

FLÁVIA ALVES PEREIRA

**PROPRIEDADES DE PAINÉIS TIPO OSB, FABRICADOS COM FLOCOS DE
Eucalyptus grandis TRATADOS TERMICAMENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436p
2013

Pereira, Flávia Alves, 1981-

Propriedades de painéis tipo OSB, fabricados com flocos de
Eucalyptus grandis tratados termicamente / Flávia Alves
Pereira. – Viçosa, MG, 2013.

xiii, 66f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Orientador: Benedito Rocha Vital

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 61-66

1. Madeira – Tratamento térmico. 2. *Eucalyptus grandis*.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.98422

FLÁVIA ALVES PEREIRA

**PROPRIEDADES DE PAINÉIS TIPO OSB, FABRICADOS COM FLOCOS DE
Eucalyptus grandis TRATADOS TERMICAMENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 21 de janeiro de 2013.

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Coorientadora)

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho
(Coorientadora)

Graziela Baptista Vidaurre

Daniel Câmara Barcellos

Benedito Rocha Vital
(Orientador)

*Aos meus pais Geraldo e Názia.
Ao meu namorado Gilberto.
Às minhas irmãs Fabiana e Hélia.
Aos meus sobrinhos Heitor e Davi.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo e por me fazer tão feliz.

A meus pais Geraldo e Názia, pelo grande amor, incentivo e ajuda.

À Gilberto, pela ajuda na tese e na vida, pelo amor e infinita paciência.

Às minhas irmãs Fabiana e Hélia e aos meus cunhados Fabiano e Osvaldo, pela torcida.

Aos meus sobrinhos Heitor e Davi, por alegrarem nossas vidas.

Ao Professor Benedito, pela orientação, pelas sugestões, pela paciência e pela amizade.

À Professora Angélica de Cássia, por acreditar em mim e me fazer ver que sempre é possível melhorar.

À Daniel Barcellos e às Professoras Ana Márcia e Graziela, pelas correções e sugestões na tese.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela formação científica e pelos amigos que fiz.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fapemig, pelo apoio financeiro ao projeto.

Aos meus amigos, por fazerem esses anos de Viçosa muito mais divertidos.

Aos meus estagiários (“filhos”) Igor, Juliana, Emylle, Vinícius, Vítor e Nívea, pela gigantesca ajuda em todas as fases do experimento.

Aos meus amigos do coração Felipe Alcides e Mary, por me ajudarem sempre que precisei e por terem corações tão grandes e tão bons.

A Glauciana, Gláucia, Dona Honorina, Sr. Assis e Jaqueline, por me receberam em suas casas quando eu precisei e por serem tão gentis e atenciosos.

A todos os meus amigos que estiveram presentes nesses anos de UFV.

Aos funcionários e meus amigos do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira e do Laboratório de Propriedades da Madeira, pela valiosa contribuição.

Aos Professor Maurício e ao Laboratorista José Francisco, pelas análises de Difração de Raios X.

À família LAPEM, pela torcida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Os que confiam no SENHOR serão como o Monte de Sião, que não se abala, mas permanece para sempre.

Salmos 125:1

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS E QUADRO	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 OSB (Oriented Strand Board).....	4
2.2 Tratamento Térmico: Conceitos e Aplicações	6
2.3 Modificações químicas devido à temperatura	7
2.4 Ambientes de aquecimento dos tratamentos térmicos	9
3.5 Tratamento térmico de painéis de madeira e flocos.....	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1 Preparação dos flocos	14
4.2 Tratamento térmico	15
4.3 Determinação das propriedades do adesivo fenol-formaldeído.....	16
4.4 Capacidade tampão	16
4.5 Transferência de calor.....	16
4.6 Análise termogravimétrica (TGA) dos flocos.....	17
4.7 Cristalinidade da celulose	17
4.8 Manufatura dos painéis de OSB e determinação de suas propriedades.....	19
4.9 Delineamento experimental	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 Capacidade tampão e pH	22
5.2 Transferência de calor.....	24
5.3 Índice de cristalinidade da celulose	26

5.3 Análise termogravimétrica (TGA).....	28
5.4 Perda de massa.....	33
5.5 Higroscopicidade	34
5.6 Densidade dos painéis.....	36
5.7 Umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis.....	36
5.8 Absorção dos painéis OSB após 2 e 24 horas de imersão em água e Adsorção de umidade a 90% de umidade relativa do ar (90% UR)	41
5.9 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e Inchamento em espessura a 90% de umidade relativa do ar (90% UR).....	46
5.10 Tração perpendicular	52
5.11 Dureza Janka	53
5.12 Arrancamento de parafuso	54
5.13 Módulo de ruptura à flexão estática.....	56
5.14 Módulo de elasticidade à flexão estática	58
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Propriedades do adesivo fenol-formaldeído 16
- Tabela 2** - Valores médios da temperatura em função do tempo de prensagem em painéis OSB, com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente por 1 h e a testemunha .. 24
- Tabela 3** - Valores médios da temperatura final no centro dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente por 1 h..... 26
- Tabela 4** - Valores médios de perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura de pré-tratamento 29
- Tabela 5** - Valores médios de perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento..... 31
- Tabela 6** - Valores médios da perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento 34
- Tabela 7** - Valores médios da higroscopicidade dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, 5 min depois de retirados da autoclave, em função do tempo de pré-tratamento 35
- Tabela 8** - Valores médios da higroscopicidade dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, 15 min depois de retirados da autoclave, em função do tempo e da temperatura de pré-tratamento 35
- Tabela 9** - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura, comparados à testemunha..... 36
- Tabela 10** - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente, comparados à testemunha..... 37
- Tabela 11** - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e a umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do tempo, comparados à testemunha 37
- Tabela 12** - Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento 38
- Tabela 13** - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do tempo e da temperatura de pré-tratamento..... 39
- Tabela 14** - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento 40

Tabela 15 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função da temperatura, comparados à testemunha.....	41
Tabela 16 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do tempo, comparados à testemunha.....	42
Tabela 17 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função da temperatura de pré-tratamento.....	42
Tabela 18 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função do tempo de pré-tratamento	43
Tabela 19 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 24 h de imersão, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento.....	44
Tabela 20 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 24 h de imersão, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento	44
Tabela 21 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função da temperatura, comparados à testemunha.....	46
Tabela 22 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do ambiente, comparados com a testemunha	47
Tabela 23 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do tempo e da temperatura, comparados à testemunha de pré-tratamento.....	47
Tabela 24 - Valores médios de inchamento em espessura a 90% de UR e do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento	48
Tabela 25 - Valores médios de inchamento em espessura a 90% de UR e o inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento	49
Tabela 26 - Valores médios do inchamento em espessura a 90% de UR e do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente após 2 h de imersão, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento	51

Tabela 27 - Valores médios de tração perpendicular dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento	52
Tabela 28 - Valores médios da dureza Janka dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente em função da temperatura de pré-tratamento. 53	
Tabela 29 - Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento.....	54
Tabela 30 - Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento	55
Tabela 31 - Valores médios do módulo de ruptura, nos sentidos perpendicular e paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente em função da temperatura, comparados à testemunha	56
Tabela 32 - Valores médios do módulo de ruptura, no sentido paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento	57
Tabela 33 - Valores médios do módulo de ruptura, no sentido paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento	57
Tabela 34 - Valores médios do módulo de ruptura, no sentido perpendicular, dos painéis produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento	58
Tabela 35 - Valores médios do módulo de elasticidade dos painéis produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento	59
Tabela 36 - Valores médios do módulo de elasticidade, no sentido paralelo, dos painéis produzidos com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento	60

LISTA DE FIGURAS E QUADRO

Figura 1 - Orientação perpendicular dos flocos da camada interna em relação às da face (MENDES, 2001).	5
Figura 2 - Orientação aleatória dos flocos da camada interna (MENDES, 2001).	5
Figura 3 - Produção dos flocos: 1- tábua, 2 - baguetas, 3 - vorte e 4 - partícula gerada (Adaptado de MENDES, 2001).	14
Figura 4 - Esquema de retirada de corpos de prova (adaptado de CABRAL, 2010), em que TP- tração perpendicular; Par – arrancamento de parafuso; DEN e UM – densidade e umidade; DJ – dureza Janka..	19
Figura 5 - Valores médios de pH de flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente em 180, 200 ou 220 °C e testemunha com ou sem a adição de 1mL de H ₂ SO ₄ (0,025 N) em solução aquosa.	22
Figura 6 - pH e capacidade tampão dos flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente a 180 °C (A), 200 °C (B) e 220 °C (C) e testemunha (D).	23
Figura 7 - Transferência de calor até o centro dos painéis OSB, com flocos de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente por 1 hora e testemunha.	24
Figura 8 - Difratoograma de raio-X dos flocos tratados a 180° em ambiente com nitrogênio: A – 180°C sem nitrogênio; B – 180°C com nitrogênio; C – 200°C sem nitrogênio; D – 200°C com nitrogênio; E - 220°C sem nitrogênio; F – 220°C com nitrogênio.....	27
Figura 9 - Valores médios do índice de cristalinidade de flocos de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> tratados termicamente.....	28
Quadro 1 - Propriedades requeridas para painéis de flocos.	20

RESUMO

PEREIRA, Flávia Alves, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2013. **Propriedades de painéis tipo OSB, fabricados com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente**, Orientador: Benedito Rocha Vital. Coorientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

Tratamentos térmicos podem ser utilizados para melhorar a estabilidade dimensional, mediante modificações químicas dos constituintes químicos da madeira e de seus derivados. O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades de painéis OSB produzidos com flocos de madeira de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente. Esses tratamentos foram realizados nas temperaturas de 180, 200 e 220 °C, por 30, 60, 90 e 120 min, em autoclave com nitrogênio ou a vácuo. Os painéis foram produzidos com 8% do adesivo fenol-formaldeído e prensados a 32 kgf/cm² por 8 min, a 170 °C. As propriedades dos painéis foram determinadas conforme a norma da ABNT: NBR 14810-3. Os resultados foram comparados aos das normas ANSI/A – 208.1 (1993) e CSA 0437-93 (1993). De acordo com os resultados, a umidade de equilíbrio dos painéis, a absorção de água e o inchamento em espessura, após 24 h de imersão, foram reduzidos pelos tratamentos térmicos dos flocos. A densidade dos painéis não foi afetada pelos tratamentos térmicos e teve média igual a 0,70 g/cm³. A temperatura dos painéis fabricados com flocos tratados termicamente é mais elevada ao término da prensagem. A massa residual dos flocos tratados termicamente foi superior à testemunha ao término das análises termogravimétricas (450 °C), e as menores médias foram observadas no ambiente com nitrogênio. Os tratamentos térmicos em temperaturas de 220 °C são recomendados quando a maior estabilidade dimensional dos painéis é necessária. Entretanto, essas altas temperaturas propiciam maior perda de massa e, conseqüentemente, algumas propriedades mecânicas podem ser prejudicadas e limitar seu uso. Dessa forma, recomenda-se o emprego de temperaturas mais baixas, a 180 °C. A utilização do nitrogênio não melhorou, de modo geral, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, portanto sua utilização não é necessária, uma vez que a introdução desse gás no tratamento térmico dos flocos envolve custo adicional aos painéis.

ABSTRACT

PEREIRA, Flávia Alves. D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2013. **Property type OSB panels, manufactured with strands *Eucalyptus grandis* heat treated**, Advisor: Benedito Rocha Vital. Co-advisers: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

Heat treatments can be used to improve the dimensional stability by chemical modifications of the constituents of wood and its derivatives. The aim of this study was to determine the properties of oriented strand board produced with heat treated *Eucalyptus grandis* strands. These treatments were carried out at temperatures of 180, 200 and 220°C, for 30, 60, 90 and 120 min in autoclave with nitrogen or vacuum. Oriented strand board were produced with 8% of phenol formaldehyde adhesive and pressed at 32 kgf/cm² for 8 min at 170°C. The properties of the panels were determined according to ABNT: NBR 14810-3. The results were compared with ANSI/A-208.1 (1993) and CSA 0437-93 (1993). According to the results, the equilibrium moisture content of the panels, water absorption and thickness swelling after 24 h of immersion were reduced by thermal treatment of the strands. The density of the panels was not affected by heat treatment with a mean of 0.70 g/cm³. The temperature of the boards manufactured with heat-treated strand is higher at the end of pressing. The residual mass of heat treated strand was higher than control at the end of thermogravimetric analysis (450°C), and the lowest averages were observed in the environment with nitrogen. The thermal treatments at temperatures of 220°C are recommended when higher dimensional stability of the OSB is required. However, these high temperatures provide higher mass loss and hence the mechanical properties may be impaired and limit its use. Therefore, it is recommended the use of lower temperatures to 180°C. The use of nitrogen does not improve, in general, the physical and mechanical properties of oriented strand board therefore its use is not necessary, since the introduction of this gas in the heat treatment of the strands involves additional cost to the oriented strand board.

INTRODUÇÃO

O tratamento térmico da madeira e de seus derivados visa reduzir a higroscopicidade e melhorar sua estabilidade dimensional. Apesar de o termo tratamento térmico indicar a existência de uma única metodologia, diferentes condições do processo e diversas metodologias são empregadas, resultando em distintas transformações químicas, físicas e anatômicas. Assim, tais processos podem diferir em relação ao teor de umidade inicial da madeira, condições da atmosfera, temperaturas e tempo de exposição, dependendo do grau de modificação a que se pretende.

A madeira é composta, principalmente, de celulose, hemiceluloses e lignina. As hemiceluloses são os constituintes mais instáveis termicamente, devido à sua estrutura ramificada e amorfa. Durante a aplicação de calor, a redução da disponibilidade de grupos hidroxílicos e a reticulação da lignina são fatores que explicam a melhoria das características hidrofóbicas desses materiais. Essa técnica também pode ser aplicada aos painéis, visando melhorar sua estabilidade e desempenho.

Os painéis OSB são menos exigentes em relação à qualidade da madeira que os compensados, entretanto são mais instáveis dimensionalmente quando expostos à umidade. Assim, o tratamento térmico pode ser empregado para melhorar tanto suas propriedades físicas quanto mecânicas, e um produto mais resistente e competitivo poderá ser ofertado.

Os painéis OSB podem ser termotratados de duas formas distintas, antes ou depois de sua produção. No pré-tratamento, a aplicação de calor é realizada diretamente nos flocos, e os benefícios referem-se à degradação química parcial dos constituintes químicos, reduzindo sua higroscopicidade e, por consequência, a absorção de água e o inchamento em espessura serão diminuídos. Durante o pré-tratamento podem ocorrer perda de massa e oxidação dos flocos e, para minimizar esses efeitos, alguns ambientes inertes são utilizados, a exemplo da injeção de nitrogênio e ambiente a vácuo. No pós-tratamento, a melhoria da estabilidade dimensional está relacionada, principalmente, a liberação das tensões de compressão geradas durante a etapa de prensagem dos painéis.

O efeito do pré-tratamento dos flocos de painéis OSB ainda é pouco pesquisado, principalmente no que tange a temperatura e tempo do tratamento térmico, bem como o efeito de diferentes atmosferas, evidenciando a importância de pesquisas relacionadas ao assunto.

Além disso, é de interesse do mercado expandir a gama de produtos advindos de espécies consolidadas e com grande disponibilidade de matéria-prima, como o gênero *Eucalyptus*.

OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo geral:

- Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, produzidos com flocos de madeira de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito da temperatura de tratamento térmico nas propriedades dos painéis OSB.

- Avaliar a influência do tempo de residência dos flocos na autoclave para produção dos painéis OSB.

- Avaliar o efeito do tratamento sob vácuo ou na presença de nitrogênio nas propriedades dos painéis.

- Avaliar a degradação térmica dos flocos de eucalipto tratados termicamente por meio da análise termogravimétrica.

- Avaliar o efeito da perda de massa sobre as propriedades dos painéis OSB.

- Avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a cristalinidade da celulose.

REVISÃO DE LITERATURA

1. OSB (*Oriented Strand Board*)

O OSB (*Oriented Strand Board*) é um painel de uso estrutural, produzido com flocos do tipo *strands*, ou seja, flocos longos de formato retangular, com a incorporação de adesivo fenol-formaldeído e, ou, isocianato (MDI) e emulsão parafínica, orientados perpendicularmente à superfície e consolidados por meio de prensagem a quente (IWAKIRI *et al.*, 2002; RAZERA, 2006).

Os painéis de flocos orientados foram desenvolvidos na década de 1970, nos Estados Unidos. Nos anos de 1980, a produção e o uso desses painéis foram intensificados naquele país e também no Canadá e na Europa (IWAKIRI, 2005). No Brasil, a primeira fábrica foi instalada em Ponta Grossa, Paraná, com capacidade de produção de 350.000 m³/ano (SALDANHA; IWAKIRI, 2009).

Os painéis OSB têm a vantagem de poderem ser produzidos com toras de qualidade inferior ou de árvores com menores diâmetros quando comparados com os compensados. Entretanto, não é possível utilizar resíduos de dimensões muito pequenas. Algumas características da madeira, como densidade, teor de extrativos e teor de umidade, devem ser estabelecidas, a fim de aumentar a qualidade final do painel (GOUVEIA, 2001; IWAKIRI *et al.*, 2004; CABRAL, 2006).

A utilização de espécies alternativas de rápido crescimento é importante no que se refere à maior disponibilidade de matéria-prima para produção de painéis, como o eucalipto (IWAKIRI *et al.*, 2004).

A geometria dos flocos, sua orientação e sua formação em camadas cruzadas (face-centro-face) conferem ao OSB melhor estabilidade dimensional e maior resistência mecânica (RANTA-MAUNUS, 1995; IWAKIRI *et al.*, 2002). Os flocos internos podem estar dispostos perpendicularmente à camada externa (Figura 1) ou de forma aleatória (Figura 2) (MENDES, 2001).

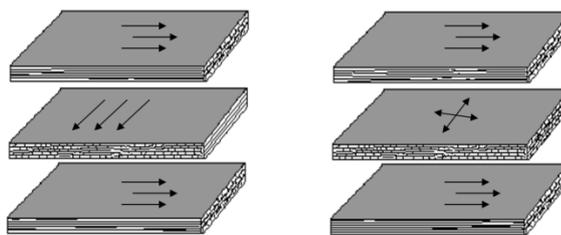


Figura 1 - Orientação perpendicular dos flocos da camada interna em relação às da face.

Fonte: MENDES, 2001.

Figura 2 - Orientação aleatória dos flocos da camada interna.

Fonte: MENDES, 2001.

A aplicação do OSB é diversificada, a exemplo de base para paredes e pisos em construções residenciais, empacotamentos e engradamento, estandes para exibição, armações para mobília, assento e encosto de cadeira, painéis de paredes decorativas, miolo para composto destinado a piso de madeiras nobres, piso acabado, base para tampo de escrivaninha, tapumes e divisórias, formas descartáveis para concreto, *decks* e plataformas, painéis estruturais isolantes (miolo de espuma), entre outras (JANSSENS, 1998; IWAKIRI *et al.*, 2004).

Segundo as normas de construção canadenses e americanas, o OSB é equivalente ao compensado em aplicações estruturais (MENDES, 2001). Pode ser produzido em grandes dimensões, pois suas dimensões são definidas pela tecnologia de produção e não pelo comprimento das toras, como nos compensados. Além disso, a menor disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação e o aproveitamento de espécies de baixo valor comercial reforçam o interesse do setor pela sua fabricação (RANTA-MAUNUS, 1995; CLOUTIER, 1998; IWAKIRI, 2005).

A grande vantagem do OSB em relação aos painéis compensados é o grau de aproveitamento das toras, ressaltando-se que as perdas ocorrem, principalmente, nas fases de geração e secagem dos flocos. Entretanto, sua limitação está na baixa estabilidade dimensional, uma vez que o OSB, em contato com a umidade, apresenta maior inchamento em espessura e expansão linear (MENDES, 2010).

As variações condicionadas à umidade final dos painéis podem provocar sua movimentação dimensional, devido à perda ou ao ganho de água higroscópica, adsorvida

entre as cadeias de celulose e hemiceluloses, ocorrendo, assim, a aproximação ou o seu afastamento (JANKOWISKY, 1986; Del MENEZZI, 2004; MENDES, 2010).

O tratamento térmico é mais uma das técnicas utilizadas para diminuir a higroscopicidade da madeira e de seus derivados, por meio de modificações químicas nos seus constituintes. Assim, a capacidade de troca de água com o meio é reduzida e os problemas de contração e inchamento são minimizados.

2. Tratamentos térmicos: Conceitos e Aplicações

A madeira é material higroscópico, composto basicamente de polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina. As hemiceluloses são mais hidrofílicas e, devido à sua capacidade de troca de água com o ambiente, contribuem para a variação dimensional das peças de madeira. Modificações na estrutura da madeira e degradação das hemiceluloses são algumas das alternativas para diminuir a afinidade desses constituintes com a água, o que é possível mediante tratamentos térmicos (BORGES; QUIRINO, 2004).

O uso de tratamentos térmicos para modificar as propriedades da madeira teve início com o tradicional costume de “queimar ou torrar” as peças em fogueiras para aumentar a durabilidade de mourões e cercas. Os primeiros relatos científicos sobre esses tratamentos foram descritos por Tiemann, em 1920, que constatou que a secagem da madeira em altas temperaturas diminuiu a umidade de equilíbrio. Em 1936, Kollmann utilizou altas temperaturas e densificação em prensagem a quente e chamou esse processo de "Lignostone" (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

O tratamento térmico ou retificação térmica é um processo que compreende o aquecimento em temperaturas inferiores àquela necessária para alterar os constituintes químicos fundamentais da madeira (BRITO *et al.*, 2006). Para agregar valor aos produtos e obter maior visibilidade do mercado, empresas europeias adotam diferentes nomenclaturas para os tratamentos, como envelhecimento controlado, tropicalização de coníferas e tratamento ecológico sem químicos, entre muitas outras (HILLIG *et al.*, 2009).

Gohar e Guyonnet (1998) afirmaram que a otimização do processo de tratamento térmico permite produzir material com reduzida higroscopicidade, sem diminuir significativamente as propriedades mecânicas da madeira. Esses autores ressaltaram que o tratamento deve ser previamente avaliado em relação à espécie de madeira e os parâmetros de processo, como temperatura de tratamento, duração, velocidade do aumento de temperatura, natureza e pressão da fase gasosa, geometria e tamanho das amostras e teor de umidade inicial.

Pesquisas relacionadas aos tratamentos térmicos foram conduzidas, principalmente, após a crise do petróleo, no final dos anos 1970. No entanto, somente a partir de 2000 que essa tecnologia foi empregada em escala industrial (HILLIG *et al.*, 2009). Boonstra (2008) afirmou que o interesse pelos tratamentos térmicos se deve ao declínio da produção de madeira durável, à crescente demanda por materiais de construção sustentáveis, ao desmatamento, especialmente das florestas tropicais, e aos crescentes regulamentos restritivos de organizações governamentais que induziam a redução do uso de produtos químicos tóxicos.

As principais diferenças entre os processos térmicos são decorrentes do teor de umidade inicial da madeira, da temperatura utilizada, do tempo de exposição das peças e das condições da atmosfera, da utilização de oxigênio ou nitrogênio, da presença ou ausência de vapor, do processo seco ou úmido e da utilização de óleos (MILITZ, 2002).

Hilling *et al.* (2009) citaram algumas modificações que ocorrem com os tratamentos térmicos, como cor da madeira, que se assemelha à de madeiras nativas; diminuição das tensões internas (importante para *Eucalyptus* spp.); e resinas (importante para *Pinus* spp.), incremento da estabilidade dimensional pela redução da umidade de equilíbrio em 50%, redução das variações dimensionais (retratibilidade), retardamento da degradação biológica por fungos e leve aumento da dureza.

As madeiras tratadas termicamente podem ser usadas em móveis para ambientes internos e externos, esquadrias, carpintaria, *decks*, assoalhos, saunas, paredes externas e embalagens para alimentos, entre outros (RODRIGUES, 2009).

2.1 Modificações químicas na madeira devido à temperatura

A composição química da madeira pode ser alterada pelo tratamento térmico por meio da degradação dos componentes da parede celular e de extrativos. Entre 180 e 250 °C, faixa de temperatura comumente utilizada para tratamentos térmicos, a madeira passa por pequenas transformações químicas, e acima de 250 °C inicia-se o processo de carbonização, com liberação de CO₂ e formação do carvão vegetal como produto da pirólise (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

Entre os constituintes primários, as hemiceluloses são os primeiros a serem degradados, decompondo-se em temperaturas entre 180 e 290 °C. Durante os tratamentos térmicos, ocorre a formação de ácidos carbônicos, principalmente ácido fórmico e acético, devido à degradação de hexoses e dos grupos acetilas, respectivamente. Os ácidos formados catalisam reações de despolimerização dos carboidratos, formando estruturas oligoméricas e

monoméricas. As unidades monoméricas de açúcar são, posteriormente, desidratadas em aldeídos, furfural, formados a partir de pentoses e de hidroximetilfurfural provenientes da desidratação de unidades de hexose (LUENGO *et al.*, 1997; HOMAN *et al.*, 2000; ESTEVES; PEREIRA, 2009; CALONEGO, 2009).

Nas madeiras submetidas ao tratamento térmico ocorre substituição dos grupos hidroxilas por grupos *O*-acetil, o que propicia menor penetração de água e mais estabilidade dimensional da madeira, haja vista que grupamentos OH, que são hidrofílicos, são supridos por grupamentos hidrofóbicos (PONCSÁK *et al.*, 2006).

Figueroa e Morais (2009) relataram que a degradação das hemiceluloses ocorre entre 160 e 260 °C, sendo o primeiro componente da madeira a se degradar, devido à sua estrutura heterogênea, à natureza não cristalina de sua estrutura e ao seu baixo peso molecular em relação aos outros polímeros da madeira. Brito *et al.* (2008), analisando os resultados dos tratamentos térmicos das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna*, efetuados nas temperaturas de 120, 140, 160 e 180 °C, constataram que as porcentagens de arabinose, manose, galactose e xilose decresceram nas duas espécies após os tratamentos.

Weiland e Guyonnet (2003) afirmaram que durante os tratamentos térmicos há esterificação da celulose pelo ácido acético, ligação do furfural às cadeias aromáticas da lignina, formando novos compostos, e degradação das pentosanas, base nutritiva, para o desenvolvimento de colônias de fungos.

As moléculas de celulose estão dispostas em regiões amorfas e cristalinas. A celulose amorfa possui maior sensibilidade ao calor, principalmente em temperaturas superiores a 300 °C, entretanto a celulose cristalina é muito mais resistente, devido à sua conformação. A região amorfa pode se converter em região cristalina com a combinação de calor e água (FENGEL; WEGENER, 1989; KIM, 1998). Boonstra e Tjeerdsma (2006) afirmaram que há degradação da celulose amorfa e, portanto, diminuição da acessibilidade das moléculas de água aos grupos hidroxila.

A lignina é o polímero mais estável termicamente e, apesar de se degradar durante o tratamento térmico, seu ritmo de degradação é inferior ao dos polissacarídeos. Somente em temperaturas acima de 200 °C é que suas ligações éter β -aril começam a quebrar. Entre 120 e 220 °C, algumas unidades não condensadas da lignina se transformam em unidades do tipo difenilmetano, com variação de cor, reatividade e dissolução. Na autocondensação da lignina há formação de ligações metilênicas conectando os anéis aromáticos. Os sítios dos anéis aromáticos são liberados pela desmetoxilação, e por meio da divisão esses sítios livres dos anéis aromáticos levam à criação de novas ligações químicas entre as cadeias poliméricas,

umentando o número de ligações C=C, diminuindo os grupos de hidroxilas e evidenciando ainda mais o caráter hidrofóbico (DUCHEZ; GUYONNET, 1998; ARAÚJO *et al.*, 2012).

Tjeerdsma e Militz (2005) constataram aumento do teor de lignina em amostras de madeira tratada pelo calor, concluindo que ele se deve a reações de policondensação com outros componentes da parede celular, resultando em mais reticulação, além de sua autocondensação.

Durante os tratamentos térmicos, os extrativos podem ser reduzidos ou, até mesmo, completamente eliminados, principalmente aqueles mais voláteis. Óleos e ceras podem se mover ao longo das células parenquimáticas axiais até a superfície da madeira. Em temperaturas acima de 200 °C, esses extrativos poderão não ser mais detectados (NUOPPONEN *et al.*, 2003; ESTEVES; PEREIRA, 2009).

2.2 Ambientes de aquecimento nos tratamentos térmicos

Muitos processos de tratamento térmico da madeira são descritos na literatura como *Thermo Wood Process* na Finlândia, *Retification* e *Le Bois Perdure* na França, *Plato-Process* na Holanda e *Oil-Heat-Treatment* na Alemanha. As principais diferenças entre eles são as temperaturas máximas aplicadas, umidade da madeira, uso ou não de atmosfera inerte com nitrogênio ou com vapor e uso de óleos (CALONEGO, 2009). Pesquisas sobre tratamentos térmicos e sobre os ambientes utilizados durante o processo são abordadas neste tópico.

Madeiras de *Pinus radiata* foram tratadas termicamente em temperaturas que variaram entre 160 e 210 °C, em óleo de linhaça. Constatou-se que a estabilidade dimensional e a durabilidade foram elevadas, eliminando a necessidade de introduzir quaisquer substâncias químicas tóxicas persistentes. Além disso, o óleo de aquecimento pode ser usado novamente em tratamentos subsequentes (DUBEY, 2010). Ressalta-se que o óleo promove bom aquecimento e limita o oxigênio, entretanto deixa cheiro desagradável no material, além de dificultar a adesão (MILITZ, 2002; ESTEVES; PEREIRA, 2009). Vale ressaltar que o ponto de ebulição de muitos óleos e resinas naturais é mais elevado do que a temperatura necessária para o tratamento térmico da madeira, o que torna o tratamento térmico com esses materiais interessante, visto que não corre o risco de acontecer incêndios. Rapp (2001) afirmou que o tratamento térmico em óleos é mais eficiente em relação à melhoria das propriedades físicas e mecânicas de madeiras, em comparação com os tratamentos em ambiente oxidante.

O efeito do tratamento térmico nas propriedades físicas e as alterações de cor da madeira de *Pinus nigra* foram avaliados por Guller (2012). Para isso, amostras de madeira foram tratadas a 190, 200, 212 e 225 °C por 60, 120 e 180 min, em ambiente com vapor

d'água e 3,5% de ar. Os resultados indicaram que houve diminuição da densidade com o aumento da temperatura e tempo de tratamento. Além disso, a estabilidade dimensional foi melhorada, e a cor tornou-se mais escura. Rapp (2001) afirmou que o vapor d'água afeta positivamente a qualidade da madeira tratada termicamente e que também funciona como atmosfera protetora para evitar a degradação térmica do material.

Ferrari *et al.* (2012) pesquisaram a eficácia do processo de termovácuo, buscando definir a influência dos parâmetros do processo, isto é, temperatura, duração e pressão, sobre as propriedades da madeira. Para isso, diferentes espécies de madeira, tanto de coníferas quanto de folhosas, foram tratadas em temperaturas de 160 a 220 °C entre 45 min e 5 h. Ventiladores de alta eficiência, instalados dentro da autoclave, permitiram a transferência de calor por convecção. Os resultados evidenciaram que o tratamento propiciou perda de massa e alterações na cor e no teor de umidade de equilíbrio. Além disso, os tratamentos termovácuos tiveram ausência total de odor devido à ação da bomba de vácuo, que removeu os produtos voláteis durante o processo.

Tábuas de *Eucalyptus grandis* foram tratadas a 140, 160, 180, 200 e 220 °C, em ambiente oxidante. Os resultados evidenciaram que essa técnica foi eficiente no aumento da estabilidade dimensional e da resistência natural do material a fungos, embora algumas de suas propriedades mecânicas tenham diminuído (CALONEGO, 2009). Pessoa *et al.* (2006) também trataram madeiras de *Eucalyptus grandis* em meio oxidante. Eles submetem-nas ao ataque do cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. As temperaturas empregadas variaram entre 120 e 200 °C. Considerando as condições do estudo, os tratamentos não foram suficientes para oferecer total imunidade da madeira ao ataque dos cupins, entretanto foram observadas incidências de menores danos à madeira, bem como aumento na mortalidade de insetos. Kocafe *et al.* (2007) verificaram que, à medida que a concentração de oxigênio no meio é elevada, aumenta-se a taxa de degradação das madeiras e, com isso, maior a perda de massa e das propriedades mecânicas. Esteves *et al.* (2008) observaram que madeiras de *Pinus pinaster* tratadas termicamente com ar quente durante 2 a 24 h e temperaturas entre 170 e 200 °C tiveram perda de massa, melhorias no equilíbrio higroscópico e estabilidade dimensional, porém houve redução da resistência mecânica.

Madeiras de *Fagus orientalis* foram submetidas a tratamento hidrotérmico, empregando-se temperaturas de 150, 160 e 170 °C por 1, 3, 5 e 7 h, com pressão. Constatou-se que o tratamento aumentou a estabilidade dimensional, reduziu o teor de umidade de equilíbrio e melhorou a durabilidade biológica do material (CHARANI *et al.*, 2007). Tjeerdsma e Militz (2005) também realizaram o tratamento hidrotérmico em madeiras de

Fagus silvatica e *Pinus sylvestris*, verificando diminuição da higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, a melhoria da sua estabilidade dimensional e durabilidade.

O efeito do tratamento térmico nas propriedades da madeira de diferentes espécies foi determinado por Araújo *et al.* (2012). Para isso, foram empregadas temperaturas de 180, 200 e 220 °C, por 1 h, em ambiente com vácuo e em ambiente com nitrogênio. Os resultados indicaram grande potencial do tratamento térmico, uma vez que todas as madeiras tratadas tiveram redução no equilíbrio higroscópico, principalmente em ambiente com nitrogênio.

Kubojima *et al.* (2000), estudando o efeito do tratamento térmico em madeiras de *Picea sitchensis*, constaram que a força necessária à ruptura diminuiu com o tempo de tratamento e essa relação foi mais intensa em presença de nitrogênio do que em meio oxidante.

2.3. Tratamento térmico de painéis de madeira

A capacidade da madeira e de seus subprodutos em inchar ou contrair, quando expostos a ambientes com elevados teores de umidade, é objeto de estudo de muitos pesquisadores (Del MENEZZI, 2004; CALONEGO, 2009; MENDES, 2010). Para isso, técnicas foram desenvolvidas com o intuito de aumentar a estabilidade dimensional, como uso de parafina, teor e tipo de adesivo, formação do colchão e tratamentos térmicos.

O tratamento térmico dos painéis de madeira pode ser classificado em pré e pós-tratamento. No pré-tratamento, os flocos são tratados termicamente antes da consolidação dos painéis, e ele se baseia na degradação parcial dos constituintes da madeira. Haverá, portanto, redução da sua higroscopicidade e, conseqüentemente, diminuição da absorção de água e inchamento em espessura. No pós-tratamento, os painéis recebem o tratamento com calor depois de formados e estabilizados, e seu objetivo principal é a melhoria da estabilidade dimensional por meio da liberação das tensões de compressão (MENDES, 2010).

Os painéis OSB apresentam significativo inchamento em espessura quando em contato direto com a água, ou com a umidade. Parte do inchamento deve-se à adsorção de moléculas de água nos grupos hidroxílicos, presentes nos constituintes da parede celular. A outra parte do inchamento em espessura resulta da liberação das tensões de compressão, cujo fenômeno é conhecido como *springback*, as quais são irrecuperáveis. O inchamento devido às características intrínsecas da madeira pode ser parcialmente recuperado, quando o painel retorna ao seu teor de umidade inicial (MENDES, 2010).

Um dos primeiros estudos em que o pós-tratamento de painéis foi avaliado foi conduzido por Roffael e Rauch (1973). Neste trabalho foram analisados painéis aglomerados

produzidos com adesivo de di-isocianato e expostos a 200 °C, por um período de 15 a 60 min. Esses autores concluíram que houve diminuição no inchamento em espessura e absorção de água após o tratamento térmico.

Del Menezzi *et al.* (2008) pesquisaram o pós-tratamento em painéis OSB de *Pinus* sp. em temperaturas iguais a 190 e 220 °C, por 12, 16 e 20 min. Eles concluíram que, além da significativa melhoria na estabilidade dimensional, os tratamentos com calor não afetaram a capacidade de retenção ou a rugosidade da superfície dos OSB tratados.

As propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB não foram alteradas com o pós-tratamento térmico. Essa conclusão foi obtida por Mendes (2010) em experimentos com painéis de *Pinus* sp. tratados a 220 °C, por um período de 12 min.

Embora o pós-tratamento seja recomendado para painéis produzidos com adesivos termorresistentes (fenol-formaldeído e isocianato), tem-se relato de pesquisa que evidenciou a viabilidade na produção de painéis confeccionados com ureia-formaldeído (OKINO *et al.*, 2007; Del MENEZZI *et al.*, 2008). Nesse estudo, foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de OSB produzidos com flocos de *Cupressus glauca*, com 5 e 8% de ureia-formaldeído, e pós-tratamento a 190 °C, por 12 min. A estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas dos painéis foram elevadas, exceto o módulo de elasticidade, na direção perpendicular ao alinhamento dos painéis produzidos com 8% de adesivo.

Lára Santos *et al.* (2009) verificaram que painéis OSB que receberam o pós-tratamento e foram posteriormente colados apresentaram redução na resistência da linha de cola. Esse efeito dependeu conjuntamente da temperatura e do tempo de tratamento térmico empregados. No entanto, o lixamento da superfície desses painéis aumentou a resistência ao cisalhamento da linha de cola em até 15%, melhorando a qualidade da adesão.

De acordo com Paul *et al.* (2006), a temperatura de prensagem dos painéis tipo OSB não tem influência significativa sobre a redução do inchamento em espessura, no entanto o aumento da temperatura de pré-tratamento dos flocos contribui para a estabilidade dos painéis devido à degradação parcial das polioses, que contribuem para a sorção de moléculas de água pela madeira.

Paul *et al.* (2006) pesquisaram o pré-tratamento dos flocos de madeira de *Picea glauca*, com o objetivo de melhorar a estabilidade dimensional desses painéis. Para isso, utilizaram temperaturas iguais a 180, 200, 220 e 240 °C e tempos que variavam de 30 a 90 min. Esses autores concluíram que os tratamentos foram eficientes, entretanto é necessário que sejam estabelecidas finalidades e condições específicas para cada tratamento, como o tempo e a temperatura que serão utilizados, a espécie de madeira usada e as propriedades requeridas para confeccionar os painéis.

Iswanto *et al.* (2010) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas e a durabilidade de OSB produzidos com flocos de madeira de *Melia excelsa* sob várias técnicas de pré-tratados em água quente, em solução de 2,5% de CCB e vapor a 126 °C. Observou-se que os tratamentos reduziram a absorção de água, aumentaram algumas propriedades mecânicas e a durabilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

A madeira de *Eucalyptus grandis*, com densidade básica de $0,49 \text{ g/cm}^3$, foi doada pela empresa COPENER FLORESTAL, atual Bahia Specialty Cellulose, localizada em Alagoinhas, BA.

1. Preparação dos flocos

As toras de *Eucalyptus grandis* foram desdobradas em tábuas de 1,5 m de comprimento e serradas em baguetas com 2 cm de espessura por 9 cm de comprimento (Figura 3). As baguetas ficaram imersas em água, temperatura ambiente, até a completa saturação. Em seguida foram colocadas em autoclave e aquecidas em água a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, por 1 h, e colocadas novamente em água fria, para facilitar sua saturação. Esse material foi processado em moinho de disco, para produzir os flocos com dimensões de $90 \times 20 \times 0,33 \text{ mm}$.

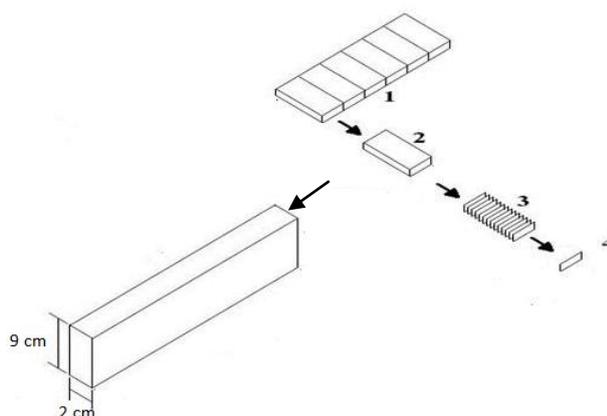


Figura 3 - Produção dos flocos: 1- tábua, 2 - baguetas, 3 - corte e 4 - flocos gerados.
Fonte: Adaptado de MENDES, 2001.

Os flocos foram classificados manualmente em peneiras de formato retangular, com malha quadrangular com dimensão de $1,7 \text{ cm}^2$. Aqueles não retidos nas telas, com dimensões

consideradas inadequadas para fabricação de OSB, foram descartados. Após essa seleção, os flocos foram secos em estufa com circulação e renovação de ar a 103 ± 2 °C, para a retirada de água livre e da água de adesão do material. Essa etapa foi necessária para diminuir a formação de vapor d'água e evitar possível condensação dentro da autoclave durante o tratamento. Os flocos utilizados como testemunhas foram secos em estufa a 45 °C até 3% de umidade. Os flocos ficaram armazenados em sacos plásticos hermeticamente fechados, até a realização dos tratamentos térmicos.

2. Tratamento térmico dos flocos

Os tratamentos térmicos foram conduzidos em autoclave, da marca Marconi, com controle de pressão, temperatura e vácuo. Os flocos receberam o pré-tratamento a 180, 200 e 220 °C, durante 30, 60, 90 e 120 min, em ambiente a vácuo ou em ambiente com nitrogênio. Os flocos foram pesados em balança de precisão antes e assim que saíram da autoclave e também depois de 5 e 15 min, após cada tratamento térmico para cálculo da perda de massa e higroscopicidade.

Inicialmente, a autoclave foi acionada e, quando a temperatura desejada foi atingida, os flocos foram inseridos no seu interior, em cestos de ferro. Na condição a vácuo, a câmara foi mantida à pressão negativa de -1 kgf/cm². Quando essa condição era estabelecida, fazia-se a contagem do tempo de permanência dos flocos na autoclave. Nos tratamentos térmicos com nitrogênio, a câmara foi inicialmente mantida a vácuo e posteriormente preenchida com nitrogênio. O tempo de tratamento foi cronometrado a partir do térmico da injeção do nitrogênio da autoclave. A escolha dos ambientes propostos neste trabalho (vácuo e com nitrogênio) teve por finalidade proporcionar uma atmosfera inerte no interior da autoclave e reduzir o risco de combustão dos flocos devido às altas temperaturas aplicadas.

Os flocos termotratados a 220 °C permaneceram por mais 45 min dentro da autoclave para que a temperatura desses fosse reduzida, evitando-se a sua combustão, como observado em pré-testes.

Após cada tratamento, os flocos foram resfriados e mantidos em sacos plásticos, e seu teor de umidade foi determinado antes da produção dos painéis, uma vez que o valor requerido era de 3%, base seca. Aqueles com teor de umidade superior foram colocados novamente em estufa com circulação e renovação de ar forçada a 60 °C até atingir a umidade desejada.

Os painéis testemunhas foram produzidos com flocos não tratados termicamente, com 3% de umidade.

3. Determinação das propriedades do adesivo fenol-formaldeído

O adesivo utilizado foi o fenol-formaldeído, fornecido pela empresa Momentive Química do Brasil Ltda., cujas propriedades se encontram na Tabela 1. A determinação do teor de sólidos foi baseada na metodologia descrita por Carneiro (2006), em que 2 g do adesivo foram pesados e levados à estufa por 24 h, a 103 ± 2 °C. O tempo de gelatinização foi determinado com 1 g do adesivo, inserido em um tubo de ensaio (10 cm de altura com 1,5 cm de diâmetro) e imerso em glicerina, aquecida a 170 °C. Um bastão de vidro foi usado para agitar o adesivo até a polimerização. A viscosidade foi determinada com um viscosímetro de Brookfield (cp), com haste (Spindler) número 3, velocidade de 12 rpm e fator de conversão igual a 100. O pH foi determinado com 50 mL do adesivo, e foram realizadas três leituras.

Tabela 1 – Propriedades do adesivo fenol-formaldeído

Parâmetros	Valores
Teor de sólidos (%)	50,71
pH	12,73
Viscosidade (cP)	891,7
Tempo de gelatinização (s)	167

4. Capacidade tampão

Para determinar o pH e a capacidade-tampão dos flocos tratados termicamente por 180, 200 e 220 °C, em ambiente com nitrogênio, estes foram transformados em serragens, e utilizou-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na malha de 60 mesh. Uma amostra de 15 g de serragem e 150 mL de água destilada aquecida a 100 °C foram misturadas durante 30 min. Após esse procedimento, a água com a serragem foi filtrada em um cadinho, utilizando bomba de vácuo para sucção. Alíquota de 1 mL de solução de H₂SO₄ a 0,025 N foi adicionada com pipeta, repetidas vezes ao extrato, até que ele atingisse o pH 3,0. Em outra alíquota de 50 mL do extrato, uma solução de NaOH, a 0,025N, foi adicionada até pH 7, seguindo-se o procedimento anterior (VITAL, 1973).

5. Transferência de calor dos painéis

Para avaliar o efeito dos tratamentos térmicos sobre a transferência de calor dos flocos de madeira, produziram-se painéis OSB sem adesivo e com teor de umidade de 12%. As camadas internas e externas do “colchão” foram orientadas perpendicularmente entre si, e

50% corresponderam ao miolo dos painéis e 25% em cada superfície. Foram introduzidos três termopares tipo “J” (Ferro-Constantan) na camada central do “colchão” de flocos para posterior produção do painel. Mediu-se a temperatura durante 8 min, tomando-a a cada 30 seg. Os flocos utilizados neste ensaio foram tratados termicamente a 180, 200 e 220 °C por 1 h em ambiente com nitrogênio. Como testemunha, foram utilizados flocos que não foram pré-tratados para a produção dos painéis.

6. Análise termogravimétrica (TGA) dos flocos

As análises termogravimétricas (TGA) foram obtidas para avaliar a perda de massa em função da temperatura.

Para as análises termogravimétricas, os flocos tratados termicamente foram moídos, tendo sido utilizada a fração granulométrica que passou pela peneira de 200 mesh e ficou retida na peneira de 270 mesh. As amostras foram secas a 100 °C, em estufa. A análise térmica da madeira foi realizada com o equipamento DTG-60H da marca SHIMADZU. Foram pesados 4 mg de madeira e, em seguida, as amostras foram submetidas a um gradiente de temperatura variando de 25 a 600 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, utilizando-se um fluxo de nitrogênio de 50 mL.min⁻¹.

Os cálculos de perda de massa foram feitos em intervalos de temperaturas (100-150 °C; 150-200 °C; 200-250 °C; 250-300 °C; 300-350 °C; 350-400 °C; e 400-450 °C).

7. Cristalinidade da celulose

Os flocos tratados termicamente foram caracterizados por difração de raios X, seguindo a metodologia descrita na literatura (BROWNING, 1967; FENGEL; WEGENER, 1989). As amostras foram compostas pela fração de serragem que passou pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Essa técnica visa calcular o índice de cristalinidade dos materiais, através do espalhamento da radiação X por estruturas organizadas (cristais).

As análises foram realizadas à temperatura ambiente em difratômetro X-ray Diffraction System modelo X’Pert PRO (PANalytical), utilizando filtro de Ni e radiação Co- α ($\lambda = 1,78890 \text{ \AA}$), variação angular de 5-50° (2 θ), velocidade de 3° min, tensão de 40 kV e corrente de 30 mA.

O *software* Origin 8.0 (ORIGINLAB, 2007) foi utilizado para calcular o índice de cristalinidade (I_c) da celulose pelo método de Segal *et al.* (1959), o qual é determinado por

meio da relação entre os picos de intensidade máxima ($2\theta = 26,15^\circ$) e mínimo ($2\theta = 20,91^\circ$) de difração, após a correção da linha-base.

8. Produção e propriedades dos painéis OSB

Foram produzidos painéis de flocos tratados termicamente com dimensões finais de 40 X 40 X 1,00 cm, tendo como meta uma densidade de $0,70 \text{ g/cm}^3$. A massa de flocos foi calculada com base no peso de matéria seca da madeira, na densidade do material utilizado, na densidade final desejada e na taxa de compactação de 1,4, considerando-se ainda 10% de perdas no processo de produção e um teor de umidade para os flocos de 3%.

Fabricaram-se painéis com 8% de adesivo à base de fenol formaldeído e 0,5% de emulsão parafínica, empregando-se um encolador rotatório de laboratório. Os flocos encolados foram parcialmente orientados, empregando-se uma grade de ferro com 3 cm entre as divisórias paralelas, tendo sido depositados 25% dos flocos em cada face e os outros 50% na constituição da camada interna com orientação perpendicular à face e à contraface. Os painéis foram prensados a 32 kgf/cm^2 por 8 min, a 170°C , e posteriormente mantidos em caixas para resfriamento. Depois, os painéis foram esquadrejados, seguindo-se a orientação descrita na Figura 4.

Quadro 1 – Propriedades requeridas para painéis OSB

Classifi- cação	Inchamento em espessura			Expansão Linear (%)	Absorção em água Tolerância (%)		Flexão estática		Ligação interna (MPa)	Dureza (kgf)	Arrancamento de parafuso (kgf)	
	Tolerância média do painel (%)				2 h	24 h	MOE (kgf/ cm ²)	MOR (kgf/ cm ²)			Face	Borda
	Amb	2 h	24h									
H – 1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	24.000	165	0,9	222,5	180	132,5
H – 2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	24.000	205	0,9	445,0	190	155,0
H – 3	NE	NE	NE	NE	NE	NE	27.500	235	0,10	667,5	200	155,0
M – 1	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	17.250	110	0,4	222,5	NE	NE
M – S	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	19.000	125	0,4	222,5	90	80
M – 2	NE	6*	15*	0,35	10**	15**	22.500	145	0,345**	222,5	100	90
M – 3	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	27.500	165	5,5	222,5	110	100
LD – 1	NE	6	15	0,35	10	15	5.500	30	1,0	NE	40	NE
LD – 2	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	10.250	50	1,5	NE	55	NE

Em que: H – Alta densidade (superior a 800 kg/m³).

M – Média densidade (640 – 800 kg/m³).

MS – Densidade média especial (propriedades físicas entre M-1 e M-2).

LD – Baixa densidade (menor que 640 kg/m³).

NE – Não especificado.

* Norma DIN 68m761 (1) – 1961 (SANTANA; PASTORE, 1981) e ** norma CSA 0437-1993.

Fonte: Adaptado de ANSI/A 208.1 – 1993 “Wood Particleboard”.

9. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, empregando-se três temperaturas (180, 200, 220 °C), quatro tempos de tratamento (30, 60, 90 e 120 min), dois ambientes (a vácuo ou com nitrogênio) e três repetições, totalizando 72 painéis tratados termicamente. Para efeito de comparação foram produzidos três painéis testemunha, ou seja, com flocos não tratados.

As análises estatísticas foram realizadas com o emprego do *software* SAEG. Os dados foram analisados e as médias entre os tratamentos térmicos, comparadas pelo teste de Tukey a

5% de probabilidade, enquanto as médias dos painéis termotratados foram comparados com a testemunha pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Capacidade tampão e pH

Na Figura 5 são apresentados os valores de pHs da madeira de *Eucalyptus grandis*, tratadas termicamente a 180, 200 e 220 °C e a testemunha, com e sem a adição de 1 mL de H₂SO₄ (0,025 N) em solução aquosa.

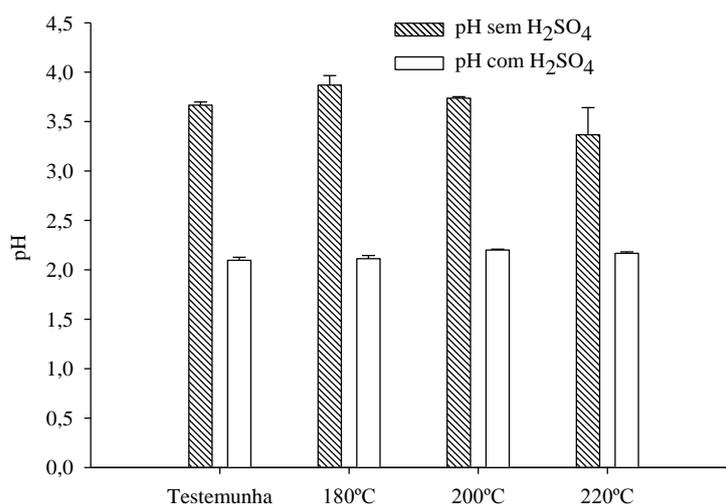


Figura 5 - Valores médios de pH de flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em 180, 200 ou 220 °C e testemunha com ou sem a adição de 1 mL de H₂SO₄ (0,025 N) em solução aquosa.

Os valores médios de pH dos extratos dos flocos foram iguais a 3,67 para a testemunha e 3,87, 3,73 e 3,52 para aqueles termotratados a 180, 200 e 220 °C, respectivamente. Esses valores estão dentro da faixa descrita por Iwakiri (2005) para madeira, que varia de 3 a 6, dependendo da espécie. Observou-se que o pH dos extratos diminuiu à medida que a temperatura dos tratamentos aumentou em razão, provavelmente, das substâncias ácidas formadas com o tratamento térmico, a exemplo do ácido acético que pode ter sido depositado sobre a massa de flocos. A adição de 1 mL de H₂SO₄ a 0,025 N reduziu o pH dos extratos de 200 e 220 °C a valores próximos a 2,0. Entretanto, no extrato a 180 °C e na

testemunha foram necessários 3 mL. Isso indica a menor capacidade-tampão dos flocos tratados termicamente a 200 e 220 °C à acidificação.

Verificou-se que o pH dos extratos tratados termicamente foi elevado a pH maior que 7,0 com adição de 2 mL de NaOH 0,025 N (Figura 6A-C). Entretanto, foram necessários 14 mL dessa solução para que a testemunha atingisse pH 8 (Figura 6D). A resistência a essa mudança pode ser devida à solução titulante ser, quantitativamente, insuficiente para converter o extrato em uma base fraca (SILVA; SIMONI, 2000). Já nos extratos termotratados, compostos modificados pelo calor podem ser menos disponíveis, menos solúveis em água ou, mesmo, evaporado e, ou, degradado, formando compostos menos reativos. Essas informações são importantes, pois os adesivos fenol-formaldeído curam em meio alcalino e a alta acidez dificulta sua colagem (IWAKIRI, 2005). Carneiro *et al.* (2007) também afirmaram que as variações tanto do pH quanto da capacidade-tampão afetam a cura e a solidificação dos adesivos, uma vez que esses processos ocorrem em faixas relativamente estreitas de pH.

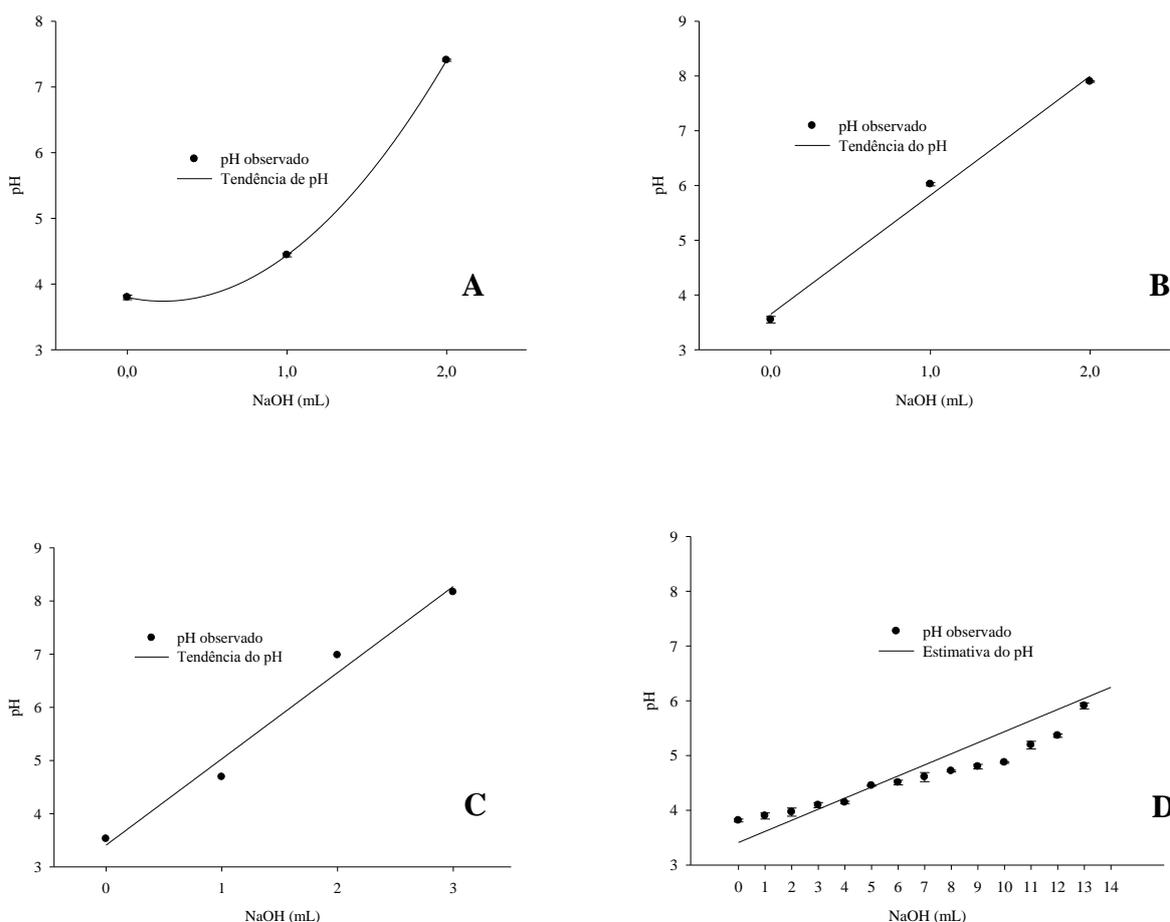


Figura 6 – pH e capacidade-tampão dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente a 180 °C (A), 200 °C (B) e 220 °C (C) e testemunha (D).

2. Transferência de calor

A análise de variância indicou que as temperaturas no centro desses painéis foram afetadas significativamente pelo tempo de prensagem.

Tabela 2 - Valores médios da temperatura em função do tempo de prensagem em painéis OSB, com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente por 1 h e a testemunha

Tempo (s)	Temperatura (°C)	
480	115,54	A
450	112,30	AB
420	110,76	BC
390	107,60	CD
360	105,79	DE
330	104,31	DEF
300	103,23	EF
270	102,75	EF
240	102,11	EF
150	101,95	F
180	101,94	F
210	101,94	F
120	101,35	F
90	92,96	G
60	61,91	H
30	31,29	I
0	22,01	I
Média geral	97,36	

Médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Na Tabela 2 e na Figura 7, observa-se que a evolução da temperatura no centro do painel aumentou significativamente até o tempo total de prensagem estabelecido (8 min).

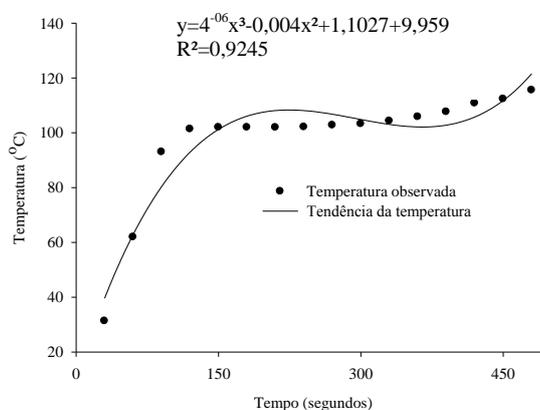


Figura 7 – Transferência de calor até o centro dos painéis OSB, com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente por 1 h e testemunha.

Observa-se, nessa figura, que a temperatura no miolo do painel, durante o tempo de prensagem, não seguiu tendência constante, e os primeiros 30 seg (s) que se sucederam ao fechamento da prensa não foram constatadas alterações significativas na temperatura. Entre 60s até 120s, a temperatura do colchão elevou-se continuamente, indicando que o vapor gerado na superfície do painel migrou-se para o seu interior devido ao aumento do gradiente de temperatura e, conseqüentemente, transfere calor por convecção. Zombori (2001) também afirmou que a transferência do calor por condução também pode estar presente, devido à diferença de temperatura entre o miolo e a superfície.

Verificou-se um *plateau* com duração média de 240s, entre as temperaturas de 101,35 °C a 105,79 °C. Esse resultado se deve, possivelmente, ao fato de o calor estar sendo utilizado para vaporizar a água no miolo dos painéis (calor latente). Zombori (2001) comentou que essa fase pode ser chamada de "estagnação vertical, desaceleração horizontal", e a temperatura na superfície do painel aumenta com o tempo de exposição à prensagem, com migração constante de calor em direção ao centro, por condução. Esse autor ainda afirmou que pequena pressão de vapor desloca-se, lentamente, na vertical, enquanto o vapor formado no centro migra para as bordas, na horizontal. Segundo Albuquerque e Iwakiri (2005) e Hood (2004), a temperatura do *plateau* pode variar em função das espécies utilizadas, espessura e densidade dos flocos, quantidade de espaços vazios, umidade e pressão de vapor dentro do colchão

Observa-se que a temperatura no miolo do painel volta a se elevar, lentamente, a 107,60 °C até 115,54 °C, quando a prensagem é então encerrada. De acordo com Zombori (2001), o aumento da temperatura no interior dos painéis se deve à menor quantidade de vapor e menos energia consumida na forma de calor latente, sendo essa afirmação válida também a esse estudo.

A análise de variância indicou que a temperatura final no centro dos painéis OSB foi afetada pelos tratamentos térmicos dos flocos, e os valores médios estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios da temperatura final no centro dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente por 1 h

Temperaturas (°C) Tratamento térmico	Temperatura (°C) Centro das chapas
Testemunha	95,65 C
180	96,69 BC
200	97,63 B
220	99,46 A
Média geral	97,36

Médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De modo geral, painéis com flocos tratados termicamente atingiram as maiores temperaturas no miolo, durante a prensagem. Quando termotratados a 220 °C, o calor conduzido foi maior e diferiu dos demais, com aumento de 3,5% em relação à testemunha. As temperaturas de 180 e 220 °C foram semelhantes entre si, assim como os tratamentos a 180 °C e a testemunha. Apesar de todos os tratamentos térmicos apresentarem o mesmo teor de umidade, provavelmente o tempo para que os flocos expostos ao calor adsorvessem o vapor de água e atingisse a umidade de 12% foi insuficiente. Isso se deve, possivelmente, ao caráter mais hidrofóbico dos constituintes da parede celular, depois de tratados. Assim, o número de moléculas de água ligadas a cada sítio de adsorção é menor, e o vapor fica disperso no lúmen e nos espaços entre as células.

3. Índice de cristalinidade da celulose

A Figura 8 mostra os difratogramas de raios X referentes aos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente e a Figura 9, os índices de cristalinidade, calculados a partir dos difratogramas.

Observa-se a presença de picos nos ângulos de Bragg (2θ) referentes ao plano cristalográfico 002, ao plano 101 (altura mínima localizada entre os picos 002 e 101) e o plano 040.

Os resultados da difração de raios X apresentaram picos referentes aos planos cristalinos dos flocos tratados termicamente e da testemunha, e verificou-se que a reflexão (002) foi mais intensa para todos os flocos pesquisados.

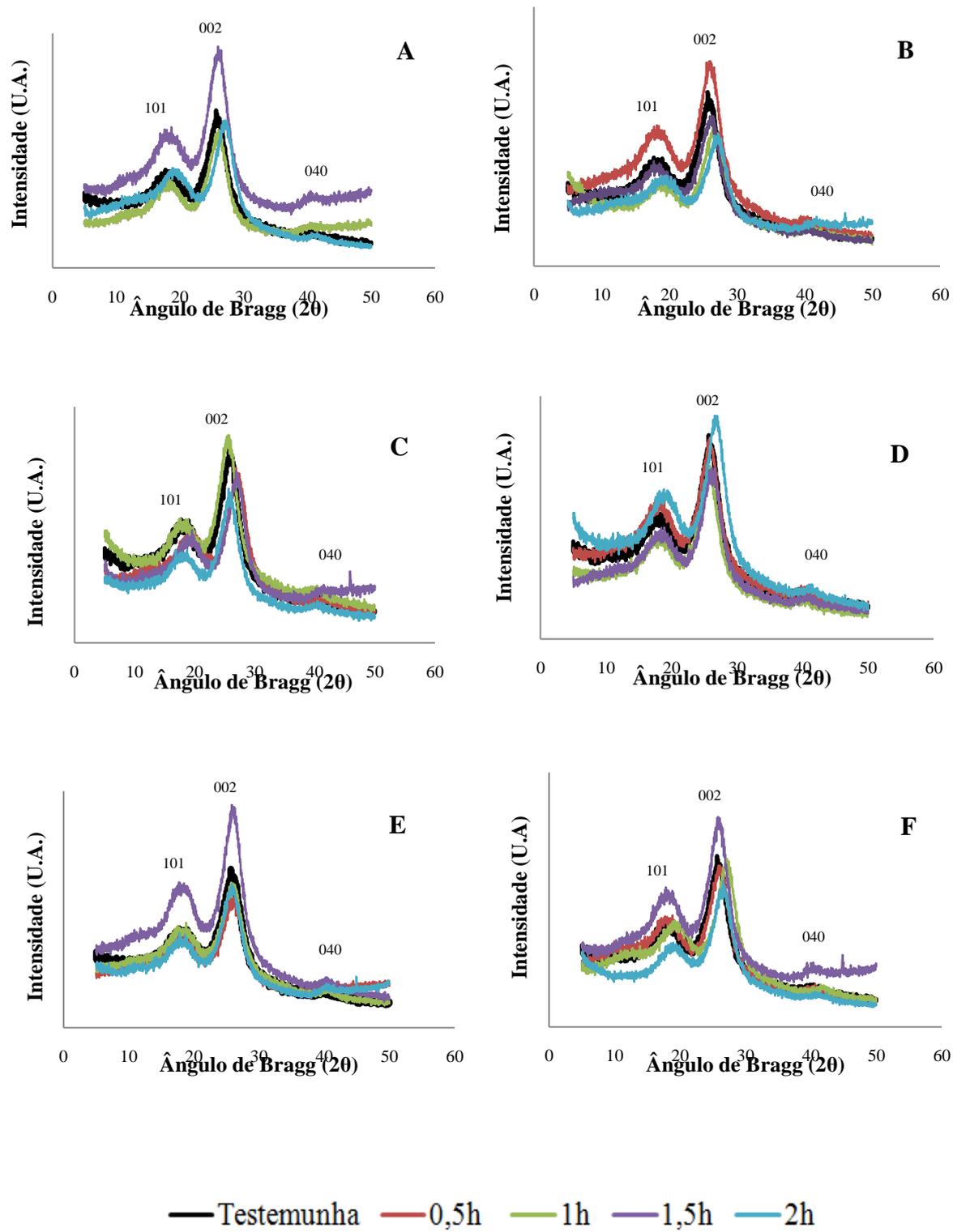


Figura 8 - Difratoograma de raios X dos flocos tratados a 180° em ambiente com nitrogênio: A – 180 °C sem nitrogênio; B – 180 °C com nitrogênio; C – 200 °C sem nitrogênio; D – 200 °C com nitrogênio; E – 220 °C sem nitrogênio; e F – 220 °C com nitrogênio.

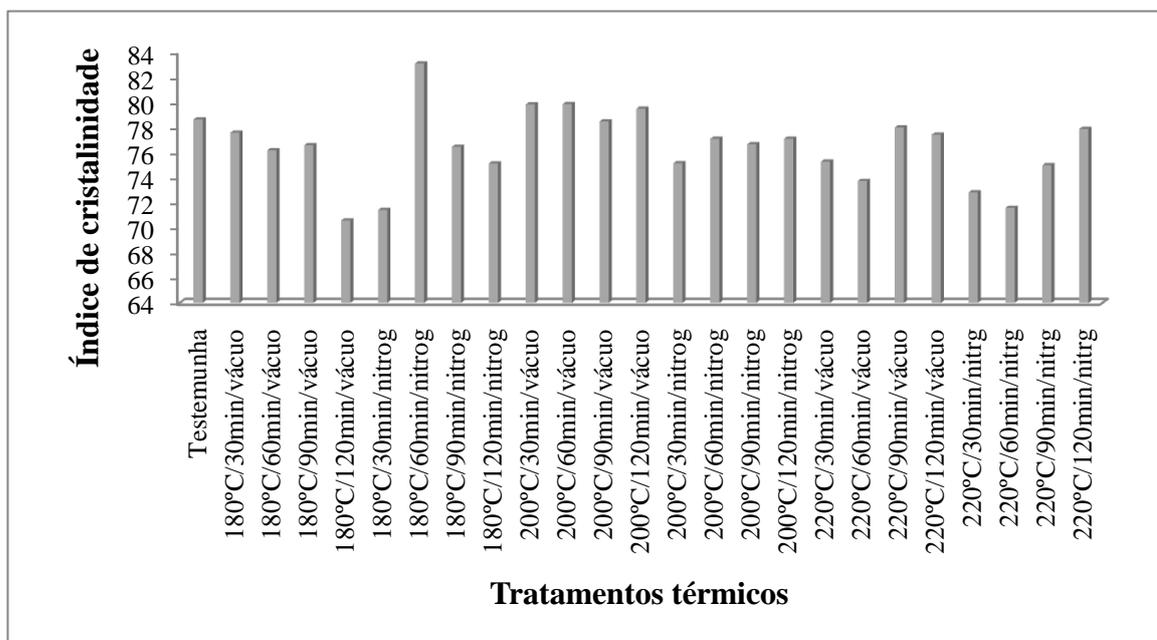


Figura 9 - Valores médios do índice de cristalinidade de flocos de madeira de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente.

Observa-se, nessa figura, que o índice de cristalinidade dos flocos testemunha foi igual a 78,66%. Os flocos termotratados a 200 °C com vácuo por 30, 60 e 120 min apresentaram resultados superiores à testemunha, assim como aqueles a 180 °C, em ambiente com nitrogênio por 60 min.

O índice de cristalinidade dos demais tratamentos térmicos foi inferior à testemunha, e esses resultados contradizem Homan *et al.* (2000) e Boonstra e Tjeerdsma (2006), que afirmaram que a diminuição da acessibilidade dos grupos hidroxílicos às moléculas de água é devida ao aumento da cristalinidade da celulose, enquanto Esteves e Pereira (2009) relacionaram o aumento do módulo de elasticidade ao da cristalinidade durante o aquecimento.

Segundo Pereira (2012), madeiras que possuem maior índices de cristalinidade são mais resistentes à degradação térmica. Essa condição, entretanto, não foi observada na análise termogravimétrica (Tabela 4), pois a massa residual dos flocos tratados termicamente foi maior que aquela verificada na testemunha, ou seja, os flocos pré-tratados foram mais estáveis termicamente.

4. Análise termogravimétrica (TGA)

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias da perda de massa dos flocos tratados termicamente em função das temperaturas.

Tabela 4 - Valores médios de perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)	Ambiente*	Faixas de temperatura (°C)						M. residual (%)	
			100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400		400-450
180	30	1	0,05	0,08	1,91	17,30	40,59	18,44	2,97	18,67
180	60	1	0,17	0,13	1,67	16,79	42,01	15,01	2,82	21,53
180	90	1	0,08	0,02	1,70	16,80	40,31	20,60	3,07	17,42
180	120	1	0,05	0,18	2,07	17,55	41,47	15,37	2,88	20,04
Médias			0,09	0,10	1,84	17,11	41,09	17,35	2,94	19,57
180	30	2	0,35	0,18	1,92	17,41	42,17	15,78	3,27	18,92
180	60	2	0,17	0,09	1,88	17,45	40,72	17,00	2,83	19,86
180	90	2	0,00	0,15	1,46	16,22	40,35	19,68	2,59	19,85
180	120	2	0,07	0,02	1,77	16,77	41,65	17,98	3,07	18,72
Médias			0,15	0,15	1,80	17,04	41,22	17,47	2,54	22,95
200	30	1	0,07	0,07	1,70	15,85	40,10	20,37	2,83	19,02
200	60	1	0,14	0,09	1,27	12,99	41,99	21,26	3,18	19,09
200	90	1	0,05	0,05	1,47	15,36	40,92	20,90	3,03	18,22
200	120	1	0,12	0,12	1,72	15,99	40,01	20,48	2,99	18,56
Médias			0,09	0,08	1,54	17,05	40,75	20,75	3,01	18,72
200	30	2	0,05	0,02	1,62	16,34	40,14	20,27	2,81	21,56
200	60	2	0,34	0,13	1,73	16,42	39,95	19,96	2,84	18,62
200	90	2	0,08	0,01	1,50	15,35	40,10	21,96	2,80	18,22
200	120	2	0,09	0,11	1,56	16,12	41,18	18,34	2,62	19,99
Médias			0,14	0,07	1,60	15,50	40,57	20,48	2,90	19,11
220	30	1	0,12	0,16	1,64	13,27	42,83	16,91	3,49	21,58
220	60	1	0,14	0,09	1,27	12,98	41,95	21,24	3,18	19,16
220	90	1	0,21	0,21	1,38	11,19	42,12	22,43	3,32	19,13
220	120	1	0,12	0,09	1,29	11,30	41,29	23,28	3,12	19,51
Médias			0,15	0,14	1,39	12,19	42,05	20,96	3,28	19,85
220	30	2	0,12	0,16	1,64	13,27	42,83	16,91	3,49	21,58
220	60	2	0,24	0,20	1,51	13,66	42,11	20,43	3,00	18,85
220	90	2	0,05	0,10	1,35	12,97	41,57	21,40	3,01	18,23
220	120	2	0,13	0,10	1,44	13,15	39,82	22,67	2,97	19,72
Médias			0,14	0,12	1,36	12,26	41,77	20,85	3,11	24,49
TESTEMUNHA			0,18	0,13	1,85	17,23	40,89	18,45	2,80	18,48

*1 – ambiente com nitrogênio; e 2 – ambiente a vácuo, sem nitrogênio.

De maneira geral, não houve efeito do tempo de tratamento térmico na perda de massa dos flocos. No entanto, vale ressaltar que era esperada uma perda de massa menor nos flocos tratados nos maiores tempos de residência, tendo em vista a redução de oxigênio e concentração de carbono pela maior degradação térmica da madeira.

Observou-se que nas faixas de temperatura compreendidas entre 100 e 150 °C e 150 a 200 °C a perda de massa foi mínima, em todos os tratamentos térmicos. Os flocos tratados a 180 °C e 200 °C foram menos degradados em relação à testemunha, nesses intervalos, tanto em ambiente com nitrogênio quanto a vácuo. Quando comparados entre si, a presença de nitrogênio na autoclave durante o pré-tratamento resultou em flocos mais estáveis termicamente. Entretanto, a perda de massa a 220 °C foi maior em ambiente com nitrogênio e, de modo geral, todas as médias foram inferiores à testemunha, com exceção da faixa compreendida entre 200 e 250 °C com nitrogênio.

O intervalo entre 150 e 200 °C compreende as temperaturas de tratamento dos flocos (180 e 200 °C). Nessa faixa, pode-se observar que a perda de massa foi pequena em comparação com as outras faixas de temperatura, com valores variando de 0,02 a 0,20%. Isso sugere que a degradação dos constituintes químicos não foi significativa, ou seja, nessa temperatura a madeira se manteve estável termicamente. Segundo Randriamantena *et al.* (2009), entre 100 e 200 °C, tem-se a zona de estabilidade térmica da madeira e limitada pela temperatura de degradação dos constituintes da madeira. Provavelmente, esses valores mais baixos em relação à testemunha sejam devidos à degradação inicial das hemiceluloses.

A faixa entre 200 e 250 °C compreende a temperatura máxima que foi utilizada para o tratamento dos flocos. Os resultados de perda de massa na temperatura de 180 °C, com nitrogênio, foram próximos aos observados na testemunha, com médias iguais a 1,84 e 1,85%, respectivamente. Entretanto, em ambiente com vácuo, verificou-se menor degradação dos flocos tratados quando comparados à testemunha. A 200 °C, os resultados também foram inferiores à testemunha, com médias iguais a 1,54 e 1,57%, relativas ao ambiente com nitrogênio e a vácuo. Avaliando o efeito do ambiente utilizado nos tratamentos térmicos, verificou-se que no ambiente com nitrogênio os flocos foram mais estáveis termicamente em relação ao meio com vácuo, tanto na temperatura de 180 °C quanto na de 200 °C.

Na faixa de 200 a 250 °C, verificou-se que os tratamentos térmicos conduzidos a 220 °C apresentaram as menores perdas de massa, portanto mais estáveis termicamente, tanto em relação à testemunha quanto às demais temperaturas utilizadas neste trabalho. Além da degradação das hemiceluloses, sugere-se que o aumento da cristalinidade da celulose e as ligações cruzadas entre a lignina e os demais constituintes possam ter contribuído para essa

maior estabilidade térmica. Quando os ambientes foram comparados entre si, verificou-se que as menores perdas de massa foram no meio com vácuo, com 1,36%.

Ressalta-se que, de maneira geral, no intervalo entre 200 e 250 °C, à medida que as temperaturas de tratamento (180, 200 e 220 °C) foram elevadas, houve menor perda de massa, conforme a Tabela 4. Dessa forma, supõe-se que esse fato esteja relacionado a possíveis modificações químicas e físicas que possam ter ocorrido nos flocos, a exemplo das reações de policondensação da lignina com outros componentes da parede celular, que podem formar estruturas mais resistentes às modificações térmicas (TJEERDSMA *et al.*, 1998; PONCKSÁC *et al.*, 2006; ESTEVES; PEREIRA, 2009).

Entre 250 e 300 °C foram observados valores médios de perda de massa, com resultados que variaram entre 12,19 e 17,23%. Nesse intervalo, à medida que as temperaturas de tratamento foram elevadas, as perdas de massa foram reduzidas. Segundo Luengo *et al.* (1997), além da degradação das hemiceluloses, entre 180 e 290 °C, a celulose e a lignina também são parcialmente degradadas. Foi observado também que todos os tratamentos térmicos foram mais estáveis termicamente em relação à testemunha. Observou-se também, nessa mesma faixa de degradação térmica, que os flocos tratados termicamente a 180 °C em ambientes com nitrogênio tiveram perdas de massa superiores ao ambiente com vácuo. Entretanto, essa relação não foi observada nas temperaturas de 200 e 220 °C, em que a presença de nitrogênio propiciou maior estabilidade térmica. Esses resultados não foram correlatos àqueles observados na perda de massa dos flocos devido ao tratamento térmico, exceto na temperatura de 200 °C, conforme pode ser constatado na Tabela 6.

A maior degradação térmica dos flocos ocorreu na faixa de 300 a 350 °C, com perdas em torno de 40% da massa inicial. Esse fato pode estar relacionado à degradação da celulose. Luengo *et al.* (1997) afirmaram que entre 290 e 370 °C ocorre a degradação total da celulose. Nesse intervalo, as perdas de massa nos tratamentos realizados a 180 °C foi superior à testemunha, e naqueles tratados a 200 °C essa relação não foi observada, pois a massa de material perdida foi menor. Provavelmente houve rearranjo entre os constituintes químicos, aumentando sua resistência à degradação térmica, enquanto nos flocos tratados a 220 °C ocorreu perda de massa. Entretanto, em temperaturas de tratamento acima de 200 °C houve quebra da estrutura química dos componentes do material termotratado, resultando em maior instabilidade. Em relação ao ambiente de tratamento, verificou-se que a massa de material perdida a 180 °C, em meio a vácuo, foi mais elevada que em ambiente com nitrogênio. Nas demais temperaturas, o nitrogênio propiciou maior degradação dos compostos.

Na faixa de temperatura compreendida entre 350 e 400 °C, observou-se que as maiores perdas de massa aconteceram nos flocos tratados em ambiente a vácuo. Nesse intervalo, a

perda de massa dos flocos tratados a 200 e 220 °C foi superior à da testemunha, enquanto a 180 °C foram verificadas médias inferiores às da testemunha.

Verificou-se que entre 400 e 450 °C a perda de massa foi menor, com médias variando de 2,80 a 3,49%. Nesse intervalo de temperatura, de acordo com a literatura, a maior parte das hemiceluloses e da celulose já foi degradada, logo, a perda de massa maior que acontece nesse intervalo se deve à degradação e à decomposição da lignina, que, segundo concluiu Pereira (2012), a degradação da lignina inicia-se lentamente a 160 °C e se torna mais intensa em temperaturas superiores a 400 °C. Observou-se ainda, com exceção da temperatura de 180 °C, em ambiente com nitrogênio, que a perda de massa dos demais tratamentos térmicos foi superior à obtida pela testemunha. Ressalta-se que os flocos tratados a 220 °C foram menos estáveis termicamente, tanto no ambiente a vácuo quanto com nitrogênio.

Avaliando a análise termogravimétrica, de modo geral, independentemente da temperatura de tratamento dos flocos, verificou-se que a massa residual destes foi maior que a obtida pela testemunha. Uma possível explicação para esse fato é que os retículos formados a partir da lignina e o aumento da celulose cristalina conferiram maior resistência à degradação térmica ao material. Além disso, observou-se que os flocos tiveram perda de massa durante a realização dos tratamentos térmicos (Tabela 5), e esse fato contribuiu para que a massa residual fosse menor.

Observou-se, também, que a perda de massa total foi mais intensa nos flocos pré-tratados em ambiente com nitrogênio. Salienta-se que durante os tratamentos térmicos dos flocos em ambiente com vácuo eram gerados materiais voláteis, advindos da madeira, que se expandiam devido às altas temperaturas. Esse fato ocasionava aumento da pressão interna na autoclave, e então a bomba de vácuo era acionada para succionar os gases e retornar à pressão negativa -1 kgf/cm². Desse modo, provavelmente o ácido acético gerado pela degradação das hemiceluloses foi retirado do meio, evitando-se que reações de despolimerização ocorressem. Entretanto, vale ressaltar que, para a realização dos tratamentos com nitrogênio, inicialmente promovia-se um vácuo dentro da autoclave para depois esta ser preenchida com nitrogênio. Iniciados os tratamentos térmicos, ocorria elevação da pressão devido aos gases gerados; logo, uma válvula era aberta para que a pressão fosse aliviada e retornasse a zero. Durante o período que a válvula permaneceu aberta fazendo a retirada do excesso de gases, provavelmente se retiraram também ácido acético e o nitrogênio presente no ambiente. No entanto, parte desses permaneceu no interior da autoclave, formando mistura de nitrogênio e ácido acético. Esse fato pode ter contribuído para a maior degradação dos constituintes primários.

5. Perda de massa

A análise de variância indicou que a perda de massa dos flocos foi afetada pelos tratamentos térmicos, ocorrendo interações significativas entre a temperatura e o tempo de aquecimento. Na Tabela 5 são apresentados os teores médios da perda de massa dos flocos em função do tempo e da temperatura de tratamento térmico.

Tabela 5 - Valores médios de perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento

Temperaturas (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	Perda de massa (%)			
180	3,31 Bb	4,04 Ba	3,81 Bab	4,03 Ba
200	3,40 Bb	4,29 Ba	3,54 Bb	3,55 Bb
220	4,80 Ac	6,60 Ab	7,16 Aab	7,32 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A extensão da degradação térmica pode ser mensurada a partir da perda de massa dos flocos durante o tratamento. Desse modo, observou-se que houve maior decomposição dos constituintes químicos da madeira na temperatura de 220 °C, principalmente das hemiceluloses, devido à sua maior instabilidade térmica quando comparadas com os demais constituintes primários. No entanto, vale ressaltar que Oliveira (2009) afirmou que não se sabe até que ponto as reduções de massa nos tratamentos térmicos se devem às alterações das hemiceluloses ou se estão vinculadas às transformações da celulose amorfa em cristalina.

De acordo com a Tabela 5, verifica-se ainda que as perdas de massas nas temperaturas de 180 e 200 °C não diferiram significativamente entre si, independentemente do tempo.

De modo geral, observou-se pequeno aumento de perda de massa com o aumento do tempo de tratamento térmico nos flocos tratados a 180 e 200, sendo observada maior perda quando estes foram expostos ao calor por um período de 60 min. Esses resultados não eram esperados, uma vez que, à medida que o tempo de tratamento térmico aumenta, o grau de degradação dos constituintes químicos também deveria aumentar e, conseqüentemente, ocorreriam maiores perdas de massa no maior tempo. Essa condição foi observada na temperatura de 220 °C, sendo a redução da perda de massa entre o maior e o menor tempo de tratamento térmico dos flocos igual a 52,5%.

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios da perda de massa dos flocos termicamente tratados em função do ambiente e da temperatura. A análise de variância

indicou que a perda de massa foi afetada pelo ambiente e pela temperatura, ocorrendo interações significativas entre eles.

Tabela 6 - Valores médios da perda de massa dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento

Ambiente	Temperatura (°C)		
	180	200	220
	Perda de massa (%)		
Vácuo	4,02 Ab	3,98 Ab	6,25 Ba
Nitrogênio	3,58 Bb	3,41 Bb	6,70 Aa

Médias ao longo da coluna seguidas de mesmas letras maiúsculas, assim como médias ao longo das linhas seguidas de letras minúsculas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que, nas temperaturas de 180 e 200 °C, o ambiente a vácuo propiciou as maiores perdas de massa, enquanto a 220 °C os flocos mais degradados foram aqueles que receberam o pré-tratamento na presença de nitrogênio. De acordo com a TGA (Tabela 4), na faixa entre 150 e 200 °C a maior degradação a 180 °C foi observada nos ambientes a vácuo, assim como verificado na Tabela 6 e também no intervalo entre 200 e 250°, em que as temperaturas de 200° em ambiente com vácuo e 220 °C em ambiente com nitrogênio apresentaram a maior degradação térmica.

A decomposição dos constituintes químicos dos flocos foi mais acentuada na temperatura de 220 °C, diferindo-se estatisticamente em relação às demais, tanto no ambiente a vácuo quanto com nitrogênio.

Esteves e Pereira (2009) afirmaram que a perda de massa é um dos fatores mais importantes no tratamento térmico e é comumente referido como indicação de qualidade. Além disso, esses autores afirmaram que a degradação dos constituintes nos tratamentos térmicos depende da espécie, da temperatura e do tempo de aquecimento.

6. Higroscopicidade

A análise de variância indicou que a adsorção de vapor de água pelos flocos, 5 min depois de serem retirados da autoclave, foi afetada significativamente pelos tratamentos térmicos, ocorrendo efeito isolado dos tempos utilizados no pré-tratamento.

Na Tabela 7 são apresentados os teores médios da adsorção de vapor de água dos flocos em função do tempo de aquecimento.

Tabela 7 - Valores médios da higroscopicidade dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, 5 min depois de retirados da autoclave, em função do tempo de pré-tratamento

Tempo (min)	AM5 (%)
30	1,80 A
60	1,80 A
90	1,46 B
120	1,59 AB
Média geral	1,66

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$); e AM5 = aumento de massa dos flocos 5 min depois de serem retirados da autoclave.

Observa-se, nessa tabela, que a adsorção de vapor de água pelos flocos, 5 min após serem retirados da autoclave, não diferiu significativamente entre os tempos de 30, 60 e 120 min, assim como os de 90 e 120 min. Sugere-se que nos menores tempos de residência dos flocos na autoclave não houve homogeneidade nos tratamentos térmicos, justificando a discrepância em relação aos resultados. No entanto, espera-se que, após um período maior de aclimação desses flocos com o ambiente, a higroscopicidade dos flocos termotratados em temperaturas e tempos mais elevados seja reduzida, uma vez que as perdas de massa foram maiores, conforme observado na Tabela 5.

Verificou-se que a adsorção de vapor de água dos flocos, 15 min depois de retirados da autoclave, foi afetada pela temperatura e pelo tempo, ocorrendo interações significativas entre eles. As médias desdobradas podem ser visualizadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios da higroscopicidade dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, 15 min depois de retirados da autoclave, em função do tempo e da temperatura de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	AM15 (%)			
180	1,06 ABb	1,46 Aab	1,50 Aa	1,31 Aab
200	0,81 Bb	1,29 Aa	1,21 ABa	1,19 Aba
220	1,21 Aa	1,24 Aa	1,04 Ba	0,97 Ba

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si e maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

AM15 = higroscopicidade dos flocos 15 min depois de serem retirados da autoclave.

Observa-se que a adsorção de vapor de água pelos flocos, 15 min depois de retirados da autoclave, não seguiu tendência de redução constante em relação às temperaturas analisadas, não sendo essa propriedade afetada pelas diferentes temperaturas somente no tempo de 60 min.

De acordo com a Tabela 8, não houve diferenças significativas entre os diferentes tempos de tratamento térmico sobre a higroscopicidade dos flocos aquecidos a 220 °C.

Entretanto, nas temperaturas de 200 °C a adsorção de umidade foi menor no tempo de 30 min, não diferindo estatisticamente em relação às demais. A 180 °C não foi observada tendência de aumento da higroscopicidade à medida que os tempos foram elevados.

7. Densidade aparente dos painéis

A densidade aparente média dos painéis OSB fabricados com flocos tratados termicamente foi igual a 0,70 g/cm³, conforme estabelecido. Segundo a classificação descrita pela ANSI/A 208.1 (Quadro 1), esses painéis são de média densidade, que considera valores variando entre 0,64 e 0,80 g/cm³.

Assim como observado neste estudo, Paul *et al.* (2007) verificaram que a densidade dos painéis OSB não foi afetada pelo pré-tratamento a 200 ou 240 °C por 1 h. Entretanto, Del Menezzi *et al.* (2008) constataram que a densidade dos painéis aumentou com o pós-tratamento, uma vez que o tratamento térmico agiu como uma nova prensagem.

Vale salientar que a perda de massa observada nos flocos foi devida, principalmente, à degradação das hemiceluloses e, ou, evaporação de extrativos ocorrida antes da fabricação dos painéis. Logo, na montagem do colchão, a massa de flocos e o volume dos painéis foram os mesmos para qualquer tratamento, o que explica as densidades semelhantes de todos os painéis.

8. Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e dos painéis OSB

A análise de variância indicou que a umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos foi afetada pelos tratamentos térmicos quando comparados à testemunha, e os valores médios estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura, comparados à testemunha

Temperatura (°C)	UEF (%)
180	8,19 *
200	5,00 *
220	7,32 *
Testemunha	10,52

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).
UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados.

Observa-se, nessa tabela, que a umidade de equilíbrio dos flocos tratados termicamente foi significativamente menor em relação à testemunha. Essa redução foi de 28,45% quando tratados a 180 °C, 110,4% a 200 °C e 43,72% a 220 °C. Possivelmente, o aquecimento dos flocos reduziu a quantidade de grupos OH disponíveis.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios da umidade de equilíbrio dos flocos em função do ambiente, comparados à testemunha.

Tabela 10 - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente, comparados à testemunha

Ambiente	UEF (%)
Vácuo	7,16 *
Nitrogênio	6,52 *
Testemunha	10,52

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).
UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados.

Verifica-se que a umidade de equilíbrio dos flocos pré-tratados foi afetada pelos ambientes com nitrogênio e a vácuo, diferindo-se estatisticamente em relação à testemunha. Essa propriedade foi reduzida 46,93% no ambiente a vácuo e 61,35% em ambiente com nitrogênio.

A análise de variância indicou que as umidades de equilíbrio dos flocos e dos painéis OSB foram afetadas pelos tempos de aquecimento. Na Tabela 11 são apresentadas as médias dessas propriedades em função do tempo de tratamento dos flocos.

Tabela 11 - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e a umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do tempo, comparados à testemunha

Tempo (min)	UEF (%)	UEP (%)
30	7,82	8,86
60	6,16 *	8,46
90	6,84 *	8,31
120	6,54 *	7,52 *
Testemunha	10,52	8,66

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).
UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados; e UEP – Umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB.

Nessa tabela, observa-se que a umidade de equilíbrio dos flocos tratados termicamente reduziu significativamente em relação à testemunha, exceto aqueles tratados durante 30 min.

A umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos tratados durante 120 min foi menor que a verificada na testemunha, com redução de 15,16% nessa propriedade. Possivelmente, esses resultados se devem à maior degradação térmica provocada pelo maior

tempo de aquecimento dos flocos. Ressalta-se que essa discrepância em relação aos resultados da umidade de equilíbrio dos flocos e dos painéis OSB pode ser devido ao adesivo fenol-formaldeído e, possivelmente, conferiu à testemunha resultados semelhantes aos painéis com flocos tratados a 30, 60 e 90 min.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios de umidade de equilíbrio dos flocos e também dos painéis OSB em função da temperatura e atmosfera utilizada no pré-tratamento dos flocos. Analisando os dados, observou-se que a umidade de equilíbrio foi afetada pelos tratamentos térmicos e houve interação significativa entre as temperaturas e o ambiente.

Tabela 12 - Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento

Ambiente	Temperatura (°C)		
	180	200	220
	UEF (%)		
Vácuo	9,52 Aa	4,67 Ac	7,29 Ab
Nitrogênio	6,86 Ba	5,34 Ab	7,36 Aa
	UEP (%)		
Vácuo	8,29 Ba	8,43 Aa	7,51 Ab
Nitrogênio	8,80 Aa	8,15 Ab	7,49 Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados; e UEP – Umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB.

Verifica-se, nessa tabela, que a umidade de equilíbrio tanto dos flocos quanto dos painéis não foi afetada pelo ambiente utilizado no tratamento térmico, exceto nos termotratados na temperatura de 180 °C, sendo os valores da umidade dos flocos no ambiente com nitrogênio menores quando comparados com os do ambiente a vácuo, com redução de 38,78%, e a umidade dos painéis OSB em ambiente a vácuo 6,15% menor em relação ao ambiente com nitrogênio. Verificou-se, também, que a umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados foi menor a 200 °C, tanto no ambiente com nitrogênio quanto a vácuo, e diferiu das temperaturas de 180 e 220 °C. Era esperado que essa propriedade fosse reduzida à medida que a temperatura aumentasse, devido à degradação parcial dos constituintes químicos e, ou, aos rearranjos das cadeias de celulose.

O valor da umidade de equilíbrio higroscópico foi menor em painéis pré-tratados a 220 °C, independentemente do ambiente em que eles foram submetidos. Essa menor higroscopicidade dos painéis pode resultar em maior estabilidade dimensional (MOHEBBY; SANAEI, 2005; TJEERDSMA *et al.*, 1998; ESTEVES; PEREIRA, 2009). Sugere-se que essa

diminuição se deva, provavelmente, à redução da quantidade de grupos hidroxilas capazes de trocar água com o meio, ou seja, a quantidade de água adsorvida nas paredes das células foi menor (ARAÚJO *et al.*, 2012; BATISTA; KLITZKE, 2010).

De modo geral, a umidade de equilíbrio dos painéis OSB não foi afetada pelos ambientes, sendo observadas diferenças significativas somente na temperatura de 180 °C, em que as maiores médias foram verificadas no meio com nitrogênio.

A análise de variância indicou que a umidade de equilíbrio dos flocos, assim como a umidade de equilíbrio dos painéis OSB, foi afetada significativamente pela temperatura e pelo tempo de tratamento térmico. A Tabela 13 apresenta os valores médios dessas umidades em função do tempo e da temperatura.

Tabela 13 - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos e umidade de equilíbrio dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do tempo e da temperatura de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	UEF (%)			
180	10,21 Aa	7,35 Abc	8,45 Ab	6,75 ABc
200	4,27 Cb	4,46 Bb	5,54 Bab	5,74 Ba
220	8,99 Ba	6,67 Bb	6,54 Bb	7,12 Ab
	UEP(%)			
180	8,61 Ab	8,43 Ab	9,14 Aa	7,99 Ac
200	8,86 Aa	8,46 Ab	8,31 Bb	7,52 Bc
220	8,82 Aa	7,59 Bb	6,70 Cc	6,90 Cc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados; e UEP – Umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB.

Observa-se, nessa tabela, que, de modo geral, a umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos tratados termicamente a 180 °C foi maior em relação aos demais, com exceção do pré-tratamento a 120 min, em que as umidades dos flocos tratados a 180 e 220 °C não diferiram significativamente entre si.

Verificou-se que a umidade de equilíbrio dos flocos pré-tratados a 200 °C aumentou com o decorrer do tempo de aquecimento, entretanto a 180 e 220 °C houve redução dessa propriedade a partir de 60 min. Ressalta-se que a 220 °C a umidade dos flocos foi semelhante nos tempos de 60, 90 e 120 min.

Os painéis OSB produzidos com flocos tratados durante 30 min não foram afetados pela temperatura de tratamento térmico. Esse fato evidencia que temperaturas mais amenas,

como 180 °C, podem ser usadas para se obter produto com as mesmas umidades de equilíbrio, uma vez que menos energia é requerida para o aquecimento da autoclave.

De modo geral, a umidade de equilíbrio dos painéis diminuiu com o aumento do tempo de tratamento térmico, exceto naqueles produzidos no tempo de 90 min e temperatura de 180 °C. Essa redução se deve, provavelmente, à maior degradação das hidroxilas, principalmente das hemiceluloses, tendo, portanto, menos sítios de adsorção para fazer ligação com as moléculas de água. Além disso, Jämsä e Viitaniemi (2001) e Boonstra e Tjeerdsma (2006) afirmaram que o aumento na cristalinidade da celulose e formação de ligações cruzadas da lignina é observado quando o tempo de aquecimento é prolongado.

As menores umidades de equilíbrio higroscópico foram observadas no pré-tratamento a 220 °C. Supõe-se que nessa temperatura a degradação dos constituintes primários foi mais intensa, corroborando com os dados referentes à perda de massa, apresentados na Tabela 5.

Paul *et al.* (2007), pesquisando a influência da temperatura de pré-tratamento nas propriedades de painéis OSB, constataram que, apesar da menor higroscopicidade, com o aumento da temperatura outros fatores devem ser considerados sobre o grau de modificação, como o ambiente, o tempo de tratamento, a temperatura, a espécie e as propriedades requeridas.

Observou-se que as umidades de equilíbrio higroscópico dos flocos e dos painéis OSB foram afetadas pelos tratamentos térmicos, ocorrendo interações significativas entre o ambiente e a temperatura. As médias desdobradas podem ser visualizadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambiente	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	UEF (%)			
Vácuo	7,48 Aa	7,00 Aa	7,02 Aa	7,14 Aa
Nitrogênio	8,17 Aa	5,32 Bc	6,67 Ab	5,93 Bbc
	UEP (%)			
Vácuo	9,03 Aa	8,01 Ab	7,81 Ab	7,45 Ab
Nitrogênio	8,50 Ba	8,31 Aa	8,29 Aa	7,49 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

UEF – Umidade de equilíbrio higroscópico dos flocos pré-tratados; e UEP – Umidade de equilíbrio higroscópico dos painéis OSB.

Observa-se que a umidade de equilíbrio dos flocos não foi afetada pelos tempos de aquecimento no ambiente a vácuo. No ambiente com nitrogênio, a umidade dos flocos não diferiu significativamente nos tempos de 60 e 120 min, assim como a 90 e 120 min.

A umidade dos flocos não foi afetada pelos ambientes nos tempos de 30 e 90 min de pré-tratamentos, contudo a 60 e 120 min no ambiente com nitrogênio foram observadas as menores umidades.

A umidade de equilíbrio dos painéis OSB, tratados sob vácuo, no tempo de 30 min foi significativamente maior em relação aos demais, os quais não diferiram entre si.

Nos painéis produzidos com flocos tratados com nitrogênio, a menor umidade de equilíbrio foi observada naqueles produzidos com flocos aquecidos por 120 min. Provavelmente, nesse tempo de tratamento o número de grupos OH hidrofílicos seja menor em relação aos demais tempos, os quais podem ter sido substituídos por grupos hidrofóbicos *O*-acetil. Além disso, a reticulação da lignina pode ter sido mais intensa, o que diminuiu a capacidade dos painéis em adsorver moléculas de água (HOMAN *et al.*, 2000; BOONSTRA; TJEERDSMA, 2006).

De modo geral, a umidade dos painéis produzidos com flocos tratados com nitrogênio e a vácuo foi semelhante, diferindo apenas no tempo de 30 min, quando se observaram menores valores naqueles produzidos com nitrogênio.

9. Absorção dos painéis OSB após 2 e 24 h de imersão em água e adsorção de umidade a 90% de umidade relativa do ar (90% UR)

A análise de variância indicou que a absorção de água dos painéis OSB após 2 e 24 h de imersão em água foi afeta pelos tratamentos.

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios de absorção após 2 e 24 h de imersão em água, em função da temperatura de tratamento térmico.

Tabela 15 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função da temperatura, comparados à testemunha

Temperaturas (°C)	Absorção – 2 h Absorção – 24 h	
	Porcentagem (%)	
180	19,14*	54,17*
200	17,78 *	48,79*
220	13,17 *	40,90*
Testemunha	53,67	75,56

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

Observa-se, nessa tabela, que a absorção de água dos painéis OSB termotratados foi menor em relação aos valores médios da testemunha. Após 2 h de imersão, os tratamentos térmicos propiciaram reduções entre 64,34 e 75,46%, enquanto após 24 h essa foi reduzida

para 180,41 a 296,27%. O caráter hidrofóbico da parede celular pode ter contribuído para os menores resultados dessa propriedade. Segundo Del Menezzi *et al.* (2008) e Borges e Quirino (2004), a modificação da estrutura química de alguns compostos, causada pelos tratamentos térmicos, pode ser uma possível explicação para o aumento do caráter hidrofóbico. Sugere-se que esse fato seja devido à menor quantidade de grupos hidroxilas presentes na parede celular depois que os flocos foram tratados termicamente, reduzindo a passagem de água pelos sítios de adsorção entre as células adjacentes.

A análise de variância indicou que a absorção de água dos painéis OSB após 2 e 24 h de imersão em água foi afetada pelo tempo.

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios de absorção após 2 e 24 h de imersão em água, em função do tempo de tratamento térmico.

Tabela 16 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do tempo, comparados à testemunha

Tempo (min)	Absorção (%) – 2 h	Absorção (%) – 24 h
30	20,91*	56,03*
60	15,88*	48,49*
90	14,98*	45,12*
120	15,02*	42,18*
Testemunha	53,67	75,56

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

Observa-se que a absorção de água dos painéis OSB após 2 h de imersão diferiu estatisticamente em relação à testemunha em todos os tempos de tratamento térmico, e as reduções nos tempos de 30, 60, 90 e 120 min foram iguais a 156,67%, 237,97%, 258,28% e 257,32%, respectivamente. Verifica-se também, na Tabela 15, que depois de 24 h de imersão os valores de absorção de água dos painéis reduziram 34,86%, 55,83%, 67,46% e 79,14% em relação à testemunha, nos mesmos tempos considerados.

A absorção de água dos painéis OSB após 2 e 24 h foi afetada significativamente pelas temperaturas, e os valores médios dessa propriedade estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função da temperatura de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Absorção (%) – 2 h
180	19,14 A
200	17,78 A
220	13,17 B
Média geral	16,70

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Observa-se que a absorção de água dos painéis OSB tratados nas temperaturas de 180 e 200 °C não diferiram estatisticamente entre si. Contudo, quando o tratamento térmico foi realizado a 220 °C, os valores médios foram reduzidos em 45,33 e 35%, respectivamente, nos painéis produzidos com flocos tratados a 180 °C e 200 °C, respectivamente. Esses resultados foram correlatos àqueles encontrados para a perda de massa, conforme a Tabela 5.

A análise de variância indicou que a absorção de água dos painéis OSB após 2 h de imersão em água foi afetada pelo tratamento térmico, tendo efeito isolado do tempo de tratamento dos flocos.

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios da absorção em água após 2 h de imersão, em função do tempo de pré-tratamento.

Tabela 18 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função do tempo de pré-tratamento

Tempo (min)	Absorção (%) – 2 h
30	20,91 A
60	15,88 B
90	14,98 B
120	15,01 B
Média geral	16,70

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Observa-se, nessa tabela, que a absorção de água dos painéis OSB, após 2 h de imersão, foi reduzida quando os flocos foram tratados em tempo igual ou superior a 60 min. Vale ressaltar que não houve diferenças significativas entre os tempos de 60, 90 e 120 min. Os painéis produzidos com flocos tratados termicamente por 30 min apresentaram as maiores médias para essa propriedade e, portanto, o pior desempenho.

A análise de variância indicou que a absorção de água dos painéis OSB foi afetada significativamente pela temperatura e pelo tempo de aquecimento dos flocos. A Tabela 19 apresenta os valores médios de absorção de água dos painéis após 24 h de imersão em água, em função do tempo e da temperatura de tratamento térmico dos flocos.

Tabela 19 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 24 h de imersão, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento

Temperaturas (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	Absorção (%) – 24 h			
180	60,34 Aa	50,59 Aa	57,95 Aa	47,80 Aa
200	58,59 Aa	55,45 ABa	41,70 Bb	39,42 Ab
220	49,16 Aa	39,42 Bab	35,71 Bb	39,33 Aab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A absorção de água dos painéis OSB confeccionados com flocos tratados a 180 °C não foi afetada pelos tempos de tratamento, após 24 h de imersão. Observa-se que a 200 °C a absorção foi significativamente menor naqueles produzidos com flocos tratados a 90 e 120 dias. Contudo, a 220 °C não houve tendência de redução, pois no tempo de 30, 60 e 120 min não foram observadas diferenças significativas entre os valores de absorção de água após 24 h, assim como também não foram verificadas diferenças entre 60, 90 e 120 min.

Verifica-se que, no tempo de 30 e 120 min, a absorção de água pelos painéis após 24 h não foi afetada pelas temperaturas, enquanto os produzidos com flocos tratados durante 60 min não diferiu entre as temperaturas de 180 e 200 °C, assim como a 200 e 220 °C. Observou-se que a absorção de água foi menor no tempo de 90 min e temperaturas de 200 e 220 °C, e esses valores médios foram semelhantes entre si.

A absorção de água pelos painéis OSB foi afetada significativamente pelo ambiente e pelo tempo de tratamento térmico dos flocos. Na Tabela 20 são apresentados os valores médios dessa propriedade, após 24 h de imersão em água, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento.

Tabela 20 - Valores médios da absorção de água dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 24 h de imersão, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambiente	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	Absorção (%) - 24 h			
Vácuo	61,82 Aa	46,73 Ab	40,30 Bb	39,73 Ab
Nitrogênio	50,24 Ba	50,25 Aa	49,94 Aa	44,63 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se, nessa tabela, que a absorção de água pelos painéis OSB produzidos com os flocos tratados em ambiente a vácuo não foi afetada significativamente pelo tempo de

aquecimento, exceto aqueles produzidos com flocos tratados a 30 min que teve maior absorção. Desse modo, ressalta-se que tempos adicionais de aquecimento, acima de 60 min, não são necessários, uma vez que envolvem gasto adicional de energia, além de períodos mais extensos para preparo da matéria-prima para produção dos painéis. Del Menezzi (2004) afirmou que a aplicação de calor melhora a estabilidade dimensional dos painéis, com diminuição do inchamento e da absorção de água.

Nos painéis OSB produzidos com flocos tratados em atmosfera de nitrogênio, observou-se que não houve efeito do tempo, ou seja, não houve diferença na absorção de água pelos painéis. Segundo Mendes (2010), o nitrogênio proporciona uma atmosfera inerte e reduz o risco de incêndio dos flocos, devido às altas temperaturas utilizadas nos tratamentos térmicos.

De acordo com Johansson (2008), os constituintes principais da madeira (celulose, lignina, hemiceluloses e extrativos) sofrem rearranjos e degradações com as temperaturas e ambientes utilizados nos tratamentos térmicos. Quando esses tratamentos são realizados em ambientes fechados, ocorre ainda a interação com o ácido acético produzido da degradação das hemiceluloses.

Neste trabalho, verificou-se que as reações na autoclave não foram uniformes, uma vez que não foi constatada tendência constante de absorção de água nos ambientes com nitrogênio ou a vácuo, quando comparados entre si. Araújo *et al.* (2012) avaliaram a influência do tratamento térmico sobre diferentes madeiras e afirmaram que houve maior formação de vapor d'água no ambiente com nitrogênio, em relação ao vácuo.

Quanto à adsorção de umidade a 90% UR pelos painéis, verificou-se que não houve diferenças significativas entre os painéis com flocos tratados termicamente e a testemunha, tendo um valor médio igual a 8,25%. Além disso, a análise de variância indicou, também, que não houve efeito do tempo e da temperatura nessa propriedade nos painéis OSB produzidos com flocos termotratados.

A adsorção de umidade pelos painéis OSB produzidos com flocos tratados termicamente em ambiente com nitrogênio foi igual a 7,15%, diferindo-se significativamente da testemunha, com 8,25%, portanto uma redução de 15,38%. Entretanto, a adsorção de umidade dos painéis OSB produzidos com flocos tratados em ambiente a vácuo não foi afetada significativamente (7,74%).

10. Inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão em água e inchamento em espessura a 90% de umidade relativa do ar (90% UR)

A análise de variância indicou que o inchamento em espessura dos painéis OSB após 2 e 24 h de imersão em água foi afetado pelas temperaturas de tratamento dos flocos. Na Tabela 21 são apresentados os valores médios do inchamento em espessura dos painéis tratados termicamente comparados entre si e com a testemunha, após 2 e 24 h de imersão em água, em função da temperatura de pré-tratamento.

Tabela 21 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função da temperatura, comparados à testemunha

Temperatura (°C)	IED (%)	IEVQ (%)
180	6,68 *	22,98 A
200	6,09 *	20,00 A
220	4,5 *	12,66 B*
Testemunha	16,96	26,66

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

IED – inchamento em espessura após 2 h; e IEVQ – inchamento em espessura após 24 h.

Observa-se, nessa tabela, que os valores médios de inchamento em espessura de todos os painéis OSB tratados termicamente foram significativamente menores em relação à testemunha, depois de 2 h de imersão em água. Constatou-se que as temperaturas de 180, 200 e 220 °C propiciaram redução equivalente a 142,98, 178,49 e 278,89%, respectivamente, quando comparados à testemunha. Depois de 24 h de imersão em água, os valores médios de inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos tratados a 180 e 200 °C não diferiram da testemunha. No entanto, para os produzidos com flocos tratados a 220 °C, houve redução de 110,58% no inchamento, tendo, portanto, painéis mais estáveis. Observa-se, também, que o inchamento em espessura dos painéis OSB confeccionados com flocos tratados a 180 e 200 °C não diferiram significativamente entre si, após 24 h de imersão em água. Entretanto, quando foram utilizadas temperaturas de 220 °C, os valores de inchamento em espessura foram reduzidos em 57,98% em relação à temperatura de 200 °C e 81,52% em relação a 180 °C. Sugere-se que a maior estabilidade dimensional desses painéis seja devida à menor quantidade de sítios de adsorção disponíveis na parede celular.

A norma CSA 0437.0-93 estabelece que o inchamento máximo em espessura deva ser inferior a 15%, após 24 h de imersão em água, em painéis com espessura inferior a 12,7 mm. Observa-se que apenas os painéis produzidos com flocos tratados a 220 °C atenderam a essa exigência.

Na Tabela 22 estão apresentados os valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão em água, em função do ambiente, comparados à testemunha. A análise de variância indicou que o inchamento em espessura de alguns dos painéis OSB após 2 e 24 h de imersão em água foi afetado pelas temperaturas de tratamento dos flocos.

Tabela 22 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do ambiente, comparados com a testemunha

Ambiente	IED (%)	IEVQ (%)
Vácuo	6,22 *	20,54
Nitrogênio	5,31 *	16,56*
Testemunha	16,96	26,66

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).
IED – inchamento em espessura após 2 h; e IEVQ – inchamento em espessura após 24 h..

Verifica-se, nessa tabela, que o inchamento em espessura dos painéis OSB tratados em ambiente com nitrogênio e a vácuo foi significativamente menor em relação à testemunha, depois de 2 h de imersão em água. Entretanto, depois de 24 h de imersão essa condição foi observada somente nos painéis tratados em ambiente com nitrogênio, com redução igual a 37,88%. É provável que esse fato tenha sido ocasionado pela maior degradação do material e, conseqüentemente, menos sítios de sorção disponíveis. O inchamento é ocasionado pela entrada de moléculas de água nas paredes celulares e, com isso, sugere-se que a perda de massa tenha sido maior no tratamento térmico dos flocos em ambiente com nitrogênio, conforme observado pela Tabela 6 nas temperaturas de 180 e 200 °C.

A Tabela 23 apresenta os valores médios de inchamento em espessura dos painéis OSB tratados termicamente comparados à testemunha, após 2 e 24 h de imersão em água. De acordo com a análise de variância houve diferenças significativas entre os painéis que receberam o pré-tratamento e a testemunha.

Tabela 23 - Valores médios do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 e 24 h de imersão, em função do tempo e da temperatura, comparados à testemunha de pré-tratamento

Tempo (min)	IED (%)	IEVQ (%)
Testemunha	16,96	26,66
30	7,98*	23,66 A
60	5,48*	19,57 AB*
90	5,36*	16,06 B*
120	4,22*	14,91 B*
Média	7,69	18,55

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

IED – inchamento em espessura após 2 h; e IEVQ – inchamento em espessura após 24 h.

Os valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão em água, dos painéis OSB tratados termicamente, foram significativamente menores que os obtidos da testemunha, exceto naqueles produzidos com flocos tratados durante 30 min.

Observou-se que o inchamento em espessura dos painéis OSB após 24 h de imersão foi menor quando se utilizou tempo de aquecimento superior a 60 min.

Verificou-se pela análise de variância que o inchamento em espessura dos painéis OSB após 2 h de imersão em água foi afetado pelos tratamentos térmicos e houve interação entre o ambiente e a temperatura de tratamento dos flocos. Também foi observado que o inchamento em espessura dos painéis OSB a 90% UR foi afetado pelos tratamentos térmicos.

Na Tabela 24 são apresentados os valores médios do inchamento em espessura após 2 h de imersão em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento e também os valores médios de inchamento em espessura dos painéis OSB após a exposição de umidade relativa de 90%.

Tabela 24 - Valores médios de inchamento em espessura a 90% de UR e do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função do ambiente e da temperatura de pré-tratamento

Ambiente	Temperatura (°C)		
	180	200	220
Inchamento em espessura (%) – 2 h			
Vácuo	5,62 Ba	7,64 Aa	5,39 Aa
Nitrogênio	7,75 Aa	4,56 Bb	3,61 Ab
Inchamento em espessura (%) – 90% UR			
Vácuo	12,04 Aa	11,30 Aa	10,93 Aa
Nitrogênio	10,84 Ba	10,47 Aa	8,40 Bb

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si e maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ambiente com vácuo, não foi observado efeito significativo no inchamento em espessura dos painéis OSB quando as temperaturas de tratamento térmico dos flocos foram elevadas. Em ambiente com nitrogênio, o inchamento dos painéis foi significativamente reduzido nas temperaturas de 200 e 220 °C, os quais não diferiram entre si. Desse modo, em tratamentos realizados com nitrogênio não há necessidade de temperaturas superiores a 200 °C, tendo com isso economia de energia e ganho de produção.

Observa-se que, após 2 h, o inchamento em espessura dos painéis OSB teve efeito significativo entre os ambientes a vácuo e com nitrogênio, na temperatura de 180 °C,

enquanto a 200 °C e 220 °C as menores médias foram verificadas em ambiente com nitrogênio. Possivelmente, isso se deve à maior degradação dos flocos durante os tratamentos térmicos nos ambientes com nitrogênio.

Verificou-se que o inchamento em espessura dos painéis, após exposição à umidade relativa de 90%, não foi afetado significativamente pelas temperaturas de tratamento térmico, tanto em ambiente com nitrogênio quanto a vácuo, exceto na condição a 220 °C com nitrogênio em que essa propriedade foi reduzida.

Avaliando o ambiente utilizado no tratamento dos flocos, observou-se que o inchamento em espessura a 90% UR dos painéis produzidos com flocos tratados nas temperaturas de 180 e 220 °C e ambiente de nitrogênio incharam menos em relação aos tratados a vácuo. Ressalta-se que, além do menor inchamento a 90% UR, o ambiente com nitrogênio propiciou menor adsorção de umidade, e maiores perdas de massa a 180 e 200 °C, de acordo com a Tabela 6. Esse fato deve estar relacionado à maior degradação dos constituintes amorfos e mais hidrofílico da madeira.

Verificou-se, pela análise de variância, que o inchamento em espessura após 2 h de imersão em água e o inchamento em espessura dos painéis OSB a 90% de UR foram afetados pelos tratamentos térmicos, havendo interação significativa entre a temperatura e o tempo de tratamento dos flocos.

A Tabela 25 apresenta os valores médios de inchamento e espessura dos painéis OSB após 2 h de imersão em água e o inchamento em espessura a 90% de UR em função do tempo e da temperatura de aquecimento dos flocos.

Tabela 25 - Valores médios de inchamento em espessura a 90% de UR e o inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, após 2 h de imersão, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
Inchamento em espessura (%) – 2 h				
180	7,43 Aa	5,26 Aa	8,39 Aa	5,66 Aa
200	9,12 Aa	7,00 Aab	4,70 Bb	3,58 Ab
220	7,40 Aa	4,17 Aab	3,00 Bb	3,44Ab
Inchamento em espessura (%) – 90% UR				
180	13,12 Aa	11,23 Ab	10,77 Ab	10,63 Ab
200	9,70 Ba	11,46 Aa	11,04 Aa	11,36 Aa
220	11,49 Aa	9,79 Ab	8,68 Bb	8,71 Bb

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si e maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O inchamento em espessura dos painéis produzidos com flocos termotratados a 180 °C não foi afetado significativamente pelo aumento dos tempos de aquecimento, após 2 h de imersão em água. Possivelmente, a utilização da parafina e do adesivo fenol-formaldeído conferiu estabilidade a todos os painéis. Mendes *et al.* (2002) observaram que a incorporação da parafina ao colchão reduz a higroscopicidade dos flocos, pois esta reage quimicamente com a madeira, ocupando os sítios hidroxílicos higroscópicos, e também melhora sua estabilidade dimensional. Nas temperaturas de 200 e 220 °C, o inchamento em espessura foi menor nos painéis produzidos com flocos tratados com tempo superior a 60 min, tendo também esses menor variação dimensional.

Quando as temperaturas foram comparadas entre si, houve diferenças significativas no inchamento em espessura dos painéis, após 2 h de imersão, apenas naqueles produzidos com flocos tratados a 200 e 220 °C e 90 min, os quais incharam 78,51% e 179,67%, respectivamente, a menos em relação aos tratados a 180 °C.

Observou-se que o inchamento em espessura a 90% UR dos painéis tratados a 200 °C não foi afetado pelos diferentes tempos de aquecimento. Nas temperaturas de 180 e 220 °C e tempos superiores a 60 min também não foram verificadas diferenças significativas no inchamento em espessura dos painéis. Era esperado aumento na estabilidade térmica dos painéis com o aumento do tempo de tratamento térmico dos flocos, devido à redução da disponibilidade de sítios de sorção nas paredes celulares. Esses resultados estão em conformidade com o inchamento em espessura após 2 e 24 h, apenas na temperatura de 220 °C.

Verificou-se que a 90 e 120 min os painéis mais estáveis dimensionalmente foram os produzidos com flocos tratados termicamente a 220 °C, assim como no tempo de 30 min a 200 °C.

Mendes (2010) observou que a melhoria da ligação entre os flocos foi acompanhada pela diminuição do inchamento em espessura em painéis OSB tratados a 240°C. De modo geral, essa relação também foi observada neste trabalho, em que os painéis com maiores valores de tração perpendicular (Tabela 25) foram, concomitantemente, aqueles com menores resultados de inchamento em espessura.

Na Tabela 26 são apresentados os valores médios de inchamento em espessura dos painéis OSB a 90% de UR e do inchamento em espessura após 2 h de imersão em água, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento dos flocos.

A análise de variância indicou que o inchamento em espessura dos painéis OSB após 2 h de imersão em água e o inchamento em espessura a 90% UR foram afetados pelos tratamentos térmicos, havendo interação significativa entre o ambiente e o tempo de pré-

tratamento dos flocos.

Tabela 26 - Valores médios do inchamento em espessura a 90% de UR e do inchamento em espessura dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente após 2 h de imersão, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambiente	Tempo (min)			
	30	60	90	120
Inchamento em espessura (%) – 2 h				
Vácuo	9,81 Aa	6,00 Ab	4,85 Ab	4,20 Ab
Nitrogênio	6,16 Ba	4,95 Aa	5,88 Aa	4,25 Aa
Inchamento em espessura (%) – 90% UR				
Vácuo	11,59 Aa	12,06 Aa	11,43 Aa	10,61 Aa
Nitrogênio	11,29 Aa	9,60 Bb	8,89 Bb	9,85 Ab

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si e maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se, nessa tabela, que o inchamento em espessura, após 2 h de imersão não foi afetado pelo ambiente utilizado no tratamento térmico, exceto nos painéis produzidos com flocos tratados durante 30 min. Observa-se também que o inchamento em espessura dos painéis OSB após 2 h de imersão, tratados em ambiente a vácuo e tempos superiores a 30 min, foi reduzido significativamente, não tendo diferenças significativas entre os tempos de 60, 90 e 130 min, sendo que o inchamento reduzido entre 63,5 e 133,57%. Esses resultados estão coerentes com os dados de umidade de equilíbrio, apresentados na Tabela 12, uma vez que foi observada menor higroscopicidade dos painéis tratados a 60, 90 e 120 min, em ambiente a vácuo, e também com a perda de massa, conforme Tabelas 4 e 5. Essas reduções são atribuídas à menor quantidade de grupos hidroxilas nas paredes celulares. Dessa forma, era esperado que o inchamento em espessura desses painéis também tivesse seus valores reduzidos.

Verifica-se, na Tabela 26, que o inchamento em espessura dos painéis OSB a 90% UR não diferiu significativamente entre os tempos considerados neste trabalho no ambiente a vácuo. Essa relação também foi observada nos tempos superiores a 60 min na presença de nitrogênio, sendo constatada redução de 17,60% quando os tempos de 30 e 60 min foram comparados entre si, assim como 27% a 90 min e 14,62% a 120 min. Somente os painéis que receberam pré-tratamento a 60 e 90 min foram afetados pelo ambiente de tratamento, e a presença de nitrogênio propiciou menor inchamento e, conseqüentemente, painéis mais estáveis dimensionalmente.

11. Tração perpendicular

O valor médio da resistência à tração perpendicular dos painéis testemunha foi igual a 0,338 MPa. A análise de variância indicou que não houve diferenças significativas entre os valores da testemunha e os observados nos painéis tratados termicamente. Resultados similares também foram obtidos por Okino *et al.* (2007) e Del Menezzi *et al.* (2008), em painéis OSB que receberam pós-tratamento. Supõe-se que as ligações adesivas desses painéis não foram comprometidas pelo tratamento térmico quando comparados aos da testemunha.

Na Tabela 27 são apresentados os valores médios de resistência à tração perpendicular dos painéis produzidos com flocos tratados termicamente em função do tempo de pré-tratamento.

Tabela 27 – Valores médios de tração perpendicular dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	Tração perpendicular (MPa)			
180	0,20 Aa	0,23 Aa	0,18 Ba	0,20 Aa
200	0,27 Aa	0,24 Aa	0,22 Ba	0,33 Aa
220	0,16 Ac	0,34 Ab	0,52 Aa	0,36 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se, nessa tabela, que o aumento na temperatura dos tratamentos térmicos não afetou significativamente a resistência à tração perpendicular dos painéis produzidos com flocos tratados a 180 e 200 °C. Os maiores valores de resistência à tração foram obtidos nos painéis produzidos com flocos tratados a 220 °C durante 90 min, sendo esses 35% mais resistentes que a testemunha. Acredita-se que esse aumento pode ter sido ocasionado pela reação dos extrativos com a lignina, podendo gerar produtos com características adesivas, aumentando a união adesiva e, conseqüentemente, a ligação interna dos painéis, conforme relatado por Chow e Piquet (19710). Entretanto, Lára Santos *et al.* (2009) afirmaram que os tratamentos térmicos podem inativar a superfície da madeira e dificultar a adesão dos substratos. Ressalta-se que essa afirmação somente é válida para madeira com extrativos voláteis.

Iswanto *et al.* (2010), estudando painéis OSB produzidos com flocos tratados a vapor a 126 °C, obtiveram valores de resistência à tração perpendicular de até 1,9 Mpa, superiores aos observados neste trabalho. Segundo esses autores, essa maior ligação interna se deve aos

açúcares convertidos a intermediários de furano e, posteriormente, em resinas durante o tratamento, resultando em maior resistência da ligação interna.

A norma canadense CSA O437.0-93 classifica os painéis em O1 e O2, conforme sua qualidade, estabelecendo valores mínimos para o ensaio de tração perpendicular de 0,345 MPa para esses tipos de painéis. Quanto aos painéis OSB tratados termicamente, somente os tratados durante 90 e 120 min e a 220 °C atenderam ao mínimo estipulado para serem comercializados.

Sugere-se que os menores valores observados na testemunha, em comparação com os painéis OSB comerciais, sejam devidos à dimensão dos flocos, uma vez que comercialmente estes possuem 15 cm de comprimento e aqueles utilizados neste trabalho, 9 cm. Com isso, a superfície de contato entre os flocos é maior e a capacidade de transmitir esforços também é elevada.

12. Dureza Janka

A dureza Janka dos painéis OSB confeccionados com flocos tratados termicamente foi semelhante à dos painéis testemunha. O valor médio dessa propriedade nos painéis testemunha foi igual a 440,67 kgf. Esse fato se deve, provavelmente, à dependência dessa propriedade mecânica da densidade dos painéis.

Paul *et al.* (2006), pesquisando painéis OSB que receberam pré-tratamento, e Okino *et al.* (2007), estudando painéis OSB pós-tratados, concluíram que a dureza superficial foi semelhante entre os painéis tratados termicamente e a testemunha.

Na Tabela 28 são apresentados os valores médios da dureza Janka dos painéis, em função das temperaturas de tratamento dos flocos. Observa-se, nessa tabela, que essa propriedade foi afetada significativamente pelos tratamentos térmicos, com efeito isolado da temperatura.

Tabela 28 – Valores médios da dureza Janka dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura de pré-tratamento

Temperaturas (°C)	Dureza Janka (kgf)
180	497,58 A
200	422,13 B
220	408,44 B
Média geral	442,72

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Observa-se, nessa tabela, que a resistência dos painéis produzidos com flocos termotratados a 180 °C foi maior que a daqueles tratados a 200 e 220 °C, evidenciando perda de resistência do material com o aumento da temperatura. Ressalta-se que durante a produção dos painéis os flocos estavam mais quebradiços e apresentavam menor flexibilidade. Esse aumento da rigidez dos flocos afetou positivamente a dureza Janka, na temperatura de 180 °C. Entretanto, temperaturas mais elevadas propiciaram a formação de microfissuras e, conseqüentemente, a diminuição dessa propriedade. Os resultados deste estudo foram superiores aos de Del Menezzi *et al.* (2008), que realizaram o pós-tratamento de painéis OSB durante 12, 16 e 20 mins, a 190 e 220 °C, verificando valores entre 267,9 e 312,9 kgf.

A norma ANSI/A 208.1 (1993) estipula valor mínimo de 222,5 kgf para essa propriedade, portanto a dureza Janka de todos os painéis foi superior ao valor mínimo estabelecido.

13. Arrancamento de parafuso

Na Tabela 29 são apresentados os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis produzidos com flocos tratados termicamente. A análise de variância indicou que a resistência ao arrancamento de parafuso foi afetada significativamente pelos tratamentos térmicos, ocorrendo efeito isolado das temperaturas.

Tabela 29 – Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento

Temperaturas (°C)	Arrancamento de parafuso (kgf)
180	162,58 A
200	133,79 B*
220	130,40 B*
Testemunha	152,83
Média geral	142,26

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

A força necessária ao arrancamento de parafuso nos painéis tratados a 200 e 220 °C foi inferior à da testemunha e à dos produzidos com flocos tratados a 180 °C. Possivelmente, a massa individual dos flocos diminuiu com os tratamentos térmicos, como afirmaram Borges e Quirino (2004), Brito *et al.* (2006), Esteves *et al.* (2007), Esteves e Pereira (2009) e Oliveira (2009) e também constatado pelas Tabelas 4 e 5. Tal fato evidencia que o número desses flocos foi maior nos painéis tratados, apesar de sua massa total ser a mesma na composição do colchão, conferindo maior superfície específica. No entanto, a quantidade de adesivo não foi

alterada, o que resultou em adesão menos eficiente naqueles painéis tratados em temperaturas mais elevadas.

Gouveia *et al.* (2003) relataram que a densidade não interferiu no arrancamento de parafuso em painéis OSB confeccionados com misturas das espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*. Entretanto, Dacosta *et al.* (2005) e Okino *et al.* (2009) concluíram que o aumento da densidade dos painéis OSB conferiu maior resistência ao teste de arrancamento de parafuso. Neste trabalho, apesar de todos os painéis apresentarem a mesma densidade, apenas os painéis com flocos tratados a 180 °C não diferiram significativamente da testemunha.

Apesar da perda de resistência em relação à testemunha, todos os painéis apresentaram valores médios superiores ao mínimo estabelecido pela norma ANSI/A 208.1-93 (1993), que exige valores superiores a 100 kgf.

A análise de variância indicou que a resistência ao arrancamento de parafuso em painéis OSB foi afetada pelos tratamentos térmicos dos flocos, havendo interação significativa entre os ambientes e o tempo de aquecimento dos flocos.

Na Tabela 30 são apresentados os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso em painéis OSB, em função do tempo e dos ambientes utilizados.

Tabela 30 – Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambientes	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	Arrancamento de parafuso (kgf)			
Vácuo	124,22 Bb	153,44 Aa	155,56 Aa	170,83 Aa
Nitrogênio	149,89 Aa	136,83 Bab	115,89 Bb	131,39 Bab

Médias seguidas pela mesma letra e maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A resistência ao arrancamento de parafuso foi maior nos painéis produzidos com flocos tratados com tempo superior a 30 min e em ambiente a vácuo. Lára Santos *et al.* (2009) afirmaram que os tratamentos térmicos realizados acima de 160 °C podem inativar a superfície da madeira e torná-la mais lisa. Com isso, há menor penetração dos adesivos e, conseqüentemente, menor adesão.

Os painéis produzidos com flocos tratados em autoclave com nitrogênio tiveram resistência inferior aos tratados em ambiente com vácuo, exceto os produzidos com flocos tratados com tempo de aquecimento de 30 min, que apresentou resistência superior. A injeção de nitrogênio na autoclave durante os tratamentos térmicos é uma operação relativamente

onerosa e, de acordo com os resultados deste ensaio, seu emprego não seria justificável. Acredita-se que os menores resultados observados nesse ambiente se devem à inativação da superfície devido à menor quantidade de grupos hidroxílicos disponíveis, reduzindo, dessa forma, a adesão química. Okino *et al.* (2007) obtiveram médias entre 177,6 e 264,7 kgf em painéis OSB pós-tratados e também atribuíram esses valores à qualidade da ligação entre os flocos.

14. Módulo de ruptura à flexão estática

Observa-se que o módulo de ruptura (MOR) à flexão estática foi afetado significativamente pelas temperaturas de tratamento dos flocos. Na Tabela 31 são apresentados os valores médios do MOR dos painéis, nos sentidos perpendicular e paralelo, em função da temperatura.

Tabela 31 – Valores médios do módulo de ruptura, nos sentidos perpendicular e paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente em função da temperatura, comparados à testemunha

Temperatura (°C)	MOR perpendicular	MOR paralelo
	MPa	
180	18,29 *	20,06*
200	15,15	17,70*
220	12,63	13,85*
Testemunha	13,91	26,69

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha, pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

Os painéis produzidos com flocos pré-tratados a 180 °C foram os mais resistentes no sentido perpendicular, como indicado pelo MOR, comparados à testemunha. Esteves e Pereira (2009) ressaltaram que a redução da resistência mecânica é uma das limitações dos tratamentos térmicos, devido à perda de polissacarídeos amorfos.

Observou-se que o MOR, no sentido paralelo, da testemunha foi significativamente maior do que a resistência dos painéis produzidos com flocos tratados termicamente. Possivelmente, as microfissuras ocasionadas nos flocos durante os tratamentos térmicos e a redução da adesão química devida à menor quantidade de hidroxilas propiciaram redução do MOR nesse sentido. Sugere-se também que o tempo de prensagem possa ter contribuído para a perda de resistência dos painéis termotratados, visto que a velocidade de transferência de calor foi maior nos colchões formados com flocos tratados, principalmente aqueles produzidos em temperaturas mais elevadas, ou seja, a condutividade térmica dos flocos

tratados termicamente é bem provável que tenha sido maior em relação à da testemunha, conforme evidenciado na Tabela 3.

A norma CSA O437-0/93 estipula o valor mínimo de 29 MPa para painéis orientados no sentido paralelo e de 12,4 MPa para painéis orientados no sentido perpendicular. Todos os painéis tiveram resistência superior ao valor mínimo estabelecido por essa norma no sentido perpendicular, entretanto no sentido paralelo nenhum deles atingiu tais valores, inclusive a testemunha.

Observou-se que o MOR dos painéis no sentido paralelo foi afetado pelas temperaturas de tratamento térmico. Os valores médios são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Valores médios do módulo de ruptura, no sentido paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento

Temperaturas (°C)	MOR paralelo (MPa)
180	20,06 A
200	17,70 A
220	13,85 B
Média geral	17,20

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Observa-se, nessa tabela, redução no módulo de ruptura com o aumento da temperatura utilizada no tratamento dos flocos, tendo os painéis produzidos com flocos tratados a 220 °C a menor resistência, significativamente diferente dos demais. Essa perda de resistência possivelmente se deva à maior degradação dos constituintes, conforme pode ser observado nas Tabelas 4 e 5, de perda de massa.

A análise de variância indicou que os valores médios de módulo de ruptura foram afetados pelos tratamentos térmicos, ocorrendo interações significativas entre ambiente e tempo de permanência dos flocos na autoclave. A Tabela 33 apresenta os valores médios de módulo de ruptura, no sentido paralelo, dos painéis produzidos com flocos tratados termicamente.

Tabela 33 – Valores médios do módulo de ruptura, no sentido paralelo, dos painéis OSB produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambientes	Tempos (min)			
	30	60	90	120
	MOR Paralelo (MPa)			
Vácuo	16,16 Aa	17,59 Aa	20,65 Aa	20,56 Aa
Nitrogênio	18,96 Aa	16,67 Aab	12,52 Bb	14,52 Bab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ambiente a vácuo, observou-se que o MOR dos painéis no sentido paralelo não foi afetado significativamente pelo tempo de aquecimento dos flocos. Entretanto, no ambiente com nitrogênio houve perda de resistência com o aumento do tempo de tratamento dos flocos.

Verificou-se que o MOR nos tempos de 30 e 60 min não diferiram em relação aos ambientes, enquanto nos tempos de 90 e 120 min o ambiente com nitrogênio reduziu 64,94% e 41,60%, respectivamente, em relação ao ambiente com vácuo. Notou-se que o módulo de ruptura dos painéis OSB, no sentido perpendicular, foi afetado pelos tratamentos térmicos, ocorrendo interações significativas entre a temperatura e o tempo de aquecimento. As médias desdobradas podem ser visualizadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Valores médios do módulo de ruptura, no sentido perpendicular, dos painéis produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função da temperatura e do tempo de pré-tratamento

Temperatura (°C)	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	MOR perpendicular (MPa)			
180	17,81 Aab	23,06 Aa	16,95 Aab	15,37 Ab
200	15,78 ABa	12,40 Ba	16,14 Aa	16,30 Aa
220	11,76 Ba	12,40 Ba	13,96 Aa	11,90 Ba

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se, nessa tabela, que o MOR no sentido perpendicular diminuiu com o aumento da temperatura, à exceção daqueles tratados durante 120 min. Esteves e Pereira (2009) comentaram que, em temperaturas mais elevadas, podem ocorrer deformações nas fibras, rachaduras radiais, colapsos de vasos e perda de massa. Acredita-se que essas modificações possam ter acontecido nos flocos termotratados, tendo como consequência a perda de resistência dos painéis. Vernois (2000) mencionou que as propriedades mecânicas de materiais termotratados são dependentes da temperatura final de tratamento e também das espécies de madeira. Também, afirmou que o material se torna mais quebradiço em torno de 230 °C e que em muitos casos há redução de 30 a 40% no MOR. Paul *et al.* (2006) obtiveram redução do MOR da ordem de 35 a 50%, nas temperaturas de 220 e 240 °C, respectivamente nos flocos tratados termicamente.

15. Módulo de elasticidade à flexão estática

Na Tabela 35 são apresentados os valores médios do módulo de elasticidade dos painéis em função das temperaturas de tratamento dos flocos. Observa-se, nessa tabela, que

essa propriedade, tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular, foi afetada pelos tratamentos térmicos em relação à testemunha e também entre si.

Tabela 35 – Valores médios do módulo de elasticidade dos painéis produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função da temperatura de pré-tratamento

Temperatura (°C)	MOE perpendicular (MPa)	MOE paralelo (MPa)
180	2.059,71 A*	3.073,26 A
200	1.824,76 AB	2.846,52 A*
220	1.586,98 B	2.279,99 B*
Testemunha	1.706,28	3.547,01
Média geral	1.837,10	2.733,30

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Médias assinaladas com * diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$).

¹ Valores referentes ao teste de Dunnett/² Valores referentes ao teste de Tukey.

Observa-se, nessa tabela, que a resistência a deformações elásticas na temperatura de 180 °C foi significativamente maior que à da testemunha, no sentido perpendicular, Os painéis que receberam o pré-tratamento a 200 e 220 °C não diferiram em relação à testemunha nem feriram estatisticamente entre si.

No sentido paralelo, houve perda de resistência à flexão estática dos painéis termotratados em relação à testemunha, principalmente naqueles produzidos com flocos tratados a 200 e 220 °C.

Esteves e Pereira (2009) afirmaram que a degradação das hemiceluloses, as reações de policondensação de lignina e a cristalização de celulose amorfa afetaram, principalmente, a resistência à flexão estática e a tração. Até 200 °C a cristalinidade da celulose aumenta, por causa da degradação de partes menos ordenadas. Entretanto, acima de 210 °C há destruição da estrutura supramolecular, o que reduz as propriedades mecânicas da madeira (PONCSÁK *et al.*, 2006; ESTEVES; PEREIRA, 2009). Além disso, Tjeerdsma *et al.* (1998) afirmaram que a formação dessas ligações cruzadas da lignina aumenta a estabilidade dimensional, porém, com o aumento dessa reticulação, a molécula se torna menos elástica, como pôde ser constatado neste trabalho.

Segundo a norma CSA O437-0/93, os painéis são classificados em O1 e O2, conforme sua qualidade. Na direção perpendicular, os painéis termotratados atenderam aos valores mínimos para a classe O2, contudo na direção paralela ficaram abaixo dos mínimos exigidos, de 4500 MPa.

A análise de variância indicou que o módulo de elasticidade foi afetado pelos tratamentos térmicos dos flocos, havendo interação significativa entre os ambientes e o tempo de aquecimento dos flocos.

A Tabela 36 apresenta os valores médios de MOE no sentido paralelo à orientação dos flocos na superfície dos painéis, em função do ambiente e dos tempos de pré-tratamento.

Tabela 36 – Valores médios do módulo de elasticidade, no sentido paralelo, dos painéis produzidos com flocos de *Eucalyptus grandis* tratados termicamente, em função do ambiente e do tempo de pré-tratamento

Ambientes	Tempo (min)			
	30	60	90	120
	MOE (MPa)			
Vácuo	2468,46 Ab	3032,50 Aab	2731,77 Ab	3670,47 Aa
Nitrogênio	2853,71 Aa	2614,79 Aa	2027,40 Ba	2466,94 Ba

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se, nessa tabela, que o MOE dos painéis produzidos com flocos tratados em ambiente com nitrogênio não foram afetados pelos tempos de pré-tratamento. Verifica-se também que no ambiente a vácuo não foi observada tendência em relação ao aumento desses valores. Sugere-se que esses resultados se devem à similaridade da densidade dos painéis OSB, conforme citado no item 4. Era esperado que, à medida que o tempo e as temperaturas de tratamentos térmicos fossem elevados, a resistência mecânica dos painéis fosse reduzida devido à perda de massa e à ocorrência de microfissuras nos flocos.

Observou-se que nos tempos de 30 e 60 min o MOE no sentido paralelo diferiu significativamente em relação ao ambiente, porém nos tempos de 90 e 120 min os valores médios obtidos em ambiente com nitrogênio foram inferiores àqueles observados em ambiente a vácuo. Possivelmente, a degradação térmica dos constituintes foi mais elevada, justificando os menores valores dessa propriedade, assim como observado no módulo de ruptura (Tabela 33).

CONCLUSÃO

- A transferência de calor até o centro dos painéis OSB com flocos tratados termicamente é mais elevada ao término da prensagem.
- A massa residual dos flocos tratados termicamente foi superior à da testemunha ao término das análises termogravimétricas (450 °C), e as maiores perdas de massa foram observadas no ambiente com nitrogênio.
- O tratamento térmico dos flocos na temperatura de 220 °C e ambiente com nitrogênio ocasionou maior perda de massa.
- A umidade de equilíbrio foi menor nos painéis pré-tratados a 220 °C, independentemente do ambiente em que os flocos foram tratados.
- Os tratamentos térmicos dos flocos não afetaram a densidade dos painéis.
- O aumento da temperatura de tratamento e do tempo de aquecimento dos flocos ocasionou redução na umidade de equilíbrio dos painéis OSB, bem como da absorção de água e do inchamento após 24 h.
- O tratamento dos flocos a 180 °C por 60 min resultou em painéis com maior resistência à flexão estática no sentido perpendicular.
- O tratamento térmico não alterou a resistência à tração perpendicular dos painéis OSB, exceto a 220 °C/90, cujas médias foram superiores às demais.
- O aumento na temperatura de tratamento térmico ocasiona redução na dureza superficial, na resistência e na rigidez dos painéis.
- A resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis pré-tratados a 200 e 220 °C, assim como os painéis OSB tratados por 90 e 120 min em ambiente com nitrogênio, é reduzida quando os tratamentos térmicos são realizados.
- Os tratamentos térmicos em temperaturas de 220 °C são recomendados quando a maior estabilidade dimensional dos painéis é necessária. Entretanto, essas altas temperaturas propiciam maior perda de massa e, conseqüentemente, algumas propriedades mecânicas podem ser prejudicadas e limitar seu uso. Dessa forma, recomenda-se o emprego de temperaturas mais baixas, a 180 °C.

- A utilização do nitrogênio não melhorou, de modo geral, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, sendo, portanto, desnecessário o seu uso, uma vez que sua introdução no tratamento térmico dos flocos envolve custo adicional aos painéis.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C. DE; IWAKIRI, S. Efeito da adição de água na evolução da temperatura no miolo de aglomerados durante o ciclo de prensagem. **Floresta**, Curitiba, PR, v.35, n. 1, jan./abr. 2005.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat-formed wood particleboard**: specification ANSI/A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9p.
- ARAÚJO, S. O., VITAL, B. R., MENDOZA, Z.M.S.H., VIEIRA, T. A., CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termoretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 327-336, set. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de Madeira Aglomerada - Métodos de Ensaio**. ABNT NBR 14810-3. Março, 2002.
- BATISTA, D.C., KLITZKE, R.J. Influência do tempo e temperatura de retificação térmica na umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 255-261, jun. 2010.
- BRITO, J.O.; SILVA, F.G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, p. 8545–8548, 2008.
- BOONSTRA, M. **A two-stage thermal modification of wood**. Ph.D. Thesis in Applied Biological Sciences: Soil and Forest management. Henry Poincaré University-Nancy, France, 2008.
- BOONSTRA, M., TJEERDSMA, B. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz Roh-Werkst.** 64, 204-211, 2006.
- BORGES, L.M., QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v.1, n.2, abr-jun, 2004, 173-182p..
- BRITO, O. T., GARCIA, J. N., JUNIOR, G. B., PESSOA, A. M. DAS C., SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termoretificação. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.12,n.2, p.182-188. 2006.
- BROWNING, B. L. *Methods of Wood Chemistry*. New York: Interscience Publishers, 1967. v. 2, p. 385-823.
- CABRAL, C. P. T. **Propriedades de painéis do tipo OSB fabricados com flocos esterificados**. Viçosa, UFV, Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira), 115 p. 2010.
- CABRAL, C.P.T., VITAL,B.R., DELLA LUCIA, R.M., PIMENTA, A.S., SOARES, C.B., CARVALHO, A.M.L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* E *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.659-668, 2006.
- CALONEGO, F. W. **Efeito da termoretificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**.

Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2009, 149f..

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: CSA 0437-0**. Ontario, 1993.18 p.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Anadenanthera peregrina* Speg., nas propriedades dos adesivos**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006, 182 p..

CARNEIRO, A. O., VITAL, B. R. PEREIRA, F. A. **Adesivos e sua importância na indústria madeireira**. Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro II, Gráfica Aquarius Ltda. 2007, 302 p..

CHARANI, P. R., ROVSHANDEH, J. M., MOHEBBY, B., RAMEZANI O. Influence of hydrothermal treatment on the dimensional stability of beech wood. **Caspian J. Env. Sci.** 2007, v. 5 n.2, 125-131 p.. The University of Guilan, Printed in I.R. Iran. Acesso: 21 de dezembro. Disponível em: <Online version is available on <http://research.guilan.ac.ir/cjesorwww.cjes.net>>

CHOW ,S.Z., PICKLES, K. J. Thermal Softening and Degradation of Wood and Bark. **Journal Wood and Fiber Science**, v. 3, n. 3, 1971, p. 166-178.

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

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* (Engelm.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, 2005.

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) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DEL MENEZZI, C.H.S. RIBEIRO, R. B., STERNADT, G. H. ,TEIXEIRA, E.D., OKINO, E.Y.A. Effect of thermal post-treatment on some surface-related properties of oriented strandboards. **Drvna Industrija**, Croácia, v. 59 n.2, p. 61-67, 2008.

DUBEY, M. K. **Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiate pine wood after heat-treatment in a vegetable oil**. Tese (Doctor of Philosophy in Forestry) - University of Canterbury, New Zealand, 2010, 211p..

DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. Principles and applications of wood rectification. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5., 1998, Lausanne. **Proceedings...** Lausanne, 1998. 1 CD-ROM.

ESTEVEES, B. M., DOMINGOS, I. J., PEREIRA, H. M. Pine wood modification by heat treatment in air, **BioRes**, v. 3, n.1, p. 142-154, 2008.

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

ESTEVEES, B., VELEZ MARQUES, A., DOMINGOS, I., PEREIRA, H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, **Wood Sci. Technol.** v. 41,p. 193-207, 2007.

- FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrasctructure, reactions**. Berlim: Walter de Gruyter, 1989.
- FERRARI, S.; OTTAVIANO, A.; CUCCUI, I.; SANDAK, J.; SANDAK, A. **Thermo-vacuum process for wood thermal modification: results for some European softwood and hardwood species treated at different conditions**. In: European Conference on Wood Modification, 2012.
- FIGUEROA; M. J. M., MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.
- GOHAR, P.; GUYONET, R. Development of Wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., Cannes, 1998. **Proceedings...** Cannes: IRG, 1998. p.173-178.
- GOUVEIA, F. N. **Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm.** (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001. 68p.
- 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**, v. 27, n. 3, maio-jun, 2003.
- GULLER, B. Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. **African Journal of Biotechnology** . v. 11, n. 9, pp. 2204-2209, 2012.
- HILLIG, E.; SCHNEIDER, V.E.; PAVONI, E. T. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Produção**, v. 19, n. 2, maio/ago. 2009, p. 292-303.
- HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. **Structural and other properties of modified wood**. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000. British Columbia, Canada. Proceedings. British Columbia, Canadá, 2000, 8 p..
- HOOD, J. P. **Changes in Oriented Strandboard Permeability During Hot-Pressing**. Masters Thesis (Master of Science in Wood Science and Forest Products). Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, 92p., 2004.
- ISWANTO, A. H., FEBRIANTO, F., WAHYUDI, I. HWANG, W.J. Effect of pre-treatment techniques on physical, mechanical and durability properties of oriented strand board made from sentang wood (*Melia excelsa* Jack). **Fac. Agr., Kyushu Univ**, 2010, v. 55, p. 371–377.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 245 p.
- 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, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.
- IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; PRATA, J.G.; COSTA, A.C.B. Utilização de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas - OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, abr./jun. 2008.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas - OSB. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 89-94, 2002.
- JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P. **Heat treatment of wood – Better durability without chemicals**, In: Proceedings of special seminar held in Antibes, France., 2001.

- JANKOWSKY, I. P., BRANDAO, A. T. O., OLIVEIRA, H., LIMA, J. C., MILANO, S. Estimativas da umidade de equilíbrio para cidades da região sul do Brasil, **IPEF**, n.32, p.61-64, abr.1986.
- JANSSENS, D.P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 169-172.
- JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.
- KIM, G., YUN, K., KIM, J. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood, **Material und Organismen**, v. 32, 1998, 101-108.
- KOCAEFE, D, CHAUDHRY, B.; PONCSAK, S.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Thermogravimetric study of high temperature treatment of aspen: effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties. **Journal Mater Science**, 2007, v. 42, p. 854–866.
- KUBOJIMA, Y., OKANO, T., OHTA, M. Vibrational properties of heat-treated green wood, **J. Wood Sci.** v. 46, 63-67, 2000.
- LÁRA SANTOS, A.M.; SOUZA, F.; COSTA, M.A.; TELES, R.F.; PAZETTO, V.M.F.; DEL MENEZZI, C.H.S. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da Linha de cola em painéis OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 31-40, 2009.
- LUENGO, C.A.; FELFLI, F.E.F.; BEZZON, G. **Tecnologias de Conversão Energética de Biomassa**. Capítulo X - Pirólise e torrefação de biomassa. 1 ed. Manaus, AM: Editora da Universidade do Amazonas, 1997. 527 p.
- MENDES, L. M. **Pinus spp. na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB)**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). UFP: Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira. Curitiba, 2001. 156p.
- 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, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2010. 115 p..
- MILITZ, H. **Heat treatment of wood: European processes and their background**, In: International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02 - 40241, 2002.
- MOHEBBY, B.; SANAEL, I. **Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech Wood (Fagus orientalis)**. In: The international research group on wood protection, Bangalore, India. Tarbiat Modarress University. 24 – 28 April 2005, 9p..
- NUOPPONEN, M., VUORINEN, T., JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P. The effects of heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods, **Wood Sci. Technol**, v.37, 109-115, 2003.
- OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E; GOMES, C. B. Uso das madeiras de seringueira, pinus e cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 2, p. 457-468, abr./jun. 2009.

- OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D.E.; DEL MENEZZI, C.H.S. Post-thermal treatment of oriented strandboard (OSB) made from cypress (*Cupressus glauca* Lam.). **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 9, n. 3, p. 199-210, 2007.
- OLIVEIRA, R. M., **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente**. Tese de Doutorado. Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 123p. 2009.
- PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H. Thermal modification of OSB-strands by a one - step heat pre-treatment – Influence of temperature on weight loss, hygroscopicity and improved fungal resistance. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 57–63, 2007.
- PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H.; BOONSTRA, M.J.; PIZZI, A. Optimising the properties of OSB by a one-step heat pre-treatment process. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.64, p. 227–234, 2006.
- PEREIRA, B. L. C. **Qualidade de madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 2012, 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- PESSOA, A. M. C., FILHO, E. B., BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Florestalis**, n.72, p. 11-16, 2006.
- PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Sci Technol**, v. 40, n. 8, p. 647–663, 2006. Acesso: 04 de janeiro de 2013. Disponível em: <<http://www.alternativewood.ca/pdf/Effect%20of%20high%20temperature%20treatment%20on%20the%20mechanical.pdf>>.
- RANDRIAMANANTENA, T.; RAZAFINDRAMISA, F.L.; RAMANANTSIZEHENA, G.; BERNES, A.; LACABANE, C. Thermal behaviour of three Woods of Madagascar by thermogravimetric analyses in inert atmosphere. In: **Proceedings of the Fourth High-Energy Physics International Conference**, 2009, Antananarivo, Madagascar.
- RANTA MAUNUS, A. **Laminated veneer lumber and other structural sections**. In: Hans Blass et al. (eds) Timber Engineering STEP 1, 1 st edn. Centrum Hout, The Netherlands, 1995, 1-7p..
- RAPP, A. **Review on heat treatments of wood**, COST ACTION E22- Environmental optimisation of wood protection, Proceedings of Special Seminar in Antibes, Germany, 2001.
- RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. Tese (Doutorando em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 157 p., 2006.
- RODRIGUES, T., O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- ROFFAEL, E.; RAUCH, W. Einfluß von Temperatur und thermischer Nachbehandlung auf einige physikalische Eigenschaften von diisocyanat-gebundenen Spanplatten. **Holz als Roh-Werkst.** v. 31, n. 10, p. 402-405, 1973.
- SALDANHA, L.K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul./set. 2009.

- SANTANA, M. A. E.; PASTORE, J. F. **Adesivo de tanino formaldeído para aglomerados**. Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1981. (Série Técnica, 2).
- SEGAL, L, CREELY, J. J., MARTIN, A. E. CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Res**, v.29, p. 786-794, 1959.
- SILVA, C. R., SIMONI, J.A. Avaliação da capacidade tamponante - Um experimento participativo. **Química Nova**, Campinas, SP, v.23, n.3, 2000.
- TJEERDSMA B.; M. BOONSTRA; A. PIZZI; P. TEKELY & H. MILITZ. Characterization of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 56, p.149- 153, 1998.
- TJEERDSMA, B., MILITZ, H. Chemical changes in hydroheat wood: FTIR analysis of combined hydroheat and dry heat-treated wood, **Holz Roh-Werkst**, v. 63, 102-111 p., 2005.
- VERNOIS, M. **Heat treatment of wood in France-State of the art**, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, França, 2000.
- VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 1973. 111 f. Dissertation (Master of Science Forestry) - University of Wisconsin, Madison, 1973.
- WEILAND, J. J.; GUYONNET, R. 2003. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 61, p. 216-220.
- ZOMBORI, B. G. **Modeling the transient effects during the hot-pressing of wood-based composites**. Thesis (Doctor of Philosophy in Wood Science and Forest Products) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2001.