânicas. A temperatura não possuiu grande influência nessas propriedades, podendo usar 170°C para obter resultados próximos aos encontrados em 190°C, e o mesmo se aplica a pressão de 25%, reduzindo gasto de energia e perda de massa. Sendo assim o T2 seria desejável do ponto de vista econômico.

A superfície do material foi melhorada, evidenciado também por Kamdem, Pizzi e Jermannaud (2002), em que comentam que a superfície da madeira, quando em contato com calor, diminui sua rugosidade em função da degradação advinda do tratamento térmico, gerando camadas que dificultam a adesão entre substratos.

## 7. CONCLUSÃO



A termodensificação apresentou o melhor resultado quando combinado a menor temperatura e maior pressão (Temperatura 170°C e pressão a 25% - Tratamento 2). As propriedades físicas, no geral, apontou ganhos expressivos em relação ao material não tratado, tendo o tratamento 3 (Temperatura 190°C e pressão a 25%) os melhores resultados entre os demais tratamentos, onde apresentou valores de inchamento em espessura abaixo do não tratado para todas as medições, e resultou em taxa de não retorno quase a zero. Para as propriedades mecânicas, houve um aumento destas, porém, não foram significativas para o trabalho. O melhor resultado foi apresentado pelo tratamento 4 (Temperatura 190°C e pressão a 50%).

O tratamento termomecânico foi satisfatório para este estudo, pois a perda de massa ocorrida pelo tratamento térmico foi compensada pela pressão, que densificou o material, melhorando as propriedades do painel, o que retoma a hipótese levantada neste trabalho, em que o tratamento termomecânico proporcionou uma melhora nas propriedades mecânicas além das físicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. B.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Aproveitamento de resíduos de painéis de madeira gerados pela indústria moveleira na produção de pequenos objetos. **Revista Árvore** vol. 33, nº 1. Viçosa – janeiro/fevereiro, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM D143 – 94 (Reapproved 2000), 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D1037-12, 2012.

ARAÚJO, S.O. **Propriedades de madeiras termorretificadas**. 2010. 77 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2010.

ARRUDA, L. M.; GONÇALEZ, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; MELO, R. R. Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecânicamente. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 01, p. 29–42, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009.

BEKHTA, P.; MARUTZKY, R. Reduction of Glue Consumption in the Plywood Production by Using Previously Compressed Veneer. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 65, n. 1, p. 87-88, 2007.

BEKHTA, P.; NIEMZ, P.; SEDLIACIK, J. Effect of Pre-Pressing of Veneer on the Glueability and Properties of Veneer-Based Products. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. Online First. (DOI: 10.1007/s00107-010-0486-y), 2010.

BOAS, M. A. V. **Efeito do tratamento térmico da madeira para a produção de briquetes**. 2011. 65 p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2011.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. L. Propriedades de chapa tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore** vol. 30, nº 4. Viçosa – julho/agosto, 2006.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1. Belo Horizonte-MG. p. 173-185, 1998.

CLOUTIER, A.; FANG, C.; MARIOTTI, N. Densification of Wood Veneers Under the Effect of Heat, Steam and Pressure. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 51., 2008, Conception, Chile. **Anais...** Chile: Universidad del Bío-Bío, 2008.

COSTA, M. A. **Efeito de diferentes estratégias de densificação sobre as propriedades de compensados e painéis de lâminas paralelas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. 2015. 148 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília – DF. Publicação PPGEFL.TD - 054/2015. 2015.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Retificação térmica de painéis de partículas orientadas: efeito sobre a estabilidade dimensional**. 2001. 29p. Monografia (Conclusão de Disciplina de Pós-graduação) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. 2004.

DEL MENEZZI, C.H.S.; TOMASELLI, I. Contact thermal post-treatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: a preliminary study. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.64, n.3, p.212-217, 2006.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; SOUZA, M. R. Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente: parte 1 – efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.76, p.67-75, 2007.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, vol. 27, nº 3. Viçosa – maio/junho, 2003.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 131 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília – DF. Publicação EFLD-003/2008. 2008.

HILL, C. A. S. et al. The water vapour sorption properties of thermally modified and densified wood. **Materials Science**, n. 47, p. 3191–3197, 2012.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. In: **Revista Árvore**, vol. 26, nº 03. Viçosa, MG, maio/junho, 2002.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, p. 89-94, 2003.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Cerne**, Lavras, vol. 10, nº. 1, p. 46-52, janeiro/junho, 2004.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, p. 137-182, 2005.

JÚNIOR, G. B.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore** vol. 28, nº 4. Viçosa - julho/agosto, 2004.

**LP BRASIL**. Como é feito o OSB? Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/como-e-feito-o-osb.asp>>. S. D. Acessado em: 06 de outubro de 2015.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of Heat-Treated Wood. **European Journal of Wood Products**, Heiderlberg, v. 60, n. 1, p. 1-6, 2002.

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

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e partículas. **Revista da Madeira**. n.53, p.14-22, 2000.

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na Produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2002.

MENDES, L. M.; SILVA, G. A.; TRUGILHO, P. F.; SALDANHA, L. K.; MORI, F. A.; PÁDUA, F. A. Influência do teor de resina, temperatura e tempo de prensagem na umidade de equilíbrio de painéis de partículas de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 329-335, out./dez. 2006.

MENDES, L. M.; MENDES, S. A.; MENDES, R. F.; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P. Umidade de equilíbrio de painéis OSB de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne** vol. 20, nº 4. Lavras – outubro/dezembro, 2014.

MENEZES, W. M.; SANTINI, E. J.; SOUZA, J. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, p.1019-1024, jun, 2014.

MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; DE CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A. Effects of Two-Step Freezing-Heat Treatments on Japanese Raisintree (*Hovenia Dulcis* Thunb.) **Wood Properties, Journal of Wood Chemistry and Technology**, 36:1, 16-26, DOI: 10.1080/02773813.2015.1039544. 2016.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 2 v.

PELLERIN, R. F.; ROSS, R. J. **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: Forest Products Laboratory, 2002. 210p.

PEREIRA, F. A. **Propriedades de painéis tipo OSB, fabricados com floco de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente**. 2013. 66 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Viçosa – MG. 2013.

**Revista da Madeira** – REMADE. Painéis. Edição nº 68 – dezembro 2002. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=268&subject=Pain%E9is&title=Pain%E9is](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=268&subject=Pain%E9is&title=Pain%E9is)>. Acesso em: jun. 2016.

**Revista da Madeira** – REMADE. OSB: opção de mercado. Ed. Nº 71, maio, 2003a. Disponível em:<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB-opção no mercado](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB-opção%20no%20mercado)>. Acesso em: 04 abr. 2016.

**Revista da Madeira** – REMADE. Painéis – Aglomerado: Chapas de partículas produzidas com madeira da caatinga do Nordeste Brasileiro. Ed. Nº 71, maio, 2003b. Disponível em:<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=334&subject=Pain%E9is%20-%20Aglomerado&title=Chapas%20de%20part%EDculas%20produzidas%20com%20madeira%20da%20caatinga%20do%20Nordeste%20Brasileiro](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=334&subject=Pain%E9is%20-%20Aglomerado&title=Chapas%20de%20part%EDculas%20produzidas%20com%20madeira%20da%20caatinga%20do%20Nordeste%20Brasileiro)>. Acesso em: 19 mai. 2016.

**Revista da Madeira** – REMADE. Mercado – A indústria brasileira de painéis de madeira. Ed. N° 71, maio, 2003c. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=331&subject=Mercado&title=A%20ind%FAstria%20brasileira%20de%20pain%E9is%20de%20madeira](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=331&subject=Mercado&title=A%20ind%FAstria%20brasileira%20de%20pain%E9is%20de%20madeira)>. Acesso em: 18 mai. 2016.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília – DF. 2009.

SANDBERG, D.; NAVI, P. Introduction to Thermo-hydro-mechanical (THM) wood processing. Report n. 30, School of Technolog and Design, Sweden, 2007.

SHALER, S. M. Comparing two measures of flake alignment. **Wood Science and Technology**, v. 26. p. 53-61, 1991.

SKYBA, O. **Durability and Physical Properties of Thermo-Hygro-Mechanically (THM)-densified Wood**. Tese (Doutorado). Ucrânia, 167p. 2008.

SURDI, P. G.; JÚNIOR, G. B.; CASTRO, V. R.; MENDES, R. F.; ALMEIDA, N. F.; FILHO, M. T. Relação entre perfil de densidade e ligação interna de painéis OSB de *Pinus spp*. **Floresta e Ambiente** vol. 21, nº 3. Seropédica – julho/setembro, 2014. Epub. 1 de agosto de 2014.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: **Chapman & Hall**, 1991. p. 309-339.

VASCONCELOS, R. G. Efeito do tratamento termomecânico sobre propriedades da madeira do Gênero *Pinus* sp. 2012. 73 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF. 2012.

WELZBACHER, C. R.; WEHSENER, J.; RAPP, A. O.; HALLER, P. Thermo-Mechanical Densification Combined with Thermal Modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in Industrial Scale - Dimensional Stability and Durability Aspects. **Holz Roh Werkst**, v. 66, p. 39-49, 2008.

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Dens. depois	170°C-25%	4	,63200	,018673	,009336	,60229	,66171	,605	,648
	170°C-50%	4	,75100	,028284	,014142	,70599	,79601	,715	,779
	190°C-25%	4	,64175	,017746	,008873	,61351	,66999	,629	,668
	190°C-50%	4	,75050	,027234	,013617	,70717	,79383	,711	,770
	"Não tratado"	4	,58200	,013166	,006583	,56105	,60295	,568	,596
	Total	20	,67145	,072258	,016157	,63763	,70527	,568	,779
V // depois	170°C-25%	4	2692,6125	7,71948	3,85974	2680,3291	2704,8959	2686,57	2702,70
	170°C-50%	4	2650,7075	113,42927	56,71463	2470,2162	2831,1988	2513,97	2786,38
	190°C-25%	4	2640,2050	56,23744	28,11872	2550,7187	2729,6913	2564,10	2686,57
	190°C-50%	4	2685,4925	58,11303	29,05652	2593,0217	2777,9633	2639,30	2769,23
	"Não tratado"	4	2614,1025	74,33248	37,16624	2495,8229	2732,3821	2506,96	2678,57
	Total	20	2656,6240	69,56162	15,55445	2624,0682	2689,1798	2506,96	2786,38
V _ _ depois	170°C-25%	4	2110,0875	56,37624	28,18812	2020,3803	2199,7947	2059,50	2179,18
	170°C-50%	4	2154,8925	71,58399	35,79200	2040,9864	2268,7986	2078,52	2233,25
	190°C-25%	4	2154,6350	26,13680	13,06840	2113,0455	2196,2245	2132,70	2184,47
	190°C-50%	4	2218,6100	38,41140	19,20570	2157,4889	2279,7311	2184,47	2272,73
	"Não tratado"	4	2072,6350	60,28566	30,14283	1976,7071	2168,5629	2017,94	2158,27
	Total	20	2142,1720	68,97188	15,42258	2109,8922	2174,4518	2017,94	2272,73
Ed // depois	170°C-25%	4	4582,1625	145,61381	72,80690	4350,4584	4813,8666	4365,51	4678,97
	170°C-50%	4	5297,6300	644,83061	322,41530	4271,5606	6323,6994	4520,43	6051,76
	190°C-25%	4	4475,7450	265,89651	132,94826	4052,6443	4898,8457	4179,93	4790,86
	190°C-50%	4	5409,9025	115,13897	57,56949	5226,6907	5593,1143	5253,95	5526,87
	"Não tratado"	4	3980,7675	280,89747	140,44873	3533,7969	4427,7381	3607,29	4272,80
	Total	20	4749,2415	629,18064	140,68907	4454,7759	5043,7071	3607,29	6051,76
Ed _ _ depois	170°C-25%	4	2817,5300	214,88117	107,44058	2475,6061	3159,4539	2589,08	3078,51
	170°C-50%	4	3489,1200	230,46963	115,23481	3122,3914	3855,8486	3210,46	3755,94
	190°C-25%	4	2979,7625	131,82667	65,91334	2769,9968	3189,5282	2859,70	3140,48
	190°C-50%	4	3694,9475	165,03098	82,51549	3432,3464	3957,5486	3493,48	3895,87
	"Não tratado"	4	2500,9650	147,79677	73,89839	2265,7874	2736,1426	2312,47	2673,61
	Total	20	3096,4650	477,43048	106,75670	2873,0207	3319,9093	2312,47	3895,87

Densidade depois

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey B <sup>a</sup>	"Não tratado"	4	,58200	
	170°C-25%	4		,63200
	190°C-25%	4		,64175
	190°C-50%	4		,75050

170°C-50%	4			,75100
-----------	---	--	--	--------

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**V // depois**

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey B <sup>a</sup> "Não tratado"	4	2614,1025	
190°C-25%	4	2640,2050	
170°C-50%	4	2650,7075	
190°C-50%	4	2685,4925	
170°C-25%	4	2692,6125	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**V \_|\_ depois**

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey B <sup>a</sup> "Não tratado"	4	2072,6350	
170°C-25%	4	2110,0875	2110,0875
190°C-25%	4	2154,6350	2154,6350
170°C-50%	4	2154,8925	2154,8925
190°C-50%	4		2218,6100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**Ed // depois**

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey B <sup>a</sup> "Não tratado"	4	3980,7675	
190°C-25%	4	4475,7450	
170°C-25%	4	4582,1625	
170°C-50%	4		5297,6300
190°C-50%	4		5409,9025

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**Ed \_|\_ depois**

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3

Tukey B <sup>a</sup>	"Não tratado"	4	2500,9650		
	170°C-25%	4	2817,5300	2817,5300	
	190°C-25%	4		2979,7625	
	170°C-50%	4			3489,1200
	190°C-50%	4			3694,9475

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable				Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
Dens. Depois	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-25%	"Não tratado"	,050000*	,015423	,018	,00794	,09206
		170°C-50%	"Não tratado"	,169000*	,015423	,000	,12694	,21106
		190°C-25%	"Não tratado"	,059750*	,015423	,005	,01769	,10181
		190°C-50%	"Não tratado"	,168500*	,015423	,000	,12644	,21056
V // depois	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-25%	"Não tratado"	78,51000	49,99088	,363	-57,8308	214,8508
		170°C-50%	"Não tratado"	36,60500	49,99088	,874	-99,7358	172,9458
		190°C-25%	"Não tratado"	26,10250	49,99088	,957	-110,2383	162,4433
		190°C-50%	"Não tratado"	71,39000	49,99088	,441	-64,9508	207,7308
V _ _ depois	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-25%	"Não tratado"	37,45250	37,54395	,718	-64,9416	139,8466
		170°C-50%	"Não tratado"	82,25750	37,54395	,134	-20,1366	184,6516
		190°C-25%	"Não tratado"	82,00000	37,54395	,136	-20,3941	184,3941
		190°C-50%	"Não tratado"	145,97500*	37,54395	,005	43,5809	248,3691
Ed // depois	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-25%	"Não tratado"	601,39500	244,92269	,083	-66,5857	1269,3757
		170°C-50%	"Não tratado"	1316,86250*	244,92269	,000	648,8818	1984,8432
		190°C-25%	"Não tratado"	494,97750	244,92269	,179	-173,0032	1162,9582
		190°C-50%	"Não tratado"	1429,13500*	244,92269	,000	761,1543	2097,1157
Ed _ _ depois	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-25%	"Não tratado"	316,56500	128,74298	,083	-34,5574	667,6874
		170°C-50%	"Não tratado"	988,15500*	128,74298	,000	637,0326	1339,2774
		190°C-25%	"Não tratado"	478,79750*	128,74298	,007	127,6751	829,9199
		190°C-50%	"Não tratado"	1193,98250*	128,74298	,000	842,8601	1545,1049

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

## APÊNDICE 2 – Taxa de densificação, de compressão e perda de massa

### Descriptive Statistics

Temperatura	Mean	Std. Deviation	N
-------------	------	----------------	---



TxD	170	25	8,12750	1,281571	4
		50	25,99250	4,238092	4
		Total	17,06000	9,979465	8
	190	25	6,80750	,418758	4
		50	27,47250	3,087095	4
		Total	17,14000	11,232612	8
	Total	25	7,46750	1,129991	8
		50	26,73250	3,522490	8
		Total	17,10000	10,264355	16
TxC	170	25	14,83500	,924211	4
		50	27,20250	2,388645	4
		Total	21,01875	6,820028	8
	190	25	15,51000	,216179	4
		50	29,37250	1,711634	4
		Total	22,44125	7,495399	8
	Total	25	15,17250	,718525	8
		50	28,28750	2,246386	8
		Total	21,73000	6,961564	16
PM	170	25	7,92000	,142829	4
		50	8,35500	,370630	4
		Total	8,13750	,348825	8
	190	25	9,76000	,184210	4
		50	10,01250	,157348	4
		Total	9,88625	,208254	8
	Total	25	8,84000	,995289	8
		50	9,18375	,924352	8
		Total	9,01188	,944734	16

### TxD

Tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey	3	4	6,80750
HSD <sup>a</sup>	1	4	8,12750
	2	4	25,99250
	4	4	27,47250
	Sig.		,899
Tukey B <sup>a</sup>	3	4	6,80750
	1	4	8,12750
	2	4	25,99250
	4	4	27,47250

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**TxC**

Tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey 1	4	14,83500	
HSD <sup>a</sup> 3	4	15,51000	
2	4		27,20250
4	4		29,37250
Sig.		,924	,246
Tukey B <sup>a</sup> 1	4	14,83500	
3	4	15,51000	
2	4		27,20250
4	4		29,37250

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**PM**

Tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey 1	4	7,92000		
HSD <sup>a</sup> 2	4	8,35500		
3	4		9,76000	
4	4		10,01250	
Sig.		,087	,448	
Tukey B <sup>a</sup> 1	4	7,92000		
2	4		8,35500	
3	4			9,76000
4	4			10,01250

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

**Tests of Between-Subjects Effects**

Source		Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TxD	1492,427 <sup>a</sup>	3	497,476	67,893	,000
	TxC	698,342 <sup>b</sup>	3	232,781	97,641	,000
	PM	12,738 <sup>c</sup>	3	4,246	78,466	,000
Intercept	TxD	4678,560	1	4678,560	638,507	,000
	TxC	7555,086	1	7555,086	3169,008	,000
	PM	1299,422	1	1299,422	24012,423	,000

Temperatura	TxD	,026	1	,026	,003	,954
	TxC	8,094	1	8,094	3,395	,090
	PM	12,233	1	12,233	226,048	,000
Pressão	TxD	1484,561	1	1484,561	202,606	,000
	TxC	688,013	1	688,013	288,589	,000
	PM	,473	1	,473	8,734	,012
temperatura * pressão	TxD	7,840	1	7,840	1,070	,321
	TxC	2,235	1	2,235	,937	,352
	PM	,033	1	,033	,615	,448
Error	TxD	87,928	12	7,327		
	TxC	28,609	12	2,384		
	PM	,649	12	,054		
Total	TxD	6258,915	16			
	TxC	8282,037	16			
	PM	1312,810	16			
Corrected Total	TxD	1580,355	15			
	TxC	726,951	15			
	PM	13,388	15			

a. *R Squared* = ,944 (*Adjusted R Squared* = ,930)

b. *R Squared* = ,961 (*Adjusted R Squared* = ,951)

c. *R Squared* = ,951 (*Adjusted R Squared* = ,939)

### APÊNDICE 3 – Propriedades físicas

#### Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
						Lower Bound	Upper Bound		
IE2H	170°C-25%	16	5,8663	1,06988	,26747	5,2961	6,4364	3,52	7,41
	170°C-50%	16	8,6713	1,54235	,38559	7,8494	9,4931	5,61	11,20
	190°C-25%	16	3,5538	,44955	,11239	3,3142	3,7933	2,86	4,32
	190°C-50%	16	4,6575	,79406	,19851	4,2344	5,0806	3,47	6,36
	"Não tratado"	16	7,6706	,80964	,20241	7,2392	8,1021	6,04	9,17
	Total	80	6,0839	2,12968	,23811	5,6099	6,5578	2,86	11,20
IE4H	170°C-25%	16	9,5400	1,15711	,28928	8,9234	10,1566	7,33	11,53
	170°C-50%	16	14,3731	2,68646	,67162	12,9416	15,8046	10,15	18,47
	190°C-25%	16	5,8450	,51070	,12767	5,5729	6,1171	4,99	6,51
	190°C-50%	16	7,5663	1,18820	,29705	6,9331	8,1994	5,83	10,23
	"Não tratado"	16	12,6819	1,29268	,32317	11,9931	13,3707	10,73	15,33
	Total	80	10,0013	3,51118	,39256	9,2199	10,7826	4,99	18,47
IE8H	170°C-25%	16	14,6731	1,30868	,32717	13,9758	15,3705	12,83	17,28
	170°C-50%	16	23,5694	4,51585	1,12896	21,1630	25,9757	17,16	32,30

	190°C-25%	16	8,8563	,80310	,20078	8,4283	9,2842	7,64	10,25
	190°C-50%	15	11,4293	1,59989	,41309	10,5433	12,3153	9,05	14,12
	"Não tratado"	16	16,8850	1,63267	,40817	16,0150	17,7550	13,98	19,89
	Total	79	15,1289	5,59813	,62984	13,8749	16,3828	7,64	32,30
IE16	170°C-25%	16	19,5781	1,94981	,48745	18,5391	20,6171	16,99	23,69
	170°C-50%	16	32,2425	6,22971	1,55743	28,9229	35,5621	22,98	44,50
	190°C-25%	16	11,8969	,96116	,24029	11,3847	12,4090	10,12	13,52
	190°C-50%	15	15,8953	2,19627	,56707	14,6791	17,1116	12,42	19,41
	"Não tratado"	16	18,7256	1,96023	,49006	17,6811	19,7702	15,24	22,25
	Total	79	19,7154	7,59722	,85475	18,0138	21,4171	10,12	44,50
IE24H	170°C-25%	16	22,2931	2,43395	,60849	20,9962	23,5901	18,43	27,40
	170°C-50%	16	36,3256	6,50998	1,62750	32,8567	39,7945	26,15	50,11
	190°C-25%	16	13,9081	1,11596	,27899	13,3135	14,5028	12,17	15,64
	190°C-50%	15	19,2247	2,55213	,65896	17,8113	20,6380	14,90	23,42
	"Não tratado"	16	19,4144	2,01964	,50491	18,3382	20,4906	15,76	23,07
	Total	79	22,2713	8,35503	,94001	20,3998	24,1427	12,17	50,11
IE48H	170°C-25%	16	24,7538	2,90899	,72725	23,2037	26,3038	19,77	30,13
	170°C-50%	16	39,2813	6,57372	1,64343	35,7784	42,7841	28,66	53,34
	190°C-25%	16	16,6750	,96174	,24044	16,1625	17,1875	14,91	18,54
	190°C-50%	15	24,9047	2,48075	,64053	23,5309	26,2785	20,20	29,77
	"Não tratado"	16	20,3956	2,08379	,52095	19,2853	21,5060	16,54	24,18
	Total	79	25,2058	8,51049	,95751	23,2996	27,1121	14,91	53,34
IE72H	170°C-25%	16	25,5625	2,99602	,74900	23,9660	27,1590	20,22	31,18
	170°C-50%	16	40,7075	6,89552	1,72388	37,0331	44,3819	29,62	55,65
	190°C-25%	15	17,6387	,99765	,25759	17,0862	18,1911	16,05	19,89
	190°C-50%	15	27,0967	1,95604	,50505	26,0134	28,1799	23,02	30,74
	"Não tratado"	16	21,0088	2,26248	,56562	19,8032	22,2143	16,89	25,27
	Total	78	26,5063	8,75459	,99126	24,5324	28,4801	16,05	55,65
AA2H	170°C-25%	16	9,8775	2,08708	,52177	8,7654	10,9896	7,62	13,75
	170°C-50%	16	8,7938	1,37522	,34380	8,0609	9,5266	6,87	10,95
	190°C-25%	16	7,4381	1,57181	,39295	6,6006	8,2757	4,21	10,63
	190°C-50%	16	5,7944	1,34093	,33523	5,0798	6,5089	4,13	8,53
	"Não tratado"	13	22,2192	1,93342	,53624	21,0509	23,3876	19,54	25,87
	Total	77	10,3806	5,78563	,65933	9,0675	11,6938	4,13	25,87
AA4H	170°C-25%	16	15,3531	3,70246	,92562	13,3802	17,3260	10,24	21,24
	170°C-50%	16	14,3688	2,48133	,62033	13,0465	15,6910	11,10	18,68
	190°C-25%	16	10,6638	2,50765	,62691	9,3275	12,0000	6,60	16,92
	190°C-50%	16	8,4013	2,03197	,50799	7,3185	9,4840	5,55	13,26
	"Não tratado"	14	41,1279	7,19120	1,92193	36,9758	45,2799	23,80	52,26
	Total	78	17,3895	12,08433	1,36828	14,6649	20,1141	5,55	52,26
AA8H	170°C-25%	16	26,6381	5,71750	1,42937	23,5915	29,6848	17,73	37,67
	170°C-50%	16	27,1194	4,39813	1,09953	24,7758	29,4630	20,58	35,68
	190°C-25%	15	18,0500	2,90023	,74884	16,4439	19,6561	12,23	24,18
	190°C-50%	16	14,4213	3,84264	,96066	12,3737	16,4688	8,89	23,73
	"Não tratado"	13	64,8746	4,50596	1,24973	62,1517	67,5975	57,90	74,91

	Total	76	29,0129	17,67833	2,02784	24,9732	33,0526	8,89	74,91
AA16H	170°C-25%	16	41,7863	7,99856	1,99964	37,5241	46,0484	27,67	59,07
	170°C-50%	16	44,4825	5,38755	1,34689	41,6117	47,3533	34,49	52,99
	190°C-25%	15	27,2387	4,23653	1,09387	24,8926	29,5848	18,65	34,88
	190°C-50%	16	22,3969	6,41018	1,60254	18,9811	25,8126	10,36	37,28
	"Não tratado"	15	78,4633	5,54396	1,43144	75,3932	81,5335	66,83	88,49
	Total	78	42,6177	20,42507	2,31268	38,0125	47,2228	10,36	88,49
AA24H	170°C-25%	16	51,7350	8,04214	2,01053	47,4496	56,0204	37,52	67,95
	170°C-50%	16	54,9150	5,12646	1,28161	52,1833	57,6467	44,04	63,74
	190°C-25%	14	35,5386	4,52441	1,20920	32,9263	38,1509	26,63	44,14
	190°C-50%	16	29,8031	7,39641	1,84910	25,8619	33,7444	18,42	46,20
	"Não tratado"	15	85,0733	5,76579	1,48872	81,8803	88,2663	71,48	95,02
	Total	77	51,3882	20,23199	2,30565	46,7961	55,9803	18,42	95,02
AA48H	170°C-25%	16	66,8250	7,57753	1,89438	62,7872	70,8628	53,79	79,99
	170°C-50%	16	68,3200	5,14832	1,28708	65,5767	71,0633	60,80	77,30
	190°C-25%	15	51,7300	6,46272	1,66867	48,1511	55,3089	39,71	65,26
	190°C-50%	15	43,4633	8,78419	2,26807	38,5988	48,3279	29,70	60,23
	"Não tratado"	14	88,4929	4,57681	1,22320	85,8503	91,1354	81,25	97,87
	Total	76	63,5411	16,56892	1,90059	59,7549	67,3272	29,70	97,87
AA72H	170°C-25%	16	73,2813	7,62624	1,90656	69,2175	77,3450	60,69	87,16
	170°C-50%	16	73,2669	5,54257	1,38564	70,3134	76,2203	64,77	82,17
	190°C-25%	16	56,3956	8,52690	2,13172	51,8520	60,9393	40,45	70,91
	190°C-50%	16	49,9175	8,38840	2,09710	45,4476	54,3874	36,10	64,91
	"Não tratado"	14	91,1114	5,12388	1,36941	88,1530	94,0699	82,46	101,97
	Total	78	68,2223	15,94267	1,80515	64,6278	71,8168	36,10	101,97
TNRE	170°C-25%	16	14,0350	2,18550	,54638	12,8704	15,1996	9,91	17,08
	170°C-50%	16	24,8413	4,89390	1,22347	22,2335	27,4490	15,28	32,11
	190°C-25%	16	5,9313	1,21786	,30447	5,2823	6,5802	4,44	8,71
	190°C-50%	15	10,5207	1,95699	,50529	9,4369	11,6044	7,80	15,50
	"Não tratado"	15	11,4380	1,76959	,45691	10,4580	12,4180	8,20	13,95
	Total	78	13,4141	6,95635	,78765	11,8457	14,9825	4,44	32,11
TUE	170°C-25%	16	9,1113	,26825	,06706	8,9683	9,2542	8,69	9,62
	170°C-50%	16	8,8219	,21563	,05391	8,7070	8,9368	8,42	9,16
	190°C-25%	15	8,2107	,29268	,07557	8,0486	8,3727	7,62	8,69
	190°C-50%	15	8,0533	,22350	,05771	7,9296	8,1771	7,75	8,53
	"Não tratado"	16	10,1638	,39105	,09776	9,9554	10,3721	9,53	10,64
	Total	78	8,8912	,80750	,09143	8,7091	9,0732	7,62	10,64

## IE2H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
190°C-25%	16	3,5538				
190°C-50%	16		4,6575			

170°C-25%	16			5,8663		
"Não tratado"	16				7,6706	
170°C-50%	16					8,6713

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 16,000.

#### IE4H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
190°C-25%	16	5,8450				
190°C-50%	16		7,5663			
170°C-25%	16			9,5400		
"Não tratado"	16				12,6819	
170°C-50%	16					14,3731

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 16,000.

#### IE8H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
190°C-25%	16	8,8563				
190°C-50%	15		11,4293			
170°C-25%	16			14,6731		
"Não tratado"	16				16,8850	
170°C-50%	16					23,5694

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,789.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

#### IE16

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-25%	16	11,8969			
190°C-50%	15		15,8953		
"Não tratado"	16			18,7256	
170°C-25%	16			19,5781	
170°C-50%	16				32,2425

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,789.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### IE24H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
190°C-25%	16	13,9081		
190°C-50%	15		19,2247	
"Não tratado"	16		19,4144	
170°C-25%	16		22,2931	
170°C-50%	16			36,3256

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,789.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### IE48H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-25%	16	16,6750			
"Não tratado"	16		20,3956		
170°C-25%	16			24,7538	
190°C-50%	15			24,9047	
170°C-50%	16				39,2813

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,789.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### IE72H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-25%	15	17,6387			
"Não tratado"	16		21,0088		
170°C-25%	16			25,5625	
190°C-50%	15			27,0967	
170°C-50%	16				40,7075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,584.  
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**AA2H**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-50%	16	5,7944			
190°C-25%	16		7,4381		
170°C-50%	16		8,7938	8,7938	
170°C-25%	16			9,8775	
"Não tratado"	13				22,2192

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,294.  
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**AA4H**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
190°C-50%	16	8,4013		
190°C-25%	16	10,6638		
170°C-50%	16		14,3688	
170°C-25%	16		15,3531	
"Não tratado"	14			41,1279

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,556.  
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**AA8H**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
190°C-50%	16	14,4213		
190°C-25%	15	18,0500		
170°C-25%	16		26,6381	
170°C-50%	16		27,1194	
"Não tratado"	13			64,8746



Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,102.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### AA16H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
190°C-50%	16	22,3969		
190°C-25%	15	27,2387		
170°C-25%	16		41,7863	
170°C-50%	16		44,4825	
"Não tratado"	15			78,4633

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,584.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### AA24H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-50%	16	29,8031			
190°C-25%	14		35,5386		
170°C-25%	16			51,7350	
170°C-50%	16			54,9150	
"Não tratado"	15				85,0733

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,356.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### AA48H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-50%	15	43,4633			
190°C-25%	15		51,7300		

170°C-25%	16			66,8250	
170°C-50%	16			68,3200	
"Não tratado"	14				88,4929

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,162.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

### AA72H

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-50%	16	49,9175			
190°C-25%	16		56,3956		
170°C-50%	16			73,2669	
170°C-25%	16			73,2813	
"Não tratado"	14				91,1114

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,556.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

### TNRE

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-25%	16	5,9313			
190°C-50%	15		10,5207		
"Não tratado"	15		11,4380		
170°C-25%	16			14,0350	
170°C-50%	16				24,8413

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,584.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

### TUE

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
190°C-50%	15	8,0533			
190°C-25%	15	8,2107			
170°C-50%	16		8,8219		

170°C-25%	16		9,1113	
"Não tratado"	16			10,1638

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,584.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

### Multiple Comparisons

Dunnett t (2-sided)

Dependent Variable		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
IE2H	170°C-25%	"Não tratado"	-1,80438*	,35396	,000	-2,6875	-,9213
	170°C-50%	"Não tratado"	1,00063*	,35396	,021	,1175	1,8837
	190°C-25%	"Não tratado"	-4,11687*	,35396	,000	-5,0000	-3,2338
	190°C-50%	"Não tratado"	-3,01312*	,35396	,000	-3,8962	-2,1300
IE4H	170°C-25%	"Não tratado"	-3,14187*	,54543	,000	-4,5026	-1,7811
	170°C-50%	"Não tratado"	1,69125*	,54543	,010	,3305	3,0520
	190°C-25%	"Não tratado"	-6,83687*	,54543	,000	-8,1976	-5,4761
	190°C-50%	"Não tratado"	-5,11562*	,54543	,000	-6,4764	-3,7549
IE8H	170°C-25%	"Não tratado"	-2,21187*	,83936	,035	-4,3074	-,1164
	170°C-50%	"Não tratado"	6,68438*	,83936	,000	4,5889	8,7799
	190°C-25%	"Não tratado"	-8,02875*	,83936	,000	-10,1243	-5,9332
	190°C-50%	"Não tratado"	-5,45567*	,85323	,000	-7,5858	-3,3255
IE16	170°C-25%	"Não tratado"	,85250	1,14652	,871	-2,0099	3,7149
	170°C-50%	"Não tratado"	13,51687*	1,14652	,000	10,6545	16,3792
	190°C-25%	"Não tratado"	-6,82875*	1,14652	,000	-9,6911	-3,9664
	190°C-50%	"Não tratado"	-2,83029	1,16547	,059	-5,7400	,0794
IE24H	170°C-25%	"Não tratado"	2,87875	1,22998	,073	-,1920	5,9495
	170°C-50%	"Não tratado"	16,91125*	1,22998	,000	13,8405	19,9820
	190°C-25%	"Não tratado"	-5,50625*	1,22998	,000	-8,5770	-2,4355
	190°C-50%	"Não tratado"	-,18971	1,25031	1,000	-3,3112	2,9318
IE48H	170°C-25%	"Não tratado"	4,35812*	1,26030	,003	1,2117	7,5046
	170°C-50%	"Não tratado"	18,88562*	1,26030	,000	15,7392	22,0321
	190°C-25%	"Não tratado"	-3,72063*	1,26030	,015	-6,8671	-,5742
	190°C-50%	"Não tratado"	4,50904*	1,28113	,003	1,3106	7,7075
IE72H	170°C-25%	"Não tratado"	4,55375*	1,30341	,003	1,2974	7,8101
	170°C-50%	"Não tratado"	19,69875*	1,30341	,000	16,4424	22,9551
	190°C-25%	"Não tratado"	-3,37008*	1,32496	,045	-6,6802	-,0599
	190°C-50%	"Não tratado"	6,08792*	1,32496	,000	2,7778	9,3981
AA2H	170°C-25%	"Não tratado"	-12,34173*	,62635	,000	-13,8970	-10,7865
	170°C-50%	"Não tratado"	-13,42548*	,62635	,000	-14,9807	-11,8702
	190°C-25%	"Não tratado"	-14,78111*	,62635	,000	-16,3364	-13,2258

AA4H	190°C-50%	"Não tratado"	-16,42486*	,62635	,000	-17,9801	-14,8696
	170°C-25%	"Não tratado"	-25,77473*	1,43762	,000	-29,3509	-22,1986
	170°C-50%	"Não tratado"	-26,75911*	1,43762	,000	-30,3353	-23,1830
	190°C-25%	"Não tratado"	-30,46411*	1,43762	,000	-34,0403	-26,8880
AA8H	190°C-50%	"Não tratado"	-32,72661*	1,43762	,000	-36,3028	-29,1505
	170°C-25%	"Não tratado"	-38,23649*	1,63625	0,000	-42,3026	-34,1704
	170°C-50%	"Não tratado"	-37,75524*	1,63625	0,000	-41,8213	-33,6892
	190°C-25%	"Não tratado"	-46,82462*	1,66051	0,000	-50,9510	-42,6982
AA16H	190°C-50%	"Não tratado"	-50,45337*	1,63625	0,000	-54,5195	-46,3873
	170°C-25%	"Não tratado"	-36,67708*	2,18288	,000	-42,1195	-31,2346
	170°C-50%	"Não tratado"	-33,98083*	2,18288	,000	-39,4233	-28,5384
	190°C-25%	"Não tratado"	-51,22467*	2,21781	,000	-56,7542	-45,6951
AA24H	190°C-50%	"Não tratado"	-56,06646*	2,18288	,000	-61,5089	-50,6240
	170°C-25%	"Não tratado"	-33,33833*	2,28738	,000	-39,0456	-27,6310
	170°C-50%	"Não tratado"	-30,15833*	2,28738	,000	-35,8656	-24,4510
	190°C-25%	"Não tratado"	-49,53476*	2,36512	,000	-55,4360	-43,6335
AA48H	190°C-50%	"Não tratado"	-55,27021*	2,28738	,000	-60,9775	-49,5629
	170°C-25%	"Não tratado"	-21,66786*	2,45540	0,000	-27,7850	-15,5507
	170°C-50%	"Não tratado"	-20,17286*	2,45540	0,000	-26,2900	-14,0557
	190°C-25%	"Não tratado"	-36,76286*	2,49331	0,000	-42,9744	-30,5513
AA72H	190°C-50%	"Não tratado"	-45,02952*	2,49331	0,000	-51,2411	-38,8179
	170°C-25%	"Não tratado"	-17,83018*	2,64753	,000	-24,4160	-11,2443
	170°C-50%	"Não tratado"	-17,84455*	2,64753	,000	-24,4304	-11,2587
	190°C-25%	"Não tratado"	-34,71580*	2,64753	,000	-41,3017	-28,1299
TNRE	190°C-50%	"Não tratado"	-41,19393*	2,64753	,000	-47,7798	-34,6081
	170°C-25%	"Não tratado"	2,59700*	,98704	,035	,1361	5,0579
	170°C-50%	"Não tratado"	13,40325*	,98704	,000	10,9423	15,8642
	190°C-25%	"Não tratado"	-5,50675*	,98704	,000	-7,9677	-3,0458
TUE	190°C-50%	"Não tratado"	-,91733	1,00283	,766	-3,4176	1,5830
	170°C-25%	"Não tratado"	-1,05250*	,10110	,000	-1,3051	-,7999
	170°C-50%	"Não tratado"	-1,34187*	,10110	,000	-1,5945	-1,0893
	190°C-25%	"Não tratado"	-1,95308*	,10277	,000	-2,2098	-1,6963
	190°C-50%	"Não tratado"	-2,11042*	,10277	,000	-2,3672	-1,8537

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	216,524 <sup>a</sup>	3	72,175	64,243	,000
	614,120 <sup>b</sup>	3	204,707	78,117	,000
	1846,093 <sup>c</sup>	3	615,364	91,026	,000
	3474,239 <sup>d</sup>	3	1158,080	89,089	,000

	IE24H	4115,377 <sup>e</sup>	3	1371,792	91,809	,000	
	IE48H	3999,785 <sup>f</sup>	3	1333,262	85,179	,000	
	IE72H	4084,693 <sup>g</sup>	3	1361,564	81,702	,000	
	AA2H	132,582 <sup>h</sup>	3	44,194	20,002	,000	
	AA4H	460,130 <sup>i</sup>	3	153,377	23,351	,000	
	AA8H	1728,783 <sup>j</sup>	3	576,261	32,013	,000	
	AA16H	5062,846 <sup>k</sup>	3	1687,615	47,676	,000	
	AA24H	6531,369 <sup>l</sup>	3	2177,123	56,276	,000	
	AA48H	6440,138 <sup>m</sup>	3	2146,713	51,048	,000	
	AA72H	6000,359 <sup>n</sup>	3	2000,120	41,701	,000	
	TNRE	2935,808 <sup>o</sup>	3	978,603	107,639	,000	
	TUEq	10,663 <sup>p</sup>	3	3,554	57,502	,000	
	Tum	7955,994 <sup>q</sup>	3	2651,998	43,776	,000	
Intercept	IE2H	1848,281	1	1848,281	1645,162	,000	
	IE4H	4961,313	1	4961,313	1893,251	,000	
	IE8H	12301,397	1	12301,397	1819,657	,000	
	IE16	22779,827	1	22779,827	1752,406	,000	
	IE24H	30271,165	1	30271,165	2025,930	,000	
	IE48H	39631,545	1	39631,545	2531,965	,000	
	IE72H	43988,067	1	43988,067	2639,549	,000	
	AA2H	3686,701	1	3686,701	1668,590	,000	
	AA4H	8521,887	1	8521,887	1297,414	,000	
	AA8H	26815,122	1	26815,122	1489,658	,000	
	AA16H	66464,393	1	66464,393	1877,655	,000	
	AA24H	105795,631	1	105795,631	2734,679	,000	
	AA48H	188584,544	1	188584,544	4484,451	,000	
	AA72H	229807,213	1	229807,213	4791,329	,000	
	TNRE	10883,542	1	10883,542	1197,104	,000	
	TUE	4196,470	1	4196,470	67889,266	,000	
	Temperatura	IE2H	145,649	1	145,649	129,643	,000
		IE4H	405,351	1	405,351	154,683	,000
		IE8H	1151,255	1	1151,255	170,297	,000
		IE16	2055,579	1	2055,579	158,132	,000
IE24H		2306,868	1	2306,868	154,390	,000	
IE48H		1888,168	1	1888,168	120,631	,000	
IE72H		1702,505	1	1702,505	102,161	,000	
AA2H		99,967	1	99,967	45,245	,000	
AA4H		410,316	1	410,316	62,468	,000	
AA8H		1588,099	1	1588,099	88,224	,000	
AA16H		4751,656	1	4751,656	134,237	,000	
AA24H		6188,944	1	6188,944	159,976	,000	
AA48H		6020,612	1	6020,612	143,167	,000	
AA72H		5724,821	1	5724,821	119,359	,000	
TNRE		1841,945	1	1841,945	202,600	,000	
TUE		9,864	1	9,864	159,584	,000	
Pressão		IE2H	54,816	1	54,816	48,791	,000

	IE4H	159,475	1	159,475	60,856	,000
	IE8H	514,438	1	514,438	76,097	,000
	IE16	1064,808	1	1064,808	81,914	,000
	IE24H	1437,712	1	1437,712	96,220	,000
	IE48H	1831,161	1	1831,161	116,989	,000
	IE72H	2121,174	1	2121,174	127,283	,000
	AA2H	31,714	1	31,714	14,353	,000
	AA4H	44,642	1	44,642	6,797	,012
	AA8H	61,475	1	61,475	3,415	,070
	AA16H	45,017	1	45,017	1,272	,264
	AA24H	35,880	1	35,880	,927	,340
	AA48H	145,324	1	145,324	3,456	,068
	AA72H	152,692	1	152,692	3,184	,080
	TNRE	891,005	1	891,005	98,004	,000
	TUE	,664	1	,664	10,734	,002
Temperatura	IE2H	10,369	1	10,369	9,229	,004
* Pressão	IE4H	32,227	1	32,227	12,298	,001
	IE8H	121,285	1	121,285	17,941	,000
	IE16	235,143	1	235,143	18,089	,000
	IE24H	231,962	1	231,962	15,524	,000
	IE48H	149,578	1	149,578	9,556	,003
	IE72H	127,799	1	127,799	7,669	,008
	AA2H	2,331	1	2,331	1,055	,309
	AA4H	8,721	1	8,721	1,328	,254
	AA8H	93,379	1	93,379	5,187	,027
	AA16H	286,333	1	286,333	8,089	,006
	AA24H	325,229	1	325,229	8,407	,005
	AA48H	313,902	1	313,902	7,464	,008
	AA72H	151,349	1	151,349	3,156	,081
	TNRE	122,733	1	122,733	13,500	,001
	TUE	,079	1	,079	1,281	,263
Error	IE2H	60,667	54	1,123		
	IE4H	141,508	54	2,621		
	IE8H	365,055	54	6,760		
	IE16	701,955	54	12,999		
	IE24H	806,860	54	14,942		
	IE48H	845,234	54	15,652		
	IE72H	899,910	54	16,665		
	AA2H	119,311	54	2,209		
	AA4H	354,692	54	6,568		
	AA8H	972,046	54	18,001		
	AA16H	1911,468	54	35,398		
	AA24H	2089,080	54	38,687		
	AA48H	2270,861	54	42,053		
	AA72H	2590,010	54	47,963		
	TNRE	490,944	54	9,092		

Total	TUE	3,338	54	,062
	IE2H	2255,550	58	
	IE4H	6071,573	58	
	IE8H	15445,093	58	
	IE16	28655,768	58	
	IE24H	37293,449	58	
	IE48H	46734,813	58	
	IE72H	51276,748	58	
	AA2H	4106,517	58	
	AA4H	9824,399	58	
	AA8H	31187,953	58	
	AA16H	77925,649	58	
	AA24H	120978,860	58	
	AA48H	206447,567	58	
	AA72H	248530,983	58	
	TNRE	15384,325	58	
	Corrected Total	TUE	4298,523	
IE2H		277,191	57	
IE4H		755,629	57	
IE8H		2211,149	57	
IE16		4176,195	57	
IE24H		4922,238	57	
IE48H		4845,019	57	
IE72H		4984,603	57	
AA2H		251,893	57	
AA4H		814,822	57	
AA8H		2700,829	57	
AA16H		6974,314	57	
AA24H		8620,449	57	
AA48H		8711,000	57	
AA72H		8590,368	57	
TNRE		3426,752	57	
TUE		14,001	57	

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### Interação

#### IE - 2h

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4

3	16	3,552758			
4	16		4,657247		
1	16			5,865120	
2	16				8,670942

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 16,000.*

#### IE - 4h

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
3	16	5,844888			
4	16		7,565604		
1	16			9,540013	
2	16				14,373737

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 16,000.*

#### IE - 8h

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
3	16	8,855496			
4	15		11,429165		
1	16			14,674270	
2	16				23,569318

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

#### IE - 16h

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
3	16	11,896982			
4	15		15,895625		
1	16			19,577883	
2	16				32,242814

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*



**IE - 24h**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	16	13,907503		
4	15		19,225114	
1	16		22,293378	
2	16			36,325865

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**IE - 48h**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	16	16,675105		
1	16		24,754366	
4	15		24,903879	
2	16			39,282000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**IE - 72h**

Tukey B

Tratamento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	15	17,640229		
1	16		25,563188	
4	15		27,097242	
2	16			40,707850

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,484.

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

**AA8h**

Tukey HSD

tratamento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	16	14,4213	
3	15	18,0500	
1	16		26,6381
2	16		27,1194
Sig.		,101	,990

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

**AA16h**

Tukey HSD

tratamento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	16	22,3969	
3	15	27,2387	
1	16		41,7863
2	16		44,4825
Sig.		,137	,616

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,738.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

**AA24h**

Tukey HSD

tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	16	29,8031	
3	14	35,5386	
1	16		51,7350
2	16		54,9150
Sig.		,079	,530

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,448.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

**AA48h**

Tukey HSD

tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4	15	43,4633		
3	15		51,7300	
1	16			66,8250
2	16			68,3200
Sig.		1,000	1,000	,936

*Means for groups in homogeneous subsets are displayed.*

*a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,484.*

*b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.*

**TNRE**

Tukey HSD

tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
3	16	5,9313			
4	14		10,1650		
1	16			14,0350	
2	16				24,8413
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,448.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

#### APÊNDICE 4 – Propriedades mecânicas

##### Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
						Lower Bound	Upper Bound		
						MOR	170°C-25%		
	170°C-50%	16	29,7944	5,89716	1,47429	26,6520	32,9368	20,71	38,39
	190°C-25%	16	26,1300	4,49439	1,12360	23,7351	28,5249	18,27	33,33
	190°C-50%	16	30,1650	7,71002	1,92750	26,0566	34,2734	15,45	44,76
	"Não tratado"	16	25,1738	6,37397	1,59349	21,7773	28,5702	13,29	37,26
	Total	79	27,0519	6,11498	,68799	25,6822	28,4216	13,29	44,76
MOE	170°C-25%	16	4103,1225	454,08585	113,52146	3861,1572	4345,0878	3251,15	5024,50
	170°C-50%	16	4490,7569	644,49161	161,12290	4147,3315	4834,1822	3506,52	5376,67
	190°C-25%	11	4769,7918	136,91617	41,28178	4677,8103	4861,7734	4689,85	4982,97
	190°C-50%	16	5094,4075	897,33102	224,33276	4616,2536	5572,5614	3352,41	6425,45
	"Não tratado"	16	4398,8406	531,14449	132,78612	4115,8137	4681,8675	3515,63	5365,96
	Total	75	4558,1567	684,83656	79,07811	4400,5901	4715,7232	3251,15	6425,45
DURE	170°C-25%	15	3448,8593	495,64303	127,97448	3174,3814	3723,3373	2713,64	4513,59
ZA	170°C-50%	16	5434,2331	1052,24430	263,06107	4873,5317	5994,9345	3151,29	7307,54
	190°C-25%	16	3498,6981	497,56671	124,39168	3233,5635	3763,8327	2829,23	4564,10
	190°C-50%	15	5744,2133	1227,77094	317,00909	5064,2964	6424,1302	3338,53	7875,71
	"Não tratado"	16	2445,3194	396,94983	99,23746	2233,7997	2656,8390	1668,28	3130,61
	Total	78	4101,8987	1495,51264	169,33346	3764,7127	4439,0847	1668,28	7875,71
COMP	170°C-25%	16	13,2238	1,62483	,40621	12,3579	14,0896	10,08	15,27
	170°C-50%	16	15,9481	2,37700	,59425	14,6815	17,2147	11,32	20,33
	190°C-25%	16	13,8644	2,48403	,62101	12,5407	15,1880	8,26	17,73
	190°C-50%	16	15,0288	4,48664	1,12166	12,6380	17,4195	8,19	23,96
	"Não tratado"	16	11,9444	2,19736	,54934	10,7735	13,1153	7,24	15,30
	Total	80	14,0019	3,07395	,34368	13,3178	14,6859	7,24	23,96

##### Multiple Comparisons

Dependent Variable				Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
MOR	Dunnett t	170°C-25%	"Não tratado"	-1,38108	2,05181	,905	-6,5036	3,7414

MOE	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	170°C-50%	"Não tratado"	4,62063	2,01844	,082	-,4186	9,6598
		190°C-25%	"Não tratado"	,95625	2,01844	,971	-4,0829	5,9954
		190°C-50%	"Não tratado"	4,99125	2,01844	,053	-,0479	10,0304
		170°C-25%	"Não tratado"	-295,71813	214,72854	,458	-833,4675	242,0312
		170°C-50%	"Não tratado"	91,91625	214,72854	,980	-445,8331	629,6656
DUREZA	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	190°C-25%	"Não tratado"	370,95119	237,88130	,347	-224,7801	966,6825
		190°C-50%	"Não tratado"	695,56687*	214,72854	,007	157,8175	1233,3162
		170°C-25%	"Não tratado"	1003,53996*	289,07876	,003	281,3312	1725,7487
		170°C-50%	"Não tratado"	2988,91375*	284,37798	,000	2278,4490	3699,3785
COMP	Dunnett t (2-sided) <sup>a</sup>	190°C-25%	"Não tratado"	1053,37875*	284,37798	,002	342,9140	1763,8435
		190°C-50%	"Não tratado"	3298,89396*	289,07876	,000	2576,6852	4021,1027
		170°C-25%	"Não tratado"	1,27938	,99271	,509	-1,1973	3,7560
		170°C-50%	"Não tratado"	4,00375*	,99271	,001	1,5271	6,4804
		190°C-25%	"Não tratado"	1,92000	,99271	,173	-,5567	4,3967
		190°C-50%	"Não tratado"	3,08438*	,99271	,010	,6077	5,5610

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	MOR	305,695 <sup>a</sup>	3	101,898	3,823	,015
	MOE	5871178,334 <sup>b</sup>	3	1957059,445	5,089	,004
	DUREZA	59119559,307 <sup>c</sup>	3	19706519,769	23,766	,000
	COMP	62,199 <sup>d</sup>	3	20,733	2,225	,096
Intercept	MOR	41198,313	1	41198,313	1545,554	,000
	MOE	1171235417,956	1	1171235417,956	3045,787	,000
	DUREZA	1142820967,067	1	1142820967,067	1378,244	,000
	COMP	11460,373	1	11460,373	1230,062	,000
Temperatura	MOR	13,127	1	13,127	,492	,486
	MOE	4452543,034	1	4452543,034	11,579	,001
	DUREZA	552396,469	1	552396,469	,666	,418
	COMP	2,148	1	2,148	,231	,633
Pressão	MOR	241,188	1	241,188	9,048	,004
	MOE	1158793,373	1	1158793,373	3,013	,088
	DUREZA	57802747,481	1	57802747,481	69,710	,000
	COMP	50,331	1	50,331	5,402	,024
Temperatura * Pressão	MOR	34,276	1	34,276	1,286	,262
	MOE	6502,724	1	6502,724	,017	,897
	DUREZA	164048,844	1	164048,844	,198	,658
	COMP	6,454	1	6,454	,693	,409
Error	MOR	1386,113	52	26,656		
	MOE	19996222,949	52	384542,749		

Total	DUREZA	43117683,484	52	829186,221	
	COMP	484,479	52	9,317	
	MOR	44221,849	56		
	MOE	1218167360,633	56		
Corrected Total	DUREZA	1322359086,291	56		
	COMP	12409,003	56		
	MOR	1691,808	55		
	MOE	25867401,283	55		
	DUREZA	102237242,791	55		
	COMP	546,678	55		

a. *R Squared* = ,181 (*Adjusted R Squared* = ,133)

b. *R Squared* = ,227 (*Adjusted R Squared* = ,182)

c. *R Squared* = ,578 (*Adjusted R Squared* = ,554)

d. *R Squared* = ,114 (*Adjusted R Squared* = ,063)

#### APÊNDICE 5 – Fotos: tratamento termomecânico e ensaio de imersão



Figura 15. Coloração do painel termodensificado.



Figura 16. Espessura final do painel tratado.

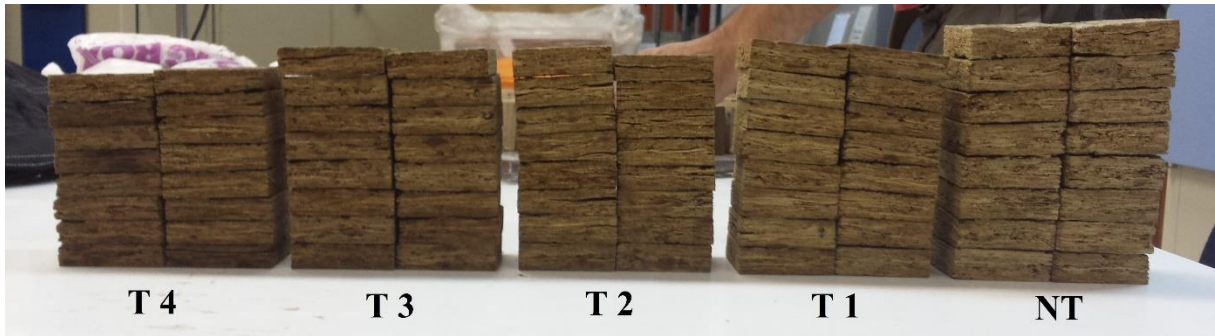


Figura 17. Painel seco em estufa após o ensaio de imersão de até 72h.

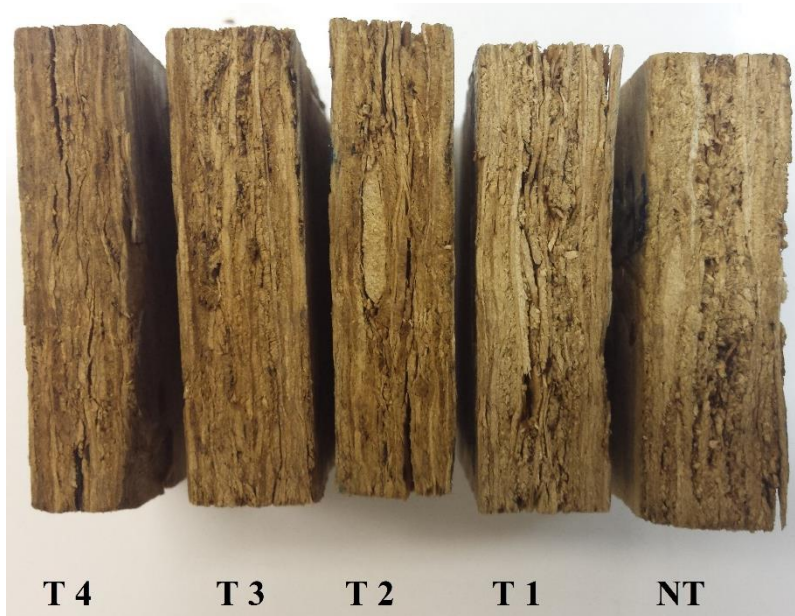


Figura 18. Espessuras dos materiais secos em estufa após o ensaio de imersão de 72h.