

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VINICIUS PEIXOTO TINTI

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE UMPAINELCOMERCIAL
DE PARTÍCULAS ORIENTADAS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

VINICIUS PEIXOTO TINTI

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE UM PAINEL COMERCIAL
DE PARTÍCULAS ORIENTADAS

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2011

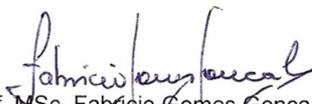
VINICIUS PEIXOTO TINTI

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE UM PAINEL COMERCIAL
DE PARTÍCULAS ORIENTADAS

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 21 de Novembro de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. MSc. Fabrício Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof.ª DSc. Graziela Baptista Vidaurre
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora



Prof. MSc. Djeison Cesar Batista
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

A Deus Pai todo poderoso, por me guiar e pelo dom da vida.

Aos meus pais, exemplo de vida, amor e compreensão.

Aos meus amigos, que apoiaram e ajudaram na realização deste trabalho.

"Deus não escolhe os capacitados,
capacita os escolhidos. Fazer ou não
fazer algo só depende da nossa vontade
e perseverança."

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de poder e glória, pela sabedoria, saúde, força e por iluminar o meu caminho.

A minha mãe, Juranir Peixoto Tinti, pelo amor, carinho, conselhos e confiança na minha capacidade; a meu pai, João Tinti, pelo grande exemplo na minha vida, pela educação, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho e incentivo nos momentos de dificuldade.

A Universidade Federal do Espírito Santo, por minha formação acadêmica.

Ao Laboratório de Ciências da Madeira (LCM) do Departamento de Engenharia Florestal (DEF) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela realização dos ensaios físicos e mecânicos, sendo parte fundamental para a execução desse trabalho.

Ao Professor Fabricio Gomes Gonçalves, pela orientação, disposição, amizade, estímulo, ajuda na execução do trabalho e, sobretudo humildade nos momentos de dificuldade, sendo capaz de transmitir seus conhecimentos e experiência, os quais serão levados ao longo da minha vida.

Ao Professor Juarez Benigno Paes pelo auxílio no início do trabalho.

Aos técnicos José Geraldo de Oliveira e Elecy Palácio Constantino (UFES) pelo apoio, compreensão e fundamental auxílio na preparação e condução dos testes laboratoriais.

Ao Leonardo Dantas Demoner e a Francielly Santiago pelo fornecimento do painel OSB para realização deste trabalho.

Ao aluno do curso de Engenharia Industrial Madeireira Dercilio Junior Verly Lopes e a mestranda em Ciências Florestais Flávia Maria Silva Brito, pela ajuda nos ensaios deste trabalho.

Aos alunos do curso de Engenharia Industrial Madeireira Rafael Andrade Souza e Rômulo Maziero, pela ajuda na confecção dos desenhos utilizando o software AutoCAD 2011®.

Aos meus amigos da primeira e segunda turma do curso de Engenharia Industrial Madeireira, pelo companheirismo, ajuda e superação diante das inúmeras dificuldades encontradas ao longo da graduação.

RESUMO

Os painéis de OSB são produtos utilizados para aplicações estruturais, como paredes, suporte para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens diversas e outros, em função de boas características de resistência mecânica e estabilidade dimensional. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento do painel de partículas orientadas disponível no mercado por meio de ensaios físicos como a determinação da umidade, da densidade, do inchamento em espessura e absorção de água, e ensaios mecânicos como a determinação da dureza Janka, da resistência ao arrancamento de parafuso, da resistência à flexão (Módulo de Ruptura) e à rigidez (Módulo de Elasticidade), e tração perpendicular em duas posições: borda e centro. Os resultados encontrados permitem afirmar que o painel comercial avaliado atende às principais normas existentes no mercado. À exemplo desta afirmação está a propriedade Módulo de Elasticidade, na posição borda no sentido paralelo, que apresentou valor 46,83% superior a norma americana ANSI A.208.

Palavras-chave: Propriedades tecnológicas. Painéis OSB. Qualidade do painel.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivo específico	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Caracterização do painel OSB	3
2.2 Propriedades Mecânicas.....	4
2.3 Propriedades físicas.....	4
3. METODOLOGIA.....	6
3.1 Origem do material.....	6
3.2 Obtenção dos corpos de prova	7
3.3 Propriedades físicas e mecânicas.....	8
3.3.1 Propriedade físicas	8
3.3.2 Propriedades mecânicas	9
3.4 Análise estatística	11
4. RESULTADOS DA PESQUISA.....	13
4.1 Avaliação das propriedades físicas do painel	13
4.2 Avaliação das propriedades mecânicas do painel	14
5. CONCLUSÃO.....	18
6. REFERÊNCIAS.....	19
APÊNDICES.....	21
Apêndice A1 – Análise estatística do Módulo de Ruptura (MOR).....	22
Apêndice A2 – Análise estatística do Módulo de Elasticidade (MOE).....	22
Apêndice A3 – Análise estatística do Inchamento em Espessura em 2 horas (IE 2h).....	22
Apêndice A4 – Análise estatística do Inchamento em Espessura em 24 horas (IE 24h)	22
Apêndice A5 – Análise estatística da Absorção de Água em 2 horas (AA 2h).....	23
Apêndice A6 – Análise estatística da Absorção de Água em 24 horas (AA 24h).....	23
Apêndice A7 – Análise estatística da dureza Janka.....	23
Apêndice A8 – Análise estatística do Arrancamento de Parafuso na superfície.....	23

Apêndice A9 – Análise estatística da Ligação Interna (LI).....	24
Apêndice A10 – Análise estatística da Densidade.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Valores médios para as propriedades físicas do painel comercial OSB	13
Tabela 2 – Valores médios para as propriedades mecânicas do painel comercial OSB para corpos de prova a 15% de Umidade.....	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da amostragem do painel OSB para avaliação das propriedades físicas e mecânicas.....	6
Figura 2 – Representação da amostragem dos corpos de prova do painel OSB.....	7

1. INTRODUÇÃO

Os painéis de partículas orientadas estruturais OSB (*Oriented Strand Board*) surgiram em meados da década de 1970 nos Estados Unidos da América e Canadá. Na década de 1980, o OSB foi muito propagado, resultando em novas unidades produtoras em várias regiões do mundo. No Brasil a primeira fábrica de OSB iniciou sua produção no início de 2002, com capacidade instalada de 350.000 m³.ano⁻¹ (IWAKIRI et al., 2004).

Os painéis OSB são produtos utilizados em aplicações estruturais, como paredes, suporte para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens diversas e outros, em função de boas características de resistência mecânica e estabilidade dimensional (CLOUTIER, 1998, citado por IWAKIRI et al., 2004).

Atualmente o uso do OSB se diversificou como, por exemplo, forro para telhados, empacotamento e engradamento, “pallets” para estocagem a seco, estandes para exibição, armações para mobília, assento e encosto de cadeira, tampos de mesa institucionais, miolo para composto destinado a piso de madeiras nobres, base para tampo de escrivaninha, construção de depósitos e tanques, tapumes e divisórias, fôrmas descartáveis para concreto, paredes de carroceria de caminhões, chalés rústicos, prateleiras e estantes (REMADE, 2003).

Esse tipo de painel vem ocupando lugar antes exclusivo do compensado, por vários motivos, tal como a redução de disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação. O OSB pode ser produzido com toras de pequeno diâmetro e comprimento e ainda com espécies de valor comercial não muito competitivo. No Brasil os painéis OSB são confeccionados basicamente com madeira de pinus.

Gouveia, Santana e Souza, (2000) mencionam que é possível fabricar tais painéis com preço competitivo conquistando mercados antes dominados pelo compensado, principalmente aqueles destinados às embalagens e construção civil.

A diferença dos painéis OSB para painéis de madeira aglomerada tradicionais é a utilização de partículas longas e finas, particularmente orientadas em uma determinada direção, conferindo assim uma boa resistência mecânica e boa estabilidade dimensional, por isto compete diretamente com o compensado (MENDES et al., 2000). Pode ser constituído por uma, três ou mais

camadas, semelhante ao compensado, e com orientação das partículas, o que permite a obtenção de propriedades mecânicas que se assemelham às da madeira maciça (SHALER, 1991, citado por GOUVEIA, VITAL e SANTANA, 2003).

As vantagens na utilização desse tipo de painel em relação à madeira sólida são muitas, tais como rendimento em relação ao volume das toras, diminuição da anisotropia, utilização de madeira de reflorestamento de rápido crescimento e madeiras de densidade média, conferindo ao painel rigidez suficiente para aplicação estrutural (MENDES e ALBUQUERQUE, 2000).

1.1 O problema e sua importância

O uso de painel OSB tem aumento em todo o mundo, por isso a importância de se conhecer as propriedades físicas e mecânicas desse material. Desta forma há a necessidade de se avaliar se os mesmos atendem aos requisitos mínimos de qualidade estabelecidas pelas normas vigentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar tecnologicamente um painel OSB comercial quanto à adequação aos padrões mínimos de qualidade exigidos pelas normas nacionais e internacionais.

1.2.2 Objetivo específico

Para o cumprimento do objetivo geral, foi necessário verificar se há diferença entre as propriedades físicas e mecânicas do centro e da borda do painel.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização do painel OSB

Os painéis de partículas orientadas estruturais OSB (*Oriented Strand Board*) são produzidos com madeira reflorestada de pinus com formato de partículas do tipo “strand” com a adição de resina a prova d’água (fenol-formaldeído) e parafina, orientadas em uma direção durante o processo de deposição e consolidados por meio de prensagem a quente, composto de três a cinco camadas (CLOUTIER, 1998, citado por MENDES et al., 2000).

Os parâmetros de maior relevância no processo de um painel de partículas são adensidade da madeira (MOSLEMI, 1974); geometria das partículas (PEIXOTO e BRITO, 2000); proporção da orientação das partículas em camadas face-centro do painel, conteúdo de umidade do colchão, teor de resina e parafina, tempo de fechamento da prensa e temperatura da prensagem (CLOUTIER, 1998, citado por MENDES et al., 2000).

O OSB normalmente é produzido em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas podem ser produzidos até a espessura de 38,0 mm. São produzidos em dimensões de 1.220 X 2.440 mm a dimensões de até 3.600 X 7.320 mm para usos industriais (REMADE, 2003).

Del Menezzi et al. (2007) afirmam que painéis OSB apresentam menor estabilidade dimensional comparados ao compensado, isto ocorre pela necessidade de compressão do material durante o processo de produção, gerando incorporação e permanência de elevados níveis de tensão após a consolidação do painel. Desta forma, quando o OSB é exposto ao ambiente, essas tensões de compressão são liberadas parcialmente, resultando o inchamento em espessura, cuja intensidade é superior à do compensado.

Segundo Moslemi (1974), os esforços para melhorar a estabilidade dimensional de painéis reconstituídos devem ser focados em dois aspectos básicos principais, a redução da higroscopicidade de madeira utilizada e a liberação de tensões impostas durante o processo de prensagem. De acordo com Del Menezzi (2004), o tratamento térmico após a produção do painel possibilita uma melhoria a estes dois principais fatores que influenciam a estabilidade dimensional do painel.

Segundo Maloney (1993) a geometria das partículas afetam as propriedades dos painéis OSB. No processo de formação de partículas, os elementos dimensionais a serem controlados são o comprimento, a largura e a espessura. As partículas do tipo “strand” possuem maior comprimento e largura quando comparadas com as partículas do tipo “sliver”, “flake” e “wafer”, o que proporciona melhores condições de orientação do OSB (MOSLEMI, 1974).

A relação do comprimento com a espessura das partículas é denominada razão de esbeltez, que influencia diretamente no aumento da resistência do painel à flexão estática (MALONEY, 1993). O mesmo autor ainda cita que aumentando-se a espessura das partículas e mantendo-se o comprimento constante, ocorre um aumento da disponibilidade de resina por unidade de área superficial para um mesmo teor de resina, resultando em maiores valores de ligação interna.

2.2 Propriedades Mecânicas

Estudos realizados por Zhang et al.(1998), apontam um aumento significativo nas propriedades do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em painéis produzidos com partículas ultrafinas (0,1 mm de espessura) nas camadas externas e de 0,5 mm na camada interna.

Os painéis de OSB são formados em camadas cruzadas que proporcionam boas propriedades de resistência ao arrancamento de pregos e parafusos. Os pregos e, ou, parafusos podem ser aplicados a uma distância mínima de 6,0 mm das bordas sem risco de rompimento, porém é recomendada uma distância mínima de 9,5 mm caso este painel tenha aplicação estrutural (REMADE, 2003).

2.3 Propriedades físicas

Como qualquer outro produto a base de madeira, o OSB reage à umidade. No entanto, pelas normas norte americanas, a exemplo dos US PS 2-92, o painel deve manter sua resistência e dureza em condições normais de temperatura e umidade ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $UR = 65 \pm 5\%$). O painel OSB deve manter sua resistência e dureza durante longos períodos construtivos (REMADE, 2003).

Segundo Zhou (1990), a faixa ideal de densidade dos painéis de OSB se encontra entre 0,65 e 0,70 g.cm⁻³. Porém Cloutier (1998), citado por Mendes et al. (2003), cita que no Canadá as indústrias produzem painéis com densidade de 0,63 a 0,65 g.cm⁻³.

Mendes (2001), afirma que quando se aumenta a densidade de painéis OSB de 0,65 para 0,80 g.cm⁻³ há uma elevação no módulo de elasticidade de 18% e 9% e no módulo de ruptura de 27% e 15%, na direção perpendicular e paralela, respectivamente.

Ainda de acordo com Mendes (2001), o aumento da densidade dos painéis OSB não afetou o inchamento em espessura após 2 horas de imersão, porém, há um aumento de 10% após 24 horas de imersão, para o mesmo intervalo de densidade citado anteriormente.

Segundo Sobral Filho (1981, citado por Mendes et al. 2003), com o aumento da densidade dos painéis de 0,67 para 0,73 g.cm⁻³, ocorre um aumento no módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna. No entanto, tal efeito da densidade não foi observado no inchamento em espessura e expansão linear. O autor ainda afirma que, ao se introduzir partículas menores há pequeno aumento na densidade dos painéis e queda na resistência à flexão e à rigidez.

Zhou (1990) observou que a densidade além de influenciar de maneira significativa nos módulos de ruptura, de elasticidade e na ligação interna, também altera a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos, absorção de água e inchamento em espessura. Com tudo, o autor, concluiu que a relação da densidade com estas propriedades não ocorre de forma linear.

3. METODOLOGIA

3.1 Origem do material

Foi avaliado um painel fornecido pelo representante estadual da única empresa fabricante do mesmo no país, LP Brasil (Louisiana-Pacific). O painel possuía dimensões de 1200 X 2400 mm e espessura de 9,5 mm, confeccionado com partículas de pínus. Segundo a empresa, o painel apresenta nas camadas externas utiliza resinas fenólicas (FF) e nas internas MDI (Difenilmetano diisocianato – são isocianatos mais comuns pelo mercado de poliuretano – PU). Esta resina garante alta adesão interna das partículas e resistência adequada para aplicações em ambientes externos como construções.

O painel foi dividido em quatro partes iguais de 600 X 1200 mm. Cada parte foi subdividida em borda e centro, com de 300 mm de largura para cada parte (Figura 1).

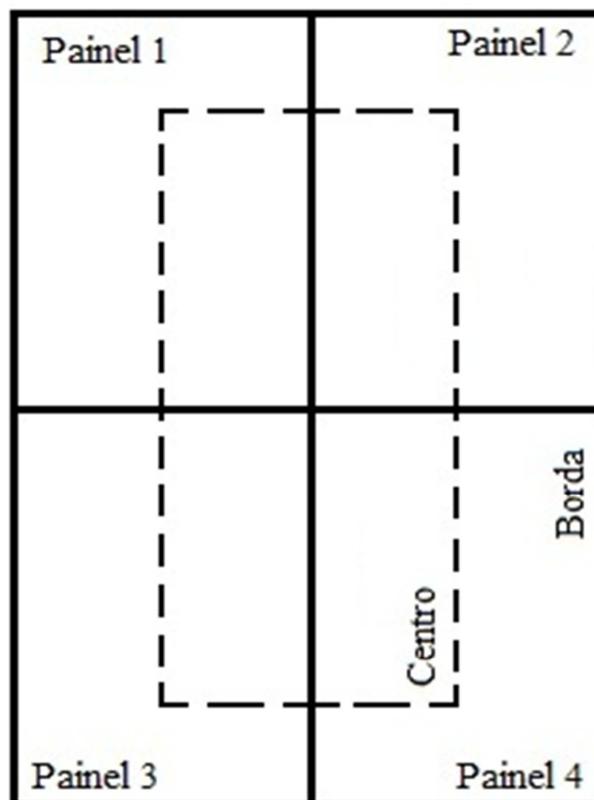


Figura 1 – Representação da amostragem do painel OSB para avaliação das propriedades físicas e mecânicas.

Fonte: O autor, 2011.

3.2 Obtenção dos corpos de prova

Na Figura 2 encontra-se a representação da obtenção dos corpos de prova para ensaios físicos e mecânicos nas posições centro e borda.

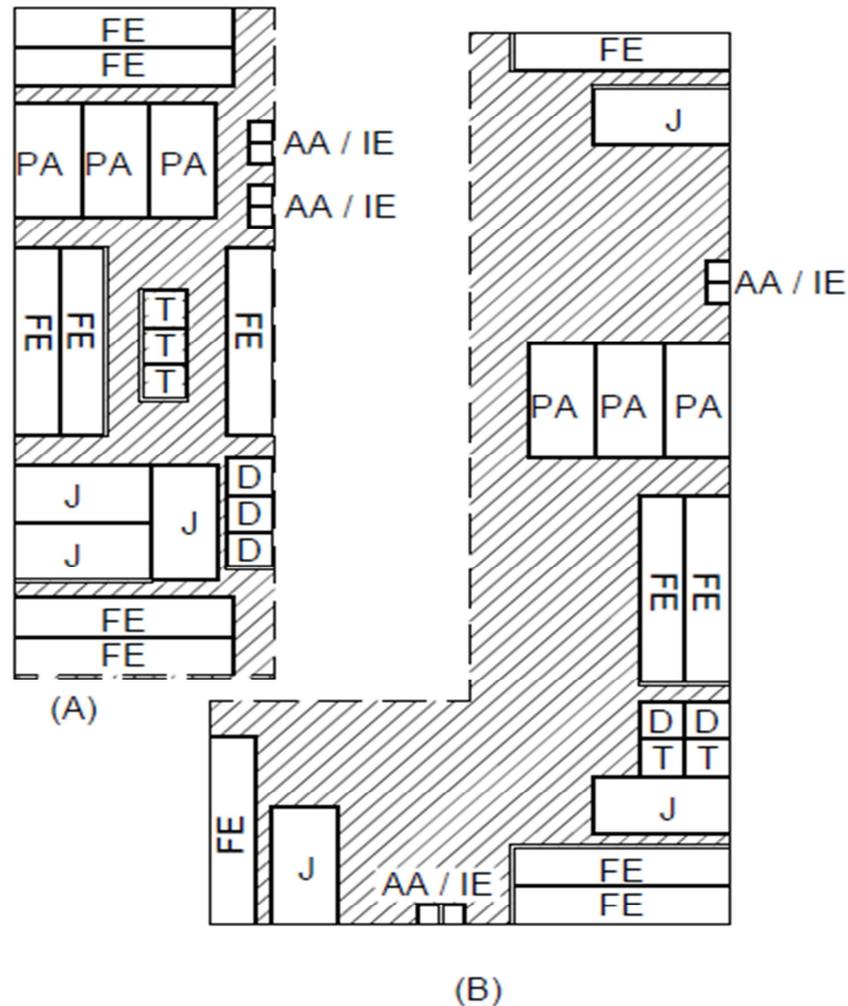


Figura 2 – Representação da amostragem dos corpos de provas do painel OSB. A: centro e B: borda. **FE**: Flexão Estática (250 X 50 mm); **J**: Dureza Janka (150 X 75mm); **PA**: Arrancamento de Parafuso (150 X 75 mm); **T**: Tração Perpendicular (Ligação interna) (50 X 50 mm); **D**: Densidade (50 X 50 mm); **AA**: Absorção de Água (25 X 25 mm); **IE** – Inchamento em Espessura (25 X 25 mm).

Fonte: O autor, 2011.

3.3 Propriedades físicas e mecânicas

A determinação das propriedades físicas e mecânicas seguiu o explicitado na Norma Brasileira - NBR 14810-3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2002).

Os corpos de prova foram climatizados durante 30 dias nas condições de $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de 20 ± 3 °C. O ensaio de flexão estática foi avaliado além da posição borda e centro, mas também em dois sentidos: perpendicular ao plano principal e paralelo.

3.3.1 Propriedade físicas

Para determinar a umidade, foram utilizados 10 corpos de prova (50 X 50 mm), os quais foram pesados em balança com precisão de 0,01 grama. Após foram secos em estufa a 103 ± 2 °C até peso constante (variação inferior a 0,1%), e novamente pesado. Não foi avaliado variação de umidade da borda e centro do painel, foram escolhidos de forma aleatória no painel.

A umidade foi obtida pela relação da diferença entre massa úmida e massa seca pela massa seca, com o resultado expresso em porcentagem.

Para a determinação da densidade do painel, utilizou-se 20 corpos de prova, sendo nove para borda e 11 para o centro, com dimensão de 50X50 mm, os quais foram medidos com paquímetro digital (precisão de 0,1 mm) nas dimensões comprimento e largura e com micrômetro a espessura, obtendo o volume. Posteriormente foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 grama, obtendo-se a massa. O valor da densidade foi encontrado mediante a relação da massa pelo volume, em g.cm^{-3} .

Para o inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA) foram utilizados 38 corpos de prova, sendo destes 17 para borda e 21 para centro, com as dimensão de 25 mm X 25 mm. Após obtido e identificado o corpo de prova, foram realizadas as determinações e anotações dos dados referentes à medição da espessura no centro do mesmo, com auxílio de um micrômetro digital (precisão de 0,001 mm), e sua massa determinada em balança analítica, com precisão de 0,01 grama.

A medição da espessura e massa foi feita após duas horas \pm três minutos e 24 horas \pm três minutos de imersão em água destilada, retirado o corpo de prova do recipiente, removendo o excesso de água com papel absorvente.

Para o cálculo de inchamento em espessura utilizou-se a seguinte equação (Equação 1):

$$I = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (1)$$

em que I é o inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem; E1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros; e E0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

Para o cálculo de absorção de água utilizou-se a seguinte equação (Equação 2):

$$A = \frac{M1-M0}{M0} \times 100 \quad (2)$$

em que A é absorção de água, em porcentagem; M1 é a massa do corpo de prova após a imersão, em gramas; e M0 é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas.

3.3.2 Propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios de 10 toneladas.

Para o ensaio de dureza Janka foram utilizados 20 corpos de prova, sendo cinco para borda e 15 para centro, com dimensões de 150 mm de comprimento por 75 mm de largura. Para tal, foram feitas duas penetrações em uma das faces do corpo de prova, com uma distância de 25 mm das laterais, separando-as o suficiente para que uma penetração não tenha nenhum efeito sobre a outra. A velocidade de carregamento utilizada foi de 6 mm por minuto. Os resultados foram expressos em megapascal, com exatidão de 1 MPa.

O ensaio de arrancamento de parafuso foi utilizado 10 corpos de prova, sendo cinco para borda e cinco para o centro, como o painel possuía uma espessura inferior ao estipulado pela norma, que é de 14 mm, procedeu-se a união de duas peças de 150 X 75 mm. Posteriormente foram perfuradas com uma broca de 2,8 mm, a uma profundidade de 17 mm, em um ponto central da superfície do corpo de prova.

Com o auxílio de uma guia, o parafuso foi introduzido no centro do corpo de prova. Na execução do ensaio acionou-se o sistema de tração com velocidade de 15 mm por minuto. Os resultados foram expressos em newtons, com exatidão de 0,1 N.

Para a realização do ensaio de resistência à flexão estática e à rigidez foram utilizados 54 corpos de prova; destes, 27 para centro com 15 paralelos e 15 perpendiculares e 27 para borda com 11 paralelos e 13 perpendiculares. As dimensões dos corpos de prova foram de 250 mm de comprimento por 50 mm de largura.

A velocidade de avanço da máquina foi calibrada para 6 mm/minuto uma vez que a espessura do painel utilizado estava entre 6 e 12 mm. Para o cálculo do módulo de ruptura (resistência à flexão estática) utilizou-se a seguinte equação (Equação 3):

$$MOR = 1,5 \frac{P \times D}{B \times (E)^2} \quad (3)$$

em que MOR é o módulo de ruptura, em megapascals; P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas, em newtons; D é a distância entre apoios do aparelho, em milímetros; B é a largura do corpo de prova, em milímetros; e E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

Para o cálculo do módulo de elasticidade (resistência à rigidez) utilizou-se a seguinte equação (Equação 4):

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (4)$$

em que MOE é o módulo de elasticidade, em megapascals; P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em newtons; D é a distância entre os

apoios do aparelho, em milímetros; d é a deflexão, em milímetros, correspondente à carga P_1 ; B é a largura do corpo de prova, em milímetros; e E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros;

O ensaio de ligação interna foi utilizado 20 corpos de prova, sendo sete para borda e 13 para o centro. As dimensões dos corpos de prova utilizados foram de 50 mm de comprimento por 50 mm de largura. Ambas as faces dos corpos de prova foram lixadas.

Os corpos de prova foram colados com duas peças de madeira, uma em cada face, com a utilização de um grampo de fixação por um tempo de 72 horas. Após a colagem, o conjunto formado pelo bloco de tração, foi acondicionado em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, por sete dias.

Após este período, acoplou-se o conjunto formado, no dispositivo específico máquina universal de ensaio, e regulada com uma velocidade de avanço de 4 mm/minuto. Para o cálculo deste ensaio utilizou-se a seguinte equação (Equação 5):

$$LI = P/S \quad (5)$$

em que LI é a resistência à ligação interna, em megapascals; P é a carga na ruptura, em newtons; e S é a área da superfície do corpo de prova, em milímetros quadrados.

3.4 Análise estatística

Os dados referentes a cada ensaio foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente Casualizado, em um nível de 95% de confiança. Havendo rejeição da hipótese nula, aplicou-se o teste de Tukey para diferenciação entre as médias.

Os resultados de inchamento em espessura e absorção de água foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$. Foi determinado ainda o índice de variação (Equação 6), pois este é mais preciso e considera o número de repetições desiguais, ao contrário do coeficiente de variação.

$$IV(\%) = CV / \sqrt{r} \quad (6)$$

em que IV (%) é o índice de variação, em porcentagem; CV, coeficiente de variação, em porcentagem; e r, número de repetições.

Foram utilizados seis tratamentos, sendo o tratamento um, com posição borda e sentido paralelo; tratamento dois, posição centro e sentido paralelo; tratamento três, posição borda e sentido perpendicular; e tratamento quatro, posição centro e sentido perpendicular. Todos para o ensaio de flexão estática.

Os tratamentos cinco e seis são para os demais ensaios, inchamento em espessura e absorção de água, densidade, dureza Janka, arrancamento de parafuso, e ligação interna, abordando apenas as posições borda e centro do painel.

4. RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Avaliação das propriedades físicas do painel

O painel comercial OSB apresentou um teor médio de umidade de 7,7%. A Tabela 1 apresenta os valores médios das propriedades físicas do painel OSB.

Tabela 1 – Valores médios para as propriedades físicas do painel comercial OSB

POSIÇÃO	DENSIDADE*** (g.cm ⁻³)	INCHAMENTO EM		ABSORÇÃO DE	
		ESPESSURA (%)		ÁGUA (%)	
		IE 2 horas	IE 24 horas	AA 2 horas	AA 24 horas
Borda	0,67 ^{NS}	1,86 ^{NS}	12,94* a	10,58 ^{NS}	35,54 ^{NS}
	(2,05)**	(6,36)	(3,23)	(8,97)	(2,56)
Centro	0,68	1,63	11,54 b	10,59	36,82
	(1,42)	(5,51)	(2,58)	(3,04)	(4,58)

^{NS}: Não significativo a 95% de probabilidade pelo teste F de Snedecor

* Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

** Valor entre parênteses é o Índice de Variação.

*** Umidade a 15%.

Não houve diferença significativa para esta característica, nas posições borda e centro, indicando boa formação do painel para a densidade. Os valores encontrados permitem classificar o painel como de média densidade, de acordo com a norma americana ANSI A208.1, a qual define o intervalo para esta classe de 0,64 a 0,80 g.cm⁻³. A densidade é de grande importância para os aspectos avaliativos das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, podendo a mesma influir significativamente sobre estas propriedades.

Os valores de IE duas horas não diferiram estatisticamente entre borda e centro, a média geral para este ensaio foi de 1,73%. Segundo a NBR 14810-2 o inchamento em espessura máximo para duas horas foi de 8%. Portanto, a formação do painel foi realizada de forma adequada e apresenta boa estabilidade dimensional.

Para o IE 24 horas, a norma NBR 14810-2 não estabelece um padrão, portanto utilizou-se a norma comercial americana CS 236-66. Essa norma estabelece um valor máximo de IE 24 igual a 30% para painéis de média densidade e classe

2.As médias obtidas para as posições borda e centro foram, respectivamente, iguais a 12,94% e 11,54%. Portanto, o painel analisado está dentro dos parâmetros normativos, apresentando uma boa estabilidade dimensional e boa homogeneidade.

Para os valores de AA 2h, tanto para borda como para centro não ocorreu diferença significativa. Após 24h também ocorreu a mesma tendência dos valores obtidos em duas horas de imersão.

Mendes (2001) estudou diferentes espécies de pinus e teores de resinas para a produção de painéis OSB, e obteve para absorção de água em duas horas, 10,17% para o *Pinus caribaea*, sendo este o maior valor, e o menor de 5,55% para mistura das seis espécies em estudo (*Pinus taeda*, *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus chiapensis*). Para o teste de 24 horas, o maior valor encontrado também foi para *Pinus caribaea* (28,38%) e o menor para o *Pinus oocarpa* (21,31%). Os valores de absorção de água após duas e 24 horas, do trabalho de Mendes (2001), foram menores do que os obtidos nesse trabalho.

4.2 Avaliação das propriedades mecânicas do painel

A Tabela 2 apresenta os valores médios para o módulo de elasticidade e ruptura, ligação interna, dureza Janka e arrancamento de parafuso do painel OSB avaliado.

Tabela 2 – Valores médios para as propriedades mecânicas do painel comercial OSB para corpos de prova a 15% de Umidade

PROPRIEDADE	POSIÇÃO			
	PERPENDICULAR		PARALELO	
	BORDA	CENTRO	BORDA	CENTRO
Módulo de Elasticidade (MPa)	3132,19* ^b (2,4)**	3174,83 b (7,54)	5885,15 a (5,79)	5478,73 a (4,57)
Módulo de Ruptura (MPa)	26,87 b (6,25)	22,63 b (5,69)	43,19 a (7,25)	39,99 a (5,28)
	BORDA		CENTRO	
Ligação Interna (MPa)	3,89 ^{NS} (7,54)		3,24 (10,16)	
Dureza Janka (MPa)	50,33 ^{NS} (6,38)		45,32 (3,55)	
Arrancamento de Parafuso (N)	1857,10 ^{NS} (6,57)		1676,94 (8,84)	

* Letras iguais na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste Tukey

** Valores entre parênteses é o índice de variação.

^{NS} Não significativo a 95% de probabilidade pelo teste F de Snedecor

Para o módulo de ruptura, as médias para borda e centro, tanto perpendicular como paralelo, não diferem entre si estatisticamente. Os maiores valores foram encontrados no sentido paralelo, para posição borda e centro, 43,19 MPa e 39,99 MPa, respectivamente. O valor para borda paralelo foi maior em função da formação do painel, colchão no sentido paralelo, possuindo mais camadas nesse sentido.

O valor mínimo exigido pela norma americana ANSI A208.1, para o módulo de ruptura é de 18,13 MPa, portanto, o painel em estudo apresentou um valor, na posição borda e sentido paralelo, 42% maior que o mínimo exigido pela norma americana ANSI A208.1.

Para o módulo de elasticidade, assim como para o módulo de ruptura, os valores não diferem estatisticamente na posição borda e centro e no sentido perpendicular e paralelo. Os maiores valores foram encontrados no sentido paralelo, para posição borda e centro, 5885,15 MPa e 5478,73 MPa, respectivamente.

O valor mínimo exigido pela norma americana ANSI A208.1 para o módulo de elasticidade é de 2756 MPa, portanto, na posição borda e sentido paralelo, o módulo de elasticidade apresentou valor maior que o exigido pela norma americana ANSI A208.1, com 46,83% superior. Assim como para o módulo de ruptura, o maior valor encontrado no módulo de elasticidade é explicado pela formação do painel.

Iwakiri et al. (2009) trabalharam com painéis OSB produzidos com diferentes espessuras de partículas, com 0,4; 0,7 e 1,0 mm, avaliaram módulo de elasticidade e

módulo de ruptura no sentido paralelo e perpendicular. Os resultados obtidos de MOE e MOR no sentido perpendicular apresentou a influência positiva da maior relação entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de esbeltez. Para a espessura de 0,7 mm, MOE paralelo obteve média de 5952 MPa, e perpendicular de 2919 MPa, sendo o painel avaliado inferior apenas no sentido paralelo.

Os valores do MOR no trabalho de Iwakiri et al. (2009) com 0,7 mm de espessura da partícula foi 43,60 MPa e 24,50 MPa, sentido paralelo e perpendicular, respectivamente. Assim, pode-se dizer que o painel avaliado possui valor praticamente igual no sentido paralelo, 43,19 MPa, e superior no sentido perpendicular, 26,87 MPa.

De acordo com Mendes (2001), painéis OSB produzidos com densidades nominais de 0,65 e 0,80 g.cm⁻³, obtiveram aumentos nas médias de MOE de 4557,5 para 5226,2 MPa, e do MOR de 41,1 para 47,6 MPa, respectivamente. Como a densidade do painel em estudo está por volta de 0,67 g.cm⁻³, comparando com o trabalho de Mendes (2001), apresenta valores consideráveis de MOE e MOR.

Em relação à ligação interna, as médias obtidas para as posições borda e centro não diferiram estatisticamente entre si, com médias de 3,89 MPa para borda e 3,24 MPa para centro. Com isso, o valor médio do painel é de 3,50MPa, sendo previsto na norma americana ANSI A208.1 um valor mínimo de 0,58 MPa. Portanto, o painel avaliado é 16,6% superior.

Mendes (2001), trabalhando com a resina fenol-formaldeído, com seis espécies de pinus, além da mistura destas, e com adição de 1% de parafina na produção dos painéis, encontrou valor médio de ligação interna para *Pinus taeda* sem adição de parafina igual a 0,71 MPa. Com esse resultado, o painel avaliado é 20,30% superior.

O ensaio de dureza Jankanão diferiu estatisticamente para borda e centro, respectivamente, 50,33 MPa e 45,32 MPa. O valor médio deste ensaio foi de 46,57 MPa, valor inferior ao encontrado por Okino et al. (2008) para partículas OSB de *Eucalyptus grandis*, encontrou 102,31 MPa, sendo 4,6 vezes superior ao mínimo requerido pela norma canadense CSA 0437.0 (22,24 MPa) para painéis de tipo *strand*. Porém, o valor médio do painel avaliado atende o valor mínimo exigido pela norma canadense CSA 0437.0, sendo 47,76% superior.

O resultado obtido por Okino et al. (2008) não foi surpreendente, pelo motivo de terem trabalhado com madeira de *Eucalyptus grandis*, uma vez que a norma canadense CSA 0437.0 é regulamentada para madeira de pinus.

O arrancamento de parafuso na superfície não apresentou diferença estatística entre borda e centro, respectivamente, 1857,10 N e 1676,94 N, média de 1767 N. A norma americana ANSI A208.1, exige valor mínimo para este ensaio de 900 N, com isso o painel é 50,93% mais resistente ao arrancamento de parafuso na superfície do que previsto na norma.

Gouveia, Vital e Santana (2003) obtiveram em seu trabalho, que consistiu na produção de painéis OSB de três camadas com mistura de partículas “strand”, finas e longas, de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, encontraram para a taxa de 8% de adesivo fenólico 2185 N.

O presente trabalho não foi superior ao encontrado por Gouveia, Vital e Santana (2003), porém vale ressaltar que os painéis dos autores não foram produzidos com 100% de madeira de pinus, sendo composto por 50% com *Eucalyptus grandis* e os outros 50% com *Pinus elliottii*.

5. CONCLUSÃO

O painel comercial de partículas orientadas avaliado apresentou propriedades tecnológicas satisfatórias, atendendo ao especificado pelas normas NBR 14810-2, americana ANSI A208.1, comercial americana CS 236-66 e canadense CSA 0437.0. À exceção ocorreu para a absorção de água no período de duas e 24 horas, as quais não atingiram valores encontrados em artigos científicos.

Os valores para borda e centro do painel nas propriedades mecânicas, não diferiram estatisticamente entre si, indicando boa formação do mesmo. Porém, os valores obtidos para o módulo de ruptura e elasticidade no sentido paralelo foram maiores em função da formação do painel, colchão no sentido paralelo, assim possuindo mais camadas nesse sentido.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUT – ANSI. **ANSI A208.1**: Particleboard. Washington, 1999. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2002. 32p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION – CSA. **CSA 0437.0**: OSB and Waferboard. Ontario, 1993. 18p.

COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard**. CS 236-66. 1968.

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 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill exMadien e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não-orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.24, n.1, p.7-12, 2000.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estruturas de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.3, p. 365-370, maio. 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, MG, v.10, n.1, p.46-52, 2004.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas – OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, MG, v.15, n.1, p.116-122, 2009.

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

MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

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.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board). **Cerne**, Lavras, MG, v.6, n.1, p.1-8, 2000.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painel OSB. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.10, n.1, p.1-17, 2003.

MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, MG, v.13 n.3, p.257-263, 2007.

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

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E. de. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.78, p.123-131, jun. 2008.

PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação de granulometria de partículas de *Pinustaeda* combinadas com adesivos comerciais para fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.7, n.1, p.60-67, 2000.

Revista da Madeira – REMADE. OSB: opção de mercado. Ed. Nº 71, maio, 2003. 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: 07 mai. 2011.

ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, n. 3, p. 191-197, 1998.

ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar: Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v.48, n.7-8, p.293-296, 1990.

APÊNDICES

Apêndice A1 – Análise estatística do Módulo de Ruptura (MOR)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	3	397104,7	132368,2	236,33 *
Resíduos	50	280046,4	5600,93	-

*Significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A2 – Análise estatística do Módulo de Elasticidade (MOE)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	3	8502708000	2834236000	0,365 *
Resíduos	50	3883301000	77666020	-

*Significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A3 – Análise estatística do Inchamento em Espessura em 2 horas (IE 2h)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Tratamento	1	0,053	0,053	2,308 ^{NS}
Resíduos	36	0,821	0,023	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A4 – Análise estatística do Inchamento em Espessura em 24 horas (IE 24h)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	0,352	0,352	7,197 *
Resíduos	36	1,76	0,049	-

*Significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A5 – Análise estatística da Absorção de Água em 2 horas (AA 2h)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	0,10	0,10	0,067 ^{NS}
Resíduos	36	5,47	0,152	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A6 – Análise estatística da Absorção de Água em 24 horas (AA 24h)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	0,039	0,039	0,12 ^{NS}
Resíduos	36	11,81	0,328	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A7– Análise estatística da dureza Janka

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	14887,5	14887,5	0,038 ^{NS}
Resíduos	9	35673,5	3963,7	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A8– Análise estatística do Arrancamento de Parafuso na superfície

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	922,32	922,32	0,008 ^{NS}
Resíduos	9	11058,67	1228,74	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A9– Análise estatística da Ligação Interna (LI)

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	211,2	211,2	0,018 ^{NS}
Resíduos	9	1032,8	114,756	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.

Apêndice A10 – Análise estatística da Densidade

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F_c
Tratamento	1	0,0005	0,0005	0,3472 ^{NS}
Resíduos	18	0,0235	0,0013	-

^{NS}Não significativo a 5% de significância pelo teste F de Snedecor.

Fonte: Dados dessa pesquisa.