

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de  
árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos  
painéis OSB**

**Boris Eduardo Villa Zegarra**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Recursos Florestais, com opção em  
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba  
2011**

Boris Eduardo Villa Zegarra  
Engenheiro Florestal

**Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de  
árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos  
painéis OSB**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:  
Prof. Dr. **MARIO TOMAZELLO FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Recursos Florestais, com opção em  
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba  
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DI VI SÃO DE BI BLI OTECA - ESALQ/ USP**

Villa Zegarra, Boris Eduardo

Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB / Boris Eduardo Villa Zegarra. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2011.

121 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Anatomia vegetal 2. Madeira - Propriedades físicas - Propriedades mecânicas  
3. Painéis 4. Pinheiro I. Título

CDD 634.9751  
V712c

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"**

## DEDICATÓRIA

A minha mãe Amalia,  
A meu pai Ismael,  
A meu amor Nury,  
A meu filho Boris Alessandro Jr,  
A meus irmãos Karen e Froilan,  
Dedico



## AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Mario Tomazello Filho, pelos ensinamentos, dedicação, amizade e orientação deste trabalho;

Ao Prof. Geraldo Bortoletto Junior pelo acompanhamento nas etapas do trabalho da pesquisa e ao Prof. Lourival Mendes pelas sugestões no texto da dissertação;

Ao Dr. Geraldo José Zenid, Dra. Maria Luiza Otero D'Almeida e Sr. Antonio dos Santos, do Centro de Tecnologia de Recursos Florestais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/IPT, pelas facilidades laboratoriais e orientação;

Aos pós-graduandos do Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, Moisés, Matheus, Carlos, Ugo, Vinicius, Marco e Angel pela colaboração e amizade;

À Profa. Célia Regina Montes do Laboratório NUPEGEL do CENA-ESALQ pelas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);

Ao Alex Canele e Rafael Farinassi, do LLAPAM e à Maria Aparecida, do LAIM, pela colaboração no desenvolvimento dos trabalhos e análises laboratoriais;

Ao CNPQ pela bolsa de Pós-Graduação de Mestrado concedida;

Aos amigos peruanos e colombianos da ESALQ, meu querido “portuñol” e todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa;

A minha família pela compreensão, motivação e colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho;

Finalmente, à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo pela oportunidade oferecida para a realização do Curso de Mestrado.

Muito Obrigado.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	19
1 INTRODUÇÃO .....	21
2 OBJETIVOS .....	22
2.1 Objetivo geral .....	22
2.2 Objetivos específicos .....	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
3.1 As árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	23
3.2 Caracterização do lenho de <i>Pinus taeda</i> .....	25
3.3 Aplicação da densitometria de raios X no lenho de folhosas e coníferas .....	28
3.4 Produção de painéis OSB (Oriented Strand Board) .....	30
3.5 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB .....	31
3.5.1 Fatores inerentes à madeira .....	32
3.5.1.1 Espécie florestal .....	32
3.5.1.2 Características da madeira .....	32
3.5.1.3 Densidade da madeira .....	33
3.5.2 Fatores inerentes ao processo .....	34
3.5.2.1 Densidade dos painéis OSB .....	34
3.5.2.2 Razão de compactação .....	34
3.5.2.3 Composição dos painéis .....	35
3.5.2.4 Tipos e teores de adesivo .....	35
3.5.2.5 Dimensões das partículas .....	36
3.5.2.6 Orientação das partículas .....	37
3.5.2.7 Umidade das partículas .....	37
3.5.2.8 Ciclo de prensagem .....	38
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	39



4.1 Espécie florestal e caracterização da área experimental.....	39
4.2 Seleção das árvores de <i>pinus</i> .....	40
4.3 Caracterização do lenho das árvores de <i>pinus</i> .....	40
4.3.1 Análise macroscópica do lenho das árvores de <i>pinus</i> .....	40
4.3.2 Análise microscópica do lenho .....	42
4.4 Caracterização dos anéis de crescimento e da taxa de crescimento do tronco das árvores de <i>pinus</i> .....	44
4.5 Avaliação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento de <i>pinus</i> ..	45
4.6 Avaliação da densidade básica do lenho de <i>pinus</i> .....	47
4.7 Manufatura dos painéis OSB de partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	47
4.7.1 Desdobro das toras de madeira de pinus: tora integral (TI) e rolo resto (RR) .....	47
4.7.2 Obtenção e secagem das partículas.....	49
4.8 Análises das partículas da madeira (strand) de <i>pinus</i> .....	50
4.8.1 Determinação da densidade aparente das partículas de madeira (strand).....	50
4.8.2 Avaliação da resistência à tração paralela das partículas de madeira (strand) ....	51
4.9 Confecção dos painéis OSB de partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	52
4.10 Determinação das propriedades dos painéis OSB de partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	55
4.10.1 Propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB .....	55
4.10.2 Análise dos painéis OSB de madeira de <i>pinus</i> sob MEV.....	56
4.10.3 Avaliação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de <i>pinus</i> por densitometria de raios X.....	56
4.11 Análise Estatística.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
5.1 Caracterização da estrutura anatômica do lenho de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	59
5.1.1 Caracterização macroscópica do lenho .....	59
5.1.2 Caracterização microscópica do lenho .....	59
5.2 Variação radial/longitudinal das dimensões das traqueídes .....	60
5.2.1 Comprimento das traqueídes .....	60
5.2.2 Espessura da parede, largura, diâmetro do lume das traqueídes .....	65

5.3 Caracterização dos anéis de crescimento e taxa de crescimento do tronco das árvores de <i>pinus</i> .....	69
5.4 Avaliação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento de <i>pinus</i> ...	70
5.5 Avaliação da densidade básica do lenho de <i>pinus</i> .....	72
5.6 Análise das partículas da madeira (strand) de <i>pinus</i> .....	74
5.6.1 Determinação da densidade aparente das partículas de madeira (strand).....	74
5.6.2 Avaliação da resistência à tração paralela das partículas de madeira (strand).....	76
5.7 Determinação das propriedades dos OSB de partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	77
5.7.1 Razão de compactação nominal dos painéis OSB.....	77
5.7.2 Propriedades físicas dos painéis OSB .....	78
5.7.3 Propriedades mecânicas dos painéis OSB .....	81
5.8 Análise dos painéis OSB de madeira de <i>pinus</i> sob MEV .....	84
5.9 Avaliação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de <i>pinus</i> por densitometria de raios X .....	85
6 CONCLUSÕES .....	87
REFERÊNCIAS.....	89



## RESUMO

### **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB**

Os painéis OSB estão disponíveis desde o início da década de 1980, constituindo a segunda geração das chapas “waferboard”. Trata-se de painel estrutural com a camada interna de partículas de madeira dispostas perpendicular ou aleatoriamente em relação às camadas de partículas externas. No presente trabalho, caracterizou-se a estrutura anatômica do lenho de árvores de *Pinus taeda* e as propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB de partículas da madeira de rolo-resto e de toras integrais. Os resultados das análises laboratoriais permitiram concluir que a estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento é característica da espécie, com os anéis de crescimento possibilitando determinar a idade, a taxa de crescimento e a reação das árvores aos desbastes. A variação radial das dimensões das traqueídes e da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X relaciona-se com a formação da madeira juvenil, de transição e adulta e com as propriedades das partículas de madeira. Essas características da madeira e das partículas de rolo-resto e de tora integral influenciaram nas propriedades dos painéis OSB em relação à densidade média, perfil de densidade aparente por densitometria de raios X, resistência das partículas à tração paralela das traqueídes, propriedades físico-mecânicas, dentre outras. A utilização do rolo-resto, resíduo da laminação de toras de pinus, como partículas de madeira para a confecção de painéis OSB é discutida no presente trabalho.

Palavras chaves: *Pinus taeda*; Anatomia; OSB; Propriedades físico mecânicas



## ABSTRACT

### **Characterization of the wood anatomical structure and density of *Pinus taeda* trees and effect on technological properties of OSB panels**

OSB panels are available since the early 1980's and constitutes the second generation of "waferboard" plates. It is structural panel with the inner layer of wood particles arranged randomly or perpendicular in relation to the external layers of particles. The present study characterized the wood anatomical structure of *Pinus taeda* trees and physical-mechanical properties of OSB panels of wood particles of roll-rest (residue of the log lamination) and integral logs. The results of laboratorial analysis concluded that the wood and tree-ring anatomical structure is characteristic of the species, the tree-rings is applied to determine the trees age, growth rate and trees response to the thinning. The radial variation of the tracheid dimensions and wood density - by X-ray densitometry - is related to the formation of juvenile, transition and adult wood and the properties of wood particles. These characteristics of wood and wood particles of roll-rest and integral logs influenced the properties of OSB panels with respect to the mean density, density profile by X-ray densitometry, resistance to the shear strength of the particles of tracheids, physical and mechanical properties, etc. The use of residues of lamination process pine logs to wood particles for the manufacture of OSB panels is discussed.

Keywords: *Pinus taeda*; Anatomy; OSB; Physical mechanical properties



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área e distribuição de florestas plantadas com <i>pinus</i> no Brasil .....	24
Figura 2 - Esquema da constituição do lenho das Gimnospermas .....	25
Figura 3 - Seção transversal microscópica do lenho de árvores de <i>Pinus sylvestris</i> .....	29
Figura 4 - Fases do processo de manufatura dos painéis OSB .....	31
Figura 5 - Mapa de localização do município de Sengés, no estado do Paraná.....	39
Figura 6 - Aspectos gerais da plantação de <i>pinus</i> .....	41
Figura 7 - Seção transversal do disco do lenho de árvore de <i>pinus</i> e demarcação do corpo de prova radial .....	41
Figura 8 - Seção transversal do lenho de <i>pinus</i> , com as áreas de amostragem para avaliação das dimensões transversais das traqueídes .....	43
Figura 9 - Células dissociadas do lenho de <i>pinus</i> .....	44
Figura 10 - Seção transversal do lenho de <i>pinus</i> .....	45
Figura 11 - Determinação da densidade aparente do lenho de árvores de <i>pinus</i> por microdensitometria de raios X.....	46
Figura 12 - Manufatura do painel OSB.....	48
Figura 13 - Processo de produção das partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	49
Figura 14 - Seção transversal de tora integral de árvore de <i>pinus</i> : delimitação da região do lenho de rolo-resto .....	50
Figura 15 - Máquina de ensaio de tração de papel e celulose marca EMIC .....	51
Figura 16 - Equipamentos encoladeira e gerador de partículas de madeira .....	53
Figura 17 - Partículas de madeira de <i>pinus</i> .....	54
Figura 18 - Colchão de partículas de madeira de <i>pinus</i> prensado .....	54
Figura 19 - Delimitação dos corpos de prova em painel OSB .....	55
Figura 20 - Microscópio eletrônico de varredura (MEV) .....	56
Figura 21 - Equipamento de densitometria de raios X – GreCon .....	57
Figura 22 - Equipamento de densitometria de raios X - Quintek.....	58
Figura 23 - Caracterização macro e microscópica do lenho de <i>Pinus taeda</i> .....	60
Figura 24 - Variação radial do comprimento das traqueídes do lenho de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	62



Figura 25 - Variação do comprimento das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	64
Figura 26 – Variação da espessura da parede, largura e diâmetro do lume das traqueídes .....	66
Figura 27 - Variação da largura, espessura da parede e diâmetro do lume das traqueídes de lenho inicial e tardio em 5 posições radiais .....	68
Figura 28 - Caracterização da largura dos anéis de crescimento; da taxa de crescimento do incremento médio anual x corrente acumulado do tronco .....	70
Figura 29 - Perfil radial de densidade do lenho na base e a 7,5 m do tronco de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	73
Figura 30 - Variação da densidade aparente das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	75
Figura 31 – Resistência das partículas à tração paralela das traqueídes do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	77
Figura 32 - Propriedades físicas: absorção de água com 2-24 horas de imersão e inchamento em espessura com 2-24 horas.....	80
Figura 33 - Propriedades mecânicas: comparação da norma CSA 0437 com propriedade de ligação e CSA com MOR e MOE em flexão paralela e perpendicular.....	83
Figura 34 - Ensaio de ligação interna dos painéis OSB de partículas de tora integral e de rolo resto do lenho do tronco de árvores de <i>Pinus taeda</i> – falhas detectadas.....	84
Figura 35 - Painéis OSB de madeira de <i>Pinus taeda</i> sob MEV .....	85
Figura 36 - Perfis de densidade dos painéis OSB de partículas de tora integral e de rolo resto do lenho do tronco.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dendrométricos das árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	40
Tabela 2 - Tratamentos adotados na fase de produção dos painéis OSB .....	52
Tabela 3 - Variação do comprimento das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	63
Tabela 4 - Variação da espessura da parede, largura e diâmetro do lume das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento .....	66
Tabela 5 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho na base e a 7,5 m da altura do tronco; densidade aparente do lenho na região central (Rolo-Resto) e total (Tora Integral) na base do tronco das árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	72
Tabela 6 - Densidade básica do lenho na base e a 7,5 m de altura do tronco das árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	74
Tabela 7 - Densidade aparente média, mínima e máxima das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	75
Tabela 8 – Resistência das partículas à tração paralela das traqueídes do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	76
Tabela 9 - Densidade e umidade de painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	79
Tabela 10 - Propriedades físicas: absorção de água e inchamento em espessura dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	79
Tabela 11 - Propriedades mecânicas: propriedade de ligação interna, MOR e MOE em flexão paralela e perpendicular dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de <i>Pinus taeda</i> .....	82
Tabela 12 - Densidade média dos painéis OSB através dos equipamentos Grecon e Quintek QTRS-01X .....	86



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA2h	Absorção de água após as duas horas
AA24h	Absorção de água após as vinte e quatro horas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CSA	Canadian Standards Association
DAP	Diâmetro a altura do peito
EN	Norma Européia
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FE	Flexão estática
FF	Fenol Formaldeído
IAWA	International Association of Wood Anatomists
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IE 2h	Inchamento em espessura após as duas horas
IE 24h	Inchamento em espessura após as vinte e quatro horas
LI	Ligação Interna
Li	Lenho inicial
Lt	Lenho tardio
LLAPAM	Laboratório de Laminação e Painéis a base de madeira
MDF	Painel de fibra de média densidade
MDP	Partículas de média densidade ou chapa de madeira aglomerada.
MEA	Massa Específica Aparente
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MOE//	Módulo de Elasticidade Paralela
MOE <sub>⊥</sub>	Módulo de Elasticidade Perpendicular
MOR//	Módulo de Ruptura Paralela
MOR <sub>⊥</sub>	Módulo de Ruptura Perpendicular
OSB	Painel de partículas orientadas, Oriented Strand Board
RR	Rolo Resto
RX	Raios X
TI	Tora Integral
USP	Universidade de São Paulo



## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis “Oriented Strand Board” (OSB) estão disponíveis no mercado mundial desde o início da década de 1980, sendo considerados como uma segunda geração das chapas “waferboard”. O OSB é um painel estrutural produzido a partir de partículas de madeira, sendo que na camada interna estão dispostas perpendicular ou aleatoriamente em relação às camadas externas (MENDES et al., 2002).

Os painéis OSB são utilizados, principalmente, na construção civil devido às suas características físico-mecânicas adequadas para fins estruturais. O custo da matéria prima constitui-se na principal vantagem dos painéis OSB – obtidos de toras de lenho das árvores de desbastes, com diâmetros reduzidos e menor valor comercial - em relação aos painéis compensados, que são manufaturados a partir de toras de madeira de maior diâmetro, qualidade e custos.

Atualmente, a madeira procedente das plantações florestais de pinus, destinada à produção de papel e celulose, está sendo utilizada pelas indústrias de processamento da madeira, como as serrarias, laminadoras de painéis tipo aglomerado, compensados, MDF e OSB.

Dentre as espécies, *Pinus taeda*, é uma das principais para a produção de madeira destinada às indústrias de celulose e papel, aglomerados, energia, etc. No Brasil, uma planta industrial de painéis OSB foi instalada no município de Ponta Grossa, PR, com capacidade produtiva nominal de 350 mil m<sup>3</sup> de painéis/ano utilizando a madeira de árvores de *Pinus taeda* como matéria prima.

No entanto, os resíduos gerados pelas industriais de laminação podem constituir-se em importante fonte de matéria prima para a confecção de painéis OSB. Da mesma forma, a madeira resultante das árvores dos primeiros desbastes pode ser processada em partículas e direcionada para a produção de painéis OSB.

Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de pesquisas direcionadas à utilização de resíduos de laminadoras de toras de *pinus* na produção de painéis OSB, considerando as variações na qualidade do lenho nos sentidos radial-longitudinal e em relação à idade das árvores.

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as características anatômicas e densidade da madeira de árvores de *Pinus taeda* e sua influência nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo geral a caracterização da (i) estrutura anatômica micro e macroscópica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda*, íntegras e das toras de laminação (rolo-resto), (ii) da densidade aparente e resistência das partículas à tração paralela das traqueídes e (iii) propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB.

### 2.2 Objetivos específicos

Para o lenho das árvores de *Pinus taeda*, caracterizar a (i) estrutura anatômica macro e microscópica, (ii) anéis de crescimento e a taxa de crescimento do tronco das árvores, (iii) densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento por densitometria de raios X, (iv) densidade básica do lenho e (v) a variação radial da anatomia do lenho.

Para as partículas de madeira de árvores de *Pinus taeda*, determinar a (i) densidade aparente por densitometria de raios X e (ii) resistência das partículas à tração paralela das traqueídes.

Para os painéis OSB de madeira de árvores de *Pinus taeda*, avaliar as (i) propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB com 2 tratamentos de madeira: 100% rolo-resto e 100% tora integral, (ii) perfil de densidade aparente por densitometria de raios X e (iii) análise sob microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 As árvores de *Pinus taeda*

A família Pinaceae, uma das mais importantes das gimnospermas, inclui o gênero *Pinus*, constituído por 90 espécies, com ocorrência natural nas regiões temperadas e tropicais do Hemisfério Norte (MARCHIORI, 1996).

Dentre as espécies de *pinus*, destaca-se o *Pinus taeda* como uma das mais utilizadas em programas de reflorestamento na região sul do Brasil, em áreas de altitude e de menor temperatura, com vantagens em relação às espécies de eucalipto. As plantações florestais de *Pinus taeda* no Brasil, com finalidade comercial, foram iniciadas em 1948, pelo então Serviço Florestal do Estado de São Paulo.

A classificação taxonômica das árvores de *P. taeda* descrita na literatura a inclui no reino Plantae, phylum Coniferophyta, classe Pinopsida, ordem Pinales, família Pinácea, gênero *Pinus*, espécie *Pinus taeda* L., nome comum nos USA “loblolly pine”

As árvores adultas de *Pinus taeda* podem atingir 1,50 m de diâmetro do tronco e 30-40 m de altura total, casca gretada, ramos acinzentados e acículas de coloração verde-escura, reunidas em grupos de três. Os cones masculinos têm coloração amarelada a amarronzada e formato cilíndrico e os femininos são ovados e oblongos, sésseis e persistentes. As sementes são aladas, pequenas e facilmente dispersadas pelo vento.

As árvores de *Pinus taeda* produzem um lenho utilizado para importantes aplicações da madeira para serraria e, principalmente, para a indústria de celulose e papel. Do lenho das árvores de *Pinus taeda* pode-se extrair a resina embora de qualidade e quantidade inferior à produzida pelas árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

As árvores de plantações de *pinus* são amplamente utilizadas nos Estados Unidos e no Canadá, como principal matéria-prima para a confecção de painéis OSB de elevada qualidade, em função da sua taxa de crescimento (em relação às outras espécies) e pela densidade, disponibilidade de sua madeira, dentre outros fatores.



No Brasil, até os anos 80, os programas de reflorestamento incentivados foram responsáveis pela ocupação de 50.000 há de diferentes áreas, principalmente nas do bioma Cerrado. A ABRAF reporta para 2009, uma área plantada de 1.794.720 ha de diferentes espécies de *pinus* no Brasil, com destaque para os estados do Paraná com 695.790 ha, Santa Catarina com 550.850 ha, Rio Grande do Sul com 171.210 ha e São Paulo com 167.660 ha (Figura 1) (ANUÁRIO, 2010).

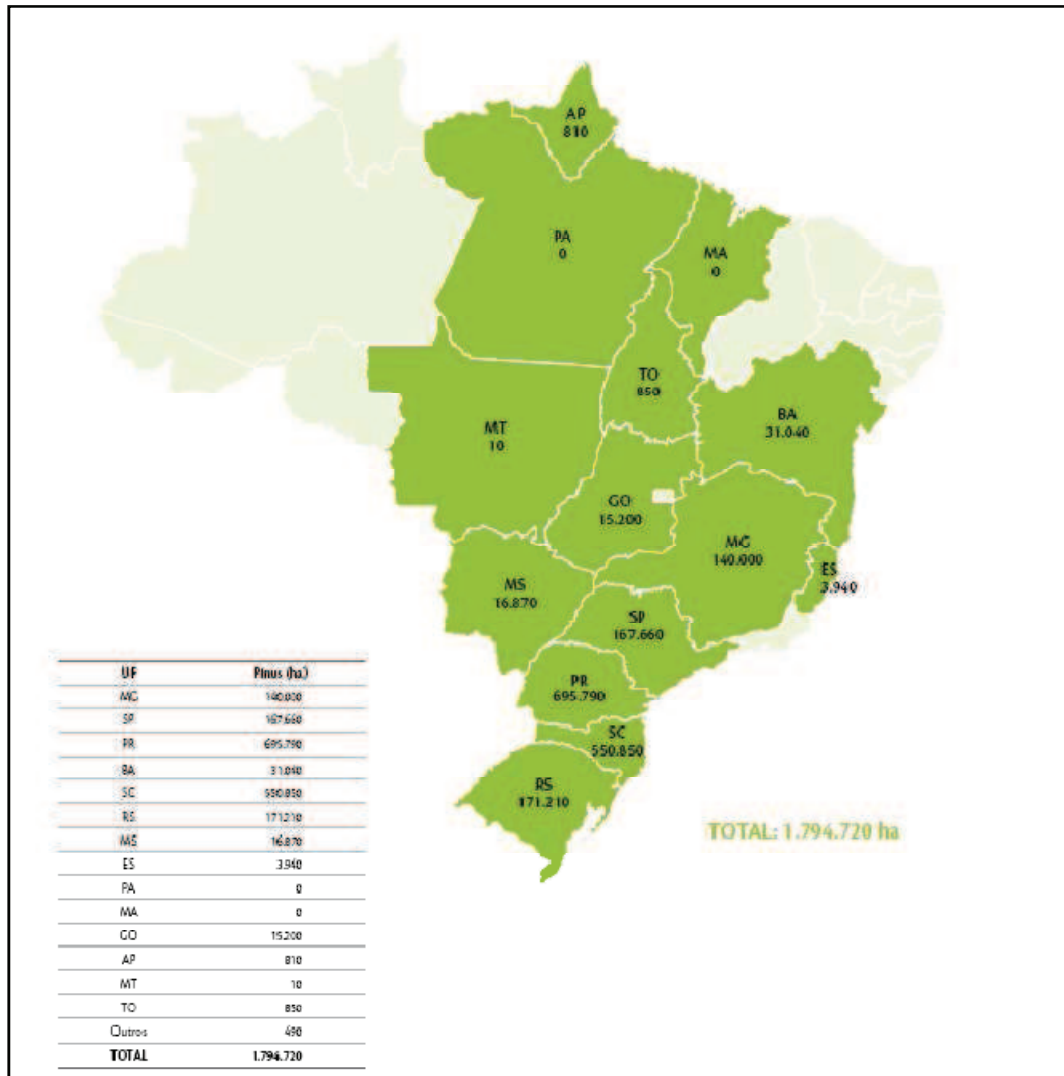


Figura 1 - Área e distribuição de florestas plantadas com *pinus* no Brasil (ABRAF, 2010)

### 3.2 Caracterização do lenho de *Pinus taeda*

As árvores de *Pinus taeda* produzem lenho com anéis de crescimento distintos, e com característica transição do lenho inicial (claro, de menor densidade) para o tardio (escuro, de maior densidade). O lenho inicial, correspondente ao incremento de tronco no período vegetativo de crescimento, com maior atividade cambial é constituído por traqueídes de parede fina e lume largo; o lenho tardio, formado no final do período vegetativo, com diminuição da atividade cambial, é constituído por traqueídes de parede espessa e lume reduzido (PANSHIN e DE ZEEUW, 1970). Os fatores de natureza climática, edáfica e os relacionados com o manejo florestal influenciam, segundo Barbosa (1982), a largura dos anéis de crescimento e, desta forma, a densidade da madeira, dentre os parâmetros da qualidade da madeira.

O lenho das árvores de coníferas é, de modo geral, de menor densidade, dureza e resistência em comparação com o das árvores de folhosas. A estrutura anatômica do lenho das coníferas é relativamente simples, com 93% de traqueídes (longas, 2-6 mm de comprimento, extremidades fechadas), 6% de parênquima radial e 1% de canais resiníferos (CHIMELO, 1986)(Figura 2).

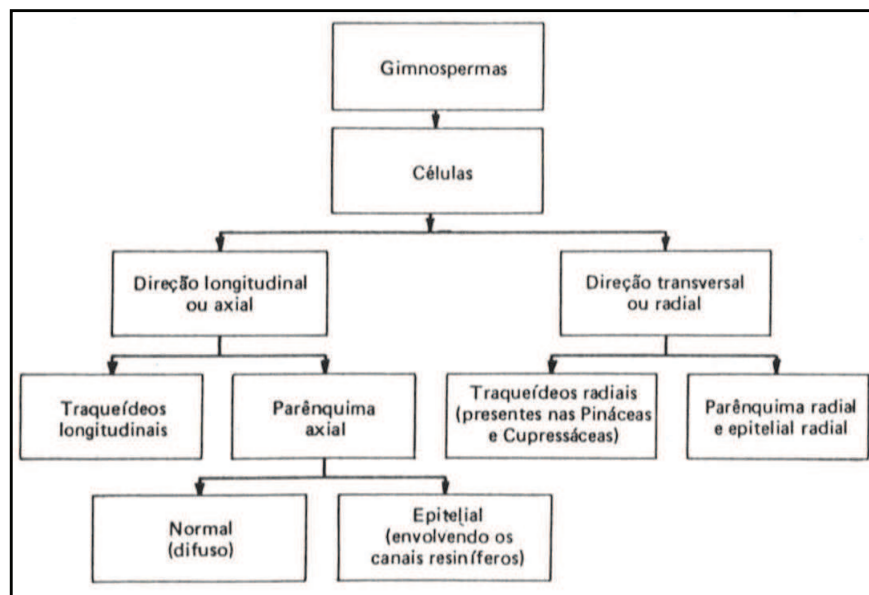


Figura 2 - Esquema da constituição do lenho das Gimnospermas (CHIMELO, 1986)

As pontuações na parede radial das traqueídes são importantes características anatômicas do lenho de *Pinus taeda* sendo que as do campo de cruzamento (1-6 pontuações) são classificadas como do tipo pinóide (KUKACHKA, 1960; PHILLIPS, 1963; HEINZ, 2005). Ao longo da parede das traqueídes do lenho inicial de árvores de *Pinus taeda* são visíveis as pontuações areoladas, dispostas em fileiras unisseriadas, com 30,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro e abertura arredondada de 6,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Nas traqueídes de lenho tardio as pontuações areoladas são escassas e de diâmetro de 15,3  $\mu\text{m}$ . Os raios são unisseriados, com freqüência de 3-9 raios/mm, 50-350  $\mu\text{m}$  de altura e 1-14 células de altura (MUNIZ, 1993).

As características dos lenhos juvenil e adulto do tronco das árvores de *Pinus sp* são indicadas por diversos autores na literatura especializada. Em árvores de *Pinus taeda* de 30 anos, o comprimento das traqueídes do lenho juvenil e adulto foi de 3,42 e 4,00 mm, respectivamente (MUNIZ, 1993). Por outro lado, Ballarin et. al., (2003) indicaram para árvores de *P. taeda* de 37 anos o comprimento das traqueídes teve comprimentos de 4,2 e 5,3 mm na madeira juvenil e adulta, respectivamente.

A diferenciação da madeira juvenil e adulta no xilema das árvores de coníferas é, segundo Panshin e De Zeeuw (1980), resultado da atividade cambial nas diferentes fases do crescimento das árvores: nos primeiros anos é formada a madeira juvenil, seguindo-se um período de transição e, na seqüência, a madeira adulta.

Bendtsen e Senft (1986) indicaram que a madeira juvenil em árvores de *Pinus taeda* inclui os anéis de crescimento formados nos 10-15° anos na região central do tronco, próxima à medula. No entanto, Senft et al., (1985) relacionaram o lenho juvenil até o 20° anel de crescimento em árvores de *Pinus taeda*, enquanto que Pashin e Cown (1992) indicaram os 10° anéis de crescimento iniciais em árvores de *Pinus radiata*.

Em árvores de coníferas, Zobel (1971) e Kramher (1986) caracterizaram a madeira juvenil e adulta fundamentados na variação radial do comprimento das traqueídes: quando esta dimensão se estabiliza caracteriza-se a madeira adulta, sendo que em árvores de *Pinus taeda* de 30 anos, a estabilização ocorreu entre o 11-13° anel de crescimento.

Em um mesmo anel de crescimento do lenho do tronco de várias espécies de gimnospermas, Bissett e Dadswell (1950) observaram traqueídes de maior comprimento no lenho inicial em relação ao tardio; Kramer (1957) encontrou resultados similares em árvores de *Pinus taeda*. Considerando as dimensões das traqueídes, o diâmetro do lume e a espessura da parede celular são mais importantes do que o seu comprimento em relação às propriedades físico-mecânicas da madeira (HUGHES, 1968). O crescimento vegetativo da copa das árvores, sintetizando os hormônios de crescimento e carboidratos regulam o diâmetro e a espessura da parede das traqueídes (LOUSADA, 2000)

Os programas de melhoramento genético e de manejo silvicultural das árvores de coníferas podem resultar em maiores taxas de crescimento e melhoria da qualidade da madeira, diminuindo a idade de corte e exploração entre 20 a 30 anos, segundo Bendtsen e Senft (1986). As práticas silviculturais mais aplicadas no manejo florestal são relacionadas ao espaçamento, desbaste, fertilização mineral e poda dos ramos (JOSZA e MIDDLETON, 1994). A determinação da idade das árvores e das características anatômicas da madeira de coníferas são, segundo Peszlen (1994), importantes para a predição da utilização da madeira. Nestas condições, o lenho das árvores de coníferas nessa idade conterá alta porcentagem de madeira juvenil e de lenho de reação, com redução da densidade, da espessura da parede das traqueídes, alto teor de lignina e extrativos e menor teor de celulose.

As propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira podem ser influenciadas pela idade da árvore. Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a natureza das células da madeira é fortemente influenciada pela idade real do tecido cambial, sendo que desta forma, zonas distintas de madeira podem ser encontradas dentro da árvore, dependendo da posição da madeira em relação ao centro e ao topo da árvore. Cown (1980) demonstrou em seu estudo com *Pinus radiata* que a proporção de madeira tardia e tamanho do comprimento das fibras são maiores em árvores com idade mais avançada.

Barrichelo et al., (1975) estudando a variação da densidade e da composição química da madeira de árvores de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, com 6, 9 e 12 anos, verificaram o aumento da densidade básica com a idade.

Segundo Bendtsen e Senft (1986) no lenho das árvores de *P. taeda*, os valores do ângulo microfibrilar são mais altos nos anéis de crescimento formados nos anos iniciais, decrescendo com a idade, da mesma forma, que a largura dos anéis de crescimento.

### **3.3 Aplicação da densitometria de raios X no lenho de folhosas e coníferas**

A densidade da madeira é um indicador da quantidade total de parede celular por unidade de volume e, quando referenciada a largura do anel de crescimento, é um dos mais importantes parâmetros de avaliação da qualidade da madeira sólida e dos produtos da madeira (WIMMER, 1995).

Os fundamentos metodológicos de densitometria de raios X em madeiras, para observação dos anéis de crescimento das árvores, foram estabelecidos por Polge, na França, em 1963. Entre as diversas utilizações da densitometria de raios X se encontram a avaliação da qualidade da madeira e da madeira de reação, comparação de perfis densitométricos do lenho, etc.

No Brasil, a aplicação da técnica de atenuação dos raios X na análise de madeiras foi implantada por Amaral (1994) e Amaral e Tomazello Filho (1998), sendo considerada importante ferramenta na avaliação detalhada do efeito dos tratamentos silviculturais na qualidade do lenho, bem como na caracterização tecnológica da madeira. A técnica de densitometria de raios X possibilita determinar a produção anual da biomassa de lenho e a relação com a sua estrutura anatômica (MOTHE et al., 1998).

Nicholls (1984) detectou uma forte correlação entre a densidade da madeira determinada por densitometria de raios X e a proporção de parede celular dos tecidos de lenho avaliado nas seções transversais. As densidades máximas e mínimas do lenho estão ligadas as dimensões transversais das traqueídes, sendo que a densidade mínima relaciona-se com a largura dos traqueídes e a máxima com a espessura da sua parede (NICHOLLS, 1984 apud ALTEYRAC, 2005).

A técnica de densitometria de raios X consiste, basicamente, na obtenção de imagens radiográficas do lenho através de um filme radiográfico, revelando o contraste das zonas dos anéis de crescimento de diferentes massas específicas. Pode, também,

ser explicada pela determinação da variação da densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento anuais do lenho das árvores pela mediação da absorção dos raios X ou de longo comprimento de onda e que atravessam as seções finas da madeira (POLGE, 1965; FERRAZ e TOMAZELLO FILHO, 1978).

Segundo Schweingruber (1996) apud Vaganov et al., (2006), através dos gráficos densitométricos do lenho de *Pinus sylvestris* e a comparação com sua madeira, é possível caracterizar as variações de densidade intra e inter-anéis de crescimento em cada ano da árvore. (Figura 3)

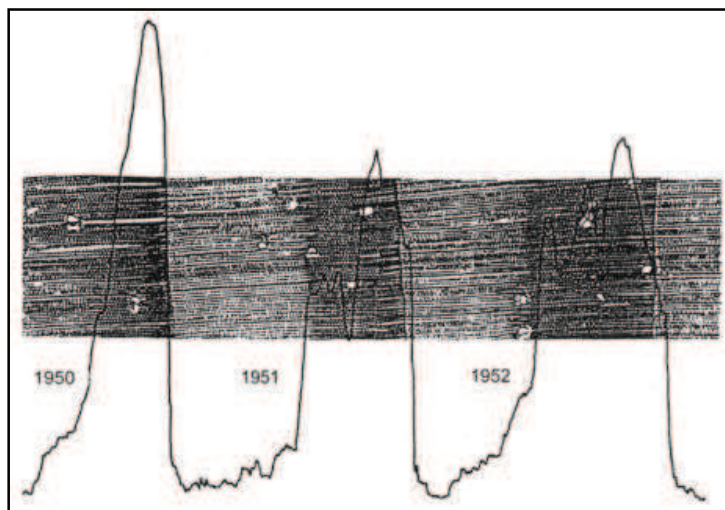


Figura 3 - Seção transversal microscópica do lenho de árvores de *Pinus sylvestris* de três anéis de crescimento e as respectivas variações de densidade intra e inter-anéis de crescimento

A variação radial da densidade aparente do lenho de árvores do híbrido de *Eucalyptus grandis x urophylla*, com 7 anos de idade, foi analisada por Tomazello Filho (2006) pela técnica de densitometria de raios X, obtendo um perfil radial de densidade aparente do lenho característico para o gênero e densidade média de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ .

Com árvores de *Pinus sylvestris*, Schweingruber (1996) e Vaganov et al., (2006) desenvolveram detalhados estudos aplicando a metodologia de densitometria de raios X, construindo os perfis de variação de densidade aparente do lenho de árvores de diferentes procedências na Europa, bem como comparando as variações de densidade dentro e entre anéis de crescimento para a aplicação em dendrocronologia e dendroecologia.

Ferreira (2009) analisou o lenho de árvores de *Pinus caribaea var. hondurensis*, por densitometria de raios X, obtendo os perfis radiais de variação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento, bem como a demarcação dos seus limites, além dos valores médios de densidade do lenho.

A aplicação da densitometria de raios X no lenho de árvores de *Araucaria columnaris*, de 35 anos, permitiu delimitar os anéis de crescimento, sendo complementar a análise macroscópica; observou-se tendência decrescente da densidade aparente média dos anéis de crescimento próximos à região da medula, com aumento seguido de estabilização no lenho adulto (MEDEIROS, 2005).

### **3.4 Produção de painéis OSB (Oriented Strand Board)**

Os painéis OSB - "Oriented Strand Board" – são confeccionados com partículas de madeira orientadas ("strands") e, segundo Tsoumis (1991), é composto de três camadas, externa com as partículas orientadas paralelamente à direção de formação do painel e interna com as partículas orientadas perpendicularmente às externas.

Os painéis OSB são recomendados para inúmeras aplicações, como forro, parede e piso em construções, pallets, estandes, armações de mobília, paredes decorativas, divisórias, decks, plataformas, prateleiras e estantes; embalagens, alma para vigas I, painéis estruturais isolantes, etc. (JANSSENS, 1998).

Nos EUA a produção de painéis OSB vem aumentando em relação aos demais compensados pela (i) diminuição de toras de boa qualidade para a laminação, (ii) produção com toras de madeira de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial, (iii) não apresenta espaços internos vazios ou orifícios resultantes dos nós, (iv) a largura é determinada pelo equipamento e tecnologia. Considera-se que a maior vantagem dos painéis OSB relaciona-se com o aproveitamento das toras de madeira, com perdas mínimas, na geração e na secagem das partículas na forma de finos (IWAKIRI, 1999).

A fabricação de painéis OSB no Brasil iniciou-se no ano 2000 e, apesar do grande potencial, das vantagens econômicas e ambientais, sua taxa de utilização tem tido menor crescimento em relação à de outros países da América do Norte e Europa. A



falta de incentivos para a sua difusão e de investimentos são considerados como necessários, considerando que a demanda de madeira vem crescendo, podendo-se ser atendida com maior eficiência e racionalidade pelos painéis OSB. Na figura 4 pode-se observar as etapas do processo de manufatura dos painéis OSB são apresentadas na Figura 4, de acordo com Wood Handbook (2010).

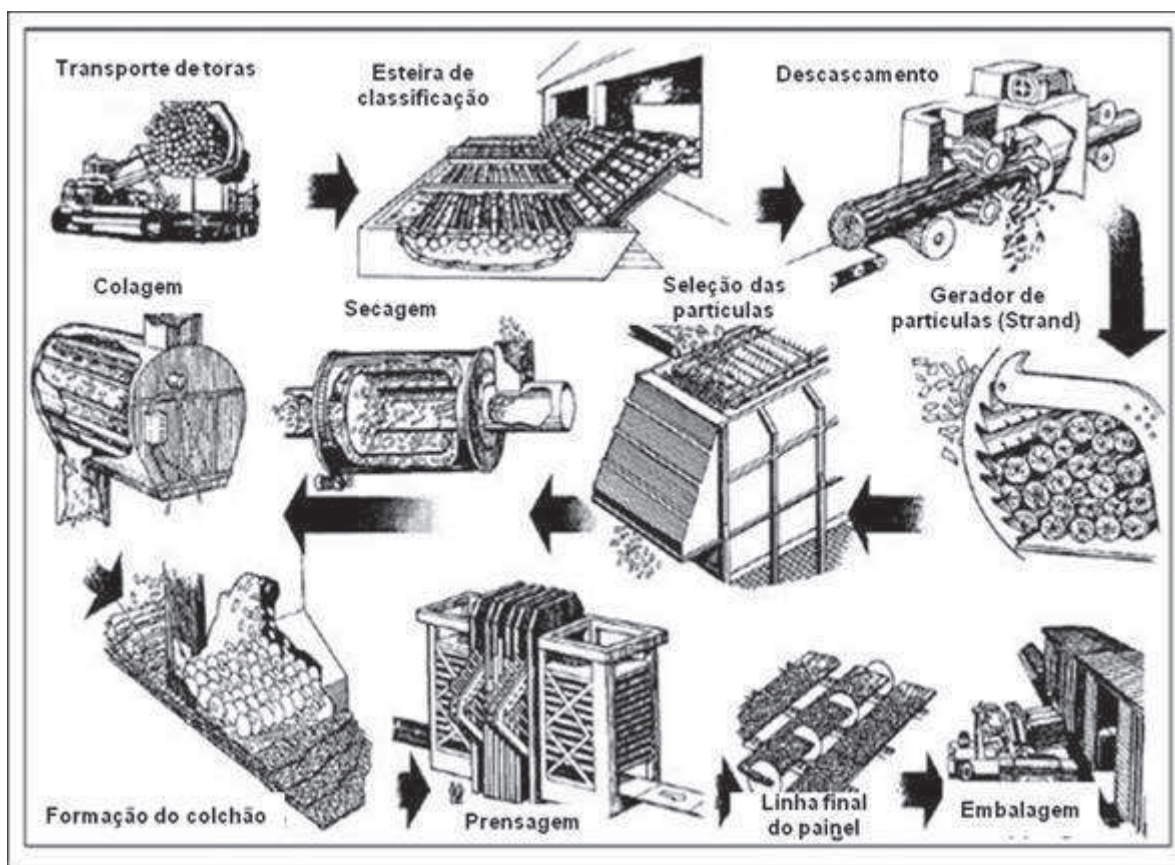


Figura 4 - Fases do processo de manufatura dos painéis OSB. Wood Handbook (2010)

### 3.5 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB

Na confecção dos painéis OSB vários fatores influenciam a sua qualidade final, sendo que a alteração de fator específico pode afetar vários outros relacionados com o processo de manufatura do painel. Os fatores podem ser inerentes à (i) madeira, como espécie, idade das árvores, manejo florestal, estrutura anatômica, densidade, teor de umidade, extrativos da madeira, etc. e (ii) processo, como densidade dos painéis, razão



de compactação, composição dos painéis, tipo e teores de adesivo, parafina, dimensão, orientação e teor de umidade das partículas, tempo e temperatura de prensagem e pressão específica (MALONEY, 1993).

### **3.5.1 Fatores inerentes à madeira**

#### **3.5.1.1 Espécie florestal**

Os painéis OSB podem ser confeccionados com madeira de árvores de pequeno diâmetro e de baixo valor comercial. A madeira utilizada na manufatura do painel OSB exerce influência no tempo de prensagem, bem como as características anatômicas das partículas submetidas à compressão, agindo na resistência à compactação sob condições de pressão e temperatura (MATOS, 1988).

A importância da utilização da madeira de espécies florestais alternativas e de rápido crescimento é enfatizada por Iwakiri et al., (2004) para aumentar o volume de matéria prima destinada no processo industrial de confecção dos painéis OSB, indicando que a madeira de *Pinus taeda* é a mais empregada no Brasil.

Com respeito à utilização da madeira de espécies de eucalipto na fabricação de painéis OSB, Gouveia et al., (2000) indicaram que o *Eucalyptus grandis* é tecnicamente viável pela resistência mecânica, enquanto que o *E. urophylla* (árvores acima de 18 anos) a madeira tem densidade elevada para esse tipo de painel.

#### **3.5.1.2 Características da madeira**

As características da madeira consideradas como as mais importantes na manufatura e qualidade dos painéis OSB relacionam-se à proporção do lenho inicial-tardio, largura dos anéis de crescimento, proporção cerne-alburno, % de extrativos, porosidade, dimensões das fibras e das traqueídes (espessura da parede, diâmetro do lume, comprimento, largura).

Analisando a madeira juvenil-adulta de árvores de *Pinus radiata* nas propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB, Pecho et al., (2005) verificaram uma diminuição dos valores de ligação interna, e aumento do inchamento em espessura dos painéis com o aumento da porcentagem de madeira juvenil; os valores de MOR não diferiram significativamente nos painéis com os dois tipos de madeira.

### 3.5.1.3 Densidade da madeira

A densidade da madeira é um importante fator relacionado com a qualidade dos painéis OSB, devendo ser considerada na seleção das árvores da espécie florestal. A madeira de baixa densidade possibilita a manufatura de painéis OSB de adequada faixa de densidade.

Nesse aspecto, Maloney (1993) afirma que as árvores de espécies florestais que produzem madeira com até  $0,55 \text{ g/cm}^3$  de densidade são as mais recomendadas para a produção de painéis OSB. O autor indica que as variações da densidade da madeira influenciam as operações de processamento, como a geração de partículas, secagem, consumo de adesivo e a prensagem dos painéis OSB. Cloutier (1998) afirma que, de modo geral, a faixa de densidade da madeira mais adequada para a produção de painéis OSB varia de  $0,25\text{-}0,45 \text{ g/cm}^3$ , podendo ser utilizada a madeira de  $0,45\text{-}0,55 \text{ g/cm}^3$ .

A madeira de baixa densidade propicia a obtenção de altas taxas de compressão e maiores superfícies de contato entre as partículas; o contrário ocorre com a madeira de alta densidade. Da mesma forma, madeira de baixa densidade resulta em painéis OSB mais uniformes, com maior capacidade de distribuição de forças entre as partículas, melhorando as suas propriedades de resistência à flexão e de ligação interna (ALBUQUERQUE, 2000).

### 3.5.2 Fatores inerentes ao processo

#### 3.5.2.1 Densidade dos painéis OSB

A densidade do painel OSB está relacionada à quantidade de partículas de madeira para uma determinada dimensão do painel: quanto maior a quantidade de partículas de uma mesma densidade, para uma mesma dimensão, maior será a densidade do painel OSB. A densidade dos painéis OSB influencia nas suas propriedades físico-mecânicas (MALONEY, 1993).

Estudando a produção de painéis OSB com a madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. dunnii*, Iwakiri et al., (2008) concluíram que o aumento da densidade de 0,70 para 1,0 g/cm<sup>3</sup> dos painéis resultou no aumento dos valores de MOE e MOR e diminuição da taxa de absorção de água após 24 h.

Avaliando o efeito da densidade dos painéis OSB da madeira de *Pinus taeda* nas suas propriedades físico-mecânicas, Mendes et al., (2003) observaram que o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80 g/cm<sup>3</sup> resultou em aumento da ligação interna, do MOE e MOR nas direções perpendicular e paralela. O IE dos painéis não foi afetado após 02 horas de imersão, no entanto, houve um aumento do IE após 24 horas de imersão em água, como também da taxa de não retorno em espessura.

Saldanha (2004) avaliando os painéis OSB da madeira de *Pinus taeda* de 0,65 e 0,90 g/cm<sup>3</sup> de densidade observou que o aumento da densidade dos painéis resultou em aumento significativo do MOE e MOR no sentido paralelo e da ligação interna.

#### 3.5.2.2 Razão de compactação

A razão de compactação, ou seja, a relação da densidade do painel OSB e a densidade da madeira, denominada razão de compactação, exerce um efeito nas suas propriedades.

Vários autores, como Kelly (1977), Tsoumis (1991) e Maloney (1993) recomendam que a razão de compactação de 1,3-1,6 para a adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada. Os painéis OSB manufacturados com madeira de baixa densidade apresentam, normalmente, maior resistência à flexão e à ligação interna, em relação aos confeccionados com madeira de alta densidade; os painéis produzidos com a madeira de menor densidade possuem uma razão de compactação maior.

### **3.5.2.3 Composição dos painéis**

Com relação à direção de orientação das partículas de madeira nas camadas superficiais e no centro do painel OSB, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo/face) está na faixa de 20:60:20 a 30:40:30, baseada no peso seco das partículas (em %), sendo as mais utilizadas nas indústrias canadenses e americanas.

Iwakiri et al., (2003) afirmaram que os painéis OSB produzidos na proporção 20:60:20 (face/miolo/face) apresentam propriedades de flexão estática melhor balanceadas entre as direções paralela e perpendicular.

### **3.5.2.4 Tipos e teores de adesivo**

O tipo e o teor de adesivo empregado na produção de painéis OSB estão relacionados às suas condições de uso e custos; para adesivos de custo elevado é importante o controle da quantidade utilizada.

Os adesivos fenol-formaldeído e difenilmetano di-isocianato são os mais utilizados na produção de painéis OSB conferindo alta resistência à umidade (CLOUTIER, 1998). Iwakiri et al., (2003) mencionam que a quantidade do adesivo fenol-formaldeído utilizada em escala industrial na produção de painéis OSB varia de 3,0-6,0% (base peso seco das partículas)

Mendes et al., (2003) avaliando o efeito do teor do adesivo fenol-formaldeído nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB de madeira de *Pinus spp.* verificaram

que o aumento de 4 para 6% do teor de resina resultou na melhoria da compressão paralela, MOE e MOR no sentido perpendicular. Por outro lado ocorreram redução dos valores de AA e IE.

### 3.5.2.5 Dimensões das partículas

A geometria das partículas de madeira é uma das variáveis mais importantes do processamento que afetam as propriedades dos painéis OSB. No processo de geração de partículas de madeira, a dimensão comprimento, largura e espessura devem ser controladas, sendo que a relação comprimento/espessura das partículas é denominada de razão de esbeltez.

Segundo Bodig e Jayne (1982), citados por Iwakiri (1989), a dimensão e forma das partículas são variáveis que mais influenciam as propriedades mecânicas dos painéis OSB. As partículas de madeira de maior comprimento e de menor espessura produzem painéis OSB de maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional; partículas de madeira mais curtas e mais espessas produzem painéis com maior resistência de ligação adesiva e menor estabilidade dimensional. A geometria das partículas de madeira influencia, também, no acabamento, colagem e aplicação de produtos laminados nas superfícies dos painéis OSB (IWAKIRI, 1989).

Painéis OSB confeccionados com partículas de madeira de três larguras (15, 20 e 25 mm) por Mendes (2001) não apresentaram variação dos valores de MOE e MOR em flexão estática na direção perpendicular as fibras. Na direção paralela às fibras houve tendência de aumento do MOE e MOR com a diminuição da largura das partículas, sem diferença estatística significativa.

Saldanha (2004) avaliando a espessura das partículas de madeira de *Pinus taeda* (0,4, 0,7 e 1,0 mm), a pressão de prensagem (40, 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>) e adesivos (FF, MUF e PMUF) nas propriedades dos painéis OSB de *Pinus taeda*, verificou que o aumento de 0,4 até 1,0 mm da espessura afetou significativamente a ligação interna. Os melhores resultados de MOE, MOR, AA, IE e TNRE dos painéis OSB foram obtidos com partículas de 0,7 mm de espessura.

### **3.5.2.6 Orientação das partículas**

A orientação das partículas de madeira é uma variável importante na produção dos painéis OSB e, segundo Cloutier (1998), o comprimento e a largura das partículas são parâmetros que controlam o seu próprio grau de orientação na formação dos painéis OSB. A relação entre o comprimento e a largura das partículas de madeira deve ser de no mínimo três, para possibilitar uma boa orientação das partículas no painel OSB (MALONEY, 1993).

Gouveia et al., (2000) estudando as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB) e não orientadas demonstraram que os maiores valores de MOE e de MOR são obtidos nos painéis OSB.

### **3.5.2.7 Umidade das partículas**

O conteúdo de umidade final do colchão resulta da umidade das partículas de madeira atingida após a sua secagem e da umidade absorvida do adesivo aplicado na forma líquida. A umidade e sua distribuição através da espessura do colchão de partículas do painel OSB exercem influência no tempo de prensagem e no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade, afetando diretamente as propriedades de flexão estática e de ligação interna dos painéis OSB.

Segundo Matos (1988) os colchões de partículas de madeira com elevado teor de umidade requerem tempo mais longo de prensagem para que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada, a fim de permitir a adesão entre as partículas das camadas interiores. Adicionalmente, esses elevados teores de umidade podem causar estouro dos painéis OSB no final da prensagem, momento no qual a pressão de prensagem é avaliada e a pressão do vapor é liberada.

Para Kelly (1977), a transferência de calor desde a superfície até o miolo do colchão de partículas do painel OSB é facilitada pelos teores de umidade mais elevados. A umidade excessiva do colchão interfere negativamente na reação de polimerização do adesivo, principalmente na camada interna do painel. Na medida que,

os pratos aquecidos entram em contato com o colchão de partículas, a umidade tende a migrar para o interior do colchão, que se encontra menos aquecido, resultando em dificuldade na cura do adesivo e menores valores de ligação interna.

### **3.2.5.8 Ciclo de prensagem**

Os parâmetros do ciclo de prensagem dos painéis OSB são divididos em tempo de fechamento da prensa, temperatura, pressão e tempo de prensagem.

Segundo Iwakiri (1989) o tempo de prensagem depende, principalmente, da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem e da distribuição da umidade no colchão de partículas.

As indústrias de painéis OSB do Canadá utilizam normalmente temperaturas de prensagem de 200 a 220°C e tempo de prensagem de 3 a 6 min. e fenol-formaldeído e difenilmetano di-isocianato como adesivos, dependendo da espessura do painel OSB. A temperatura de prensagem dos painéis OSB depende principalmente do tipo de adesivo, com a função de promover a cura do adesivo e a plasticização da madeira para facilitar a compressão do colchão até a espessura final do painel (CLOUTIER, 1998).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Espécie florestal e caracterização da área experimental

A plantação de *Pinus taeda* foi instalada em 1973, em uma área de 23,7 ha, denominado Talhão Experimental 050735-1, do Projeto Ouro Verde da empresa Valor Florestal, localizada no município de Sengés, PR, nas coordenadas 49° 27' 27,1" Oeste e 24° 19' 21,75" Sul (Figura 5), a 900 m de altitude e relevo fortemente ondulado. Foram plantadas 1666 árvores/ha, no espaçamento de 3x2 m, com a aplicação de 2 desbastes nos anos de 1988 e 1991 e corte raso das 256 árvores/ha, no ano de 2008.

Esta pesquisa foi parte do Projeto apresentado à FAPESP intitulada “Potencial de utilização do rolo resto da laminação de toras como matéria prima para a produção de painéis OSB”, coordenado pelo professor Geraldo Bortoletto.

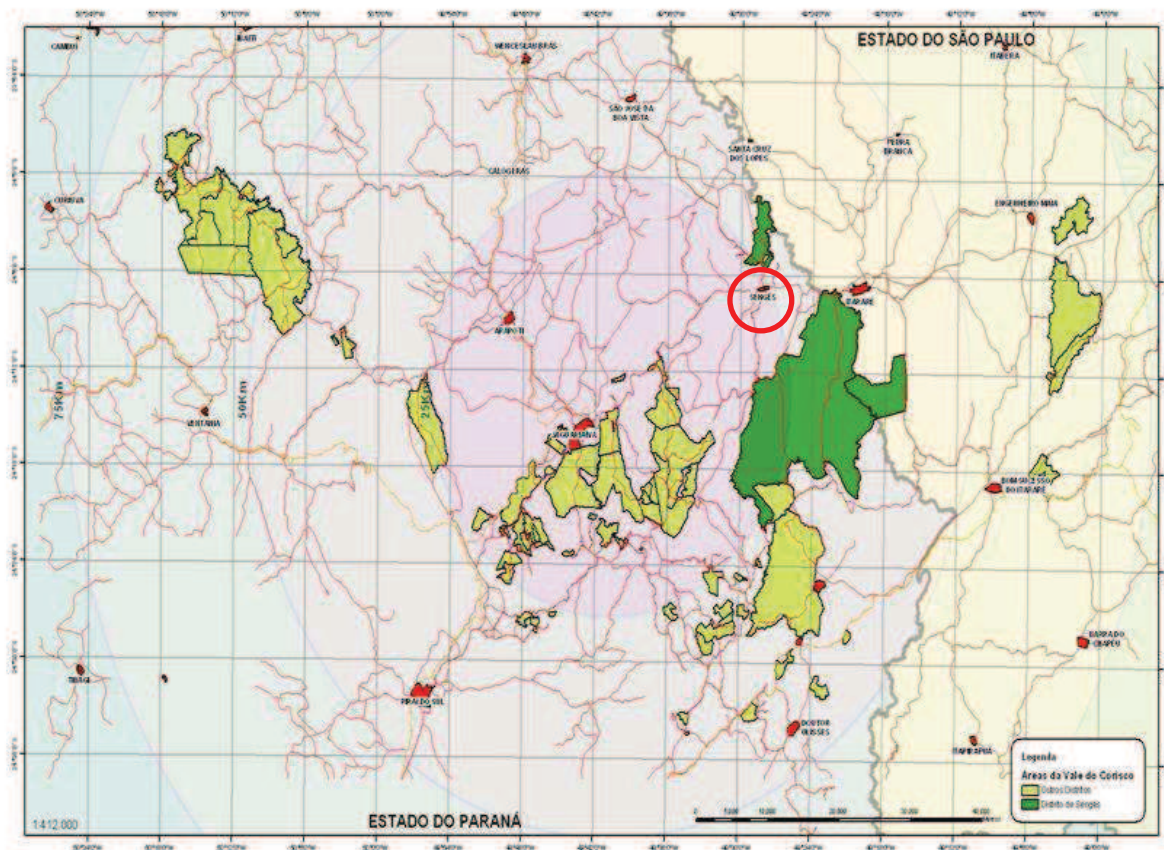


Figura 5 - Mapa de localização do município de Sengés, no estado do Paraná



## 4.2 Seleção das árvores de *pinus*

Com os resultados do inventário florestal do talhão experimental foram selecionadas e cortadas 8 árvores de *Pinus taeda* com 40-50 cm de DAP, com troncos retilíneos, sem bifurcações e com poucas ramificações, compatíveis com a qualidade adequada ao processamento mecânico (Tabela 1). Na base e a 7,5 m do tronco das árvores foram cortados 2 discos de lenho (3 cm de espessura) e, seccionados toras de 2,5 m de comprimento, sendo 3 toras/árvore. Os discos e as toras do lenho das árvores foram transportados para a Serraria e para os Laboratórios de Laminação e Painéis de Madeira/LLAPAM e de Anatomia e Identificação de Madeiras/LAIM, do Departamento de Ciências Florestais, da ESALQ/USP. O aspecto geral da plantação, corte, transporte e desdobro das toras do tronco das árvores de *pinus* são apresentados na Figura 6.

Tabela1 - Dados dendrométricos das árvores de *Pinus taeda*

Árvore	DAP (cm)	Altura total (m)
I	40,7	31
II	42,7	32
III	40,6	30
IV	41,6	32
V	41,8	30
VI	40,1	29
VII	45,2	30
VIII	41,0	33
Média	41,7	31
CV (%)	3,9	4

## 4.3 Caracterização do lenho das árvores de *pinus*

### 4.3.1 Análise macroscópica do lenho das árvores de *pinus*

Selecionou-se um disco do lenho da base do tronco das 8 árvores de *Pinus taeda* e sua seção transversal foi polida com lixas (80, 100, 150, 300, 600) para proporcionar maior nitidez na análise dos anéis de crescimento sob microscópio estereoscópico visando a sua caracterização macroscópica (Figura 7).

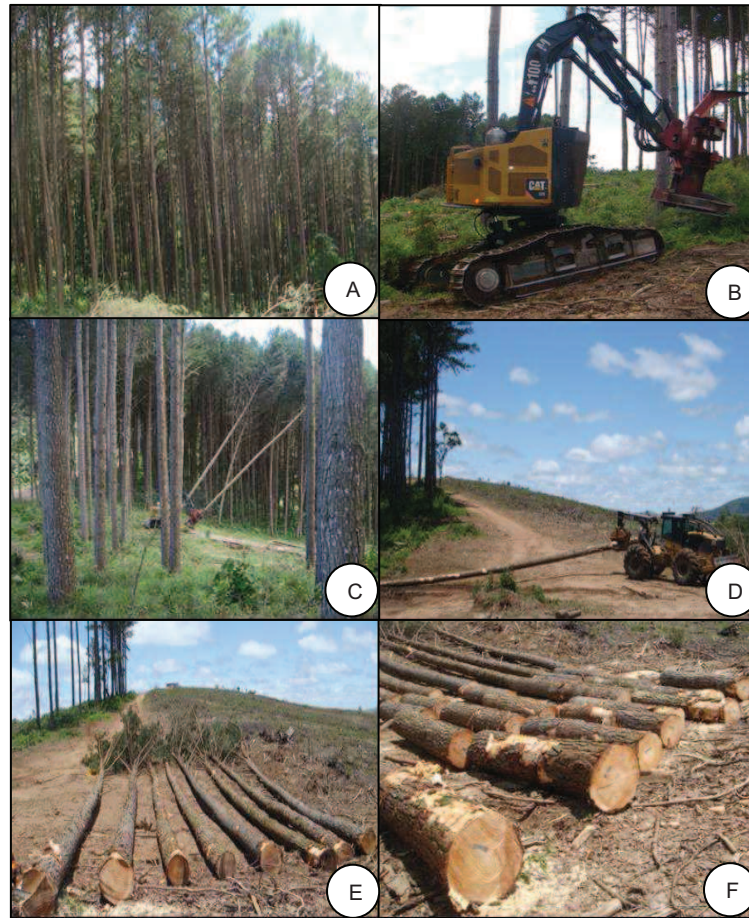


Figura 6 - Aspectos gerais da plantação de *pinus* (A); corte e transporte das árvores para o carregador (B,C,D,E); disposição das árvores de *pinus* no carregador; troncos das árvores de *pinus* desdobrados em toras basais (F)

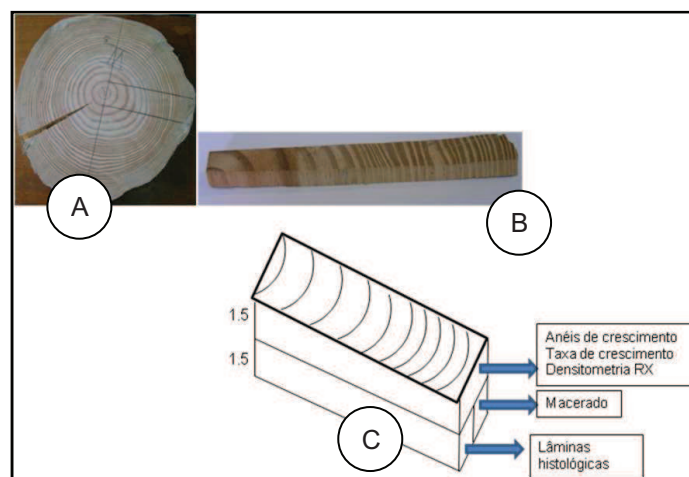


Figura 7 - (A) Seção transversal do disco do lenho de árvore de *pinus* e demarcação do corpo de prova radial; (B) amostra radial do lenho; (C) amostragem dos corpos de prova do lenho para as análises anatômicas e dos anéis de crescimento

### 4.3.2 Análise microscópica do lenho

**Confecção de lâminas histológicas do lenho:** para a caracterização anatômica microscópica do lenho foram demarcados e preparados corpos de prova orientados (1 x 1 x 1,5 cm) em 5 posições sentido radial (medula-casca) e na região próxima à casca, na região da base do tronco das 8 árvores de pinus. Os corpos de prova do lenho foram imersos em solução de água+glicerina e levados a ebulição para o amolecimento (3h). Em seguida, os corpos de prova foram fixados no micrótomo de deslize e, na sua superfície, foi aplicada uma mistura de resina plástica para PVC e acetato de butila (proporção 2:1); após a secagem da solução (5 min.) procedeu-se a retirada dos cortes histológicos (20 µm de espessura), dos planos de estudo da madeira, com solução de álcool. Os cortes histológicos foram transferidos para vidros de relógio, clarificados (hipoclorito de sódio, 20%), lavados (ácido acético, 1%), desidratados (série alcoólica, 30-50-80-90-100%) e corados com safranina (após a série alcoólica 50%). Em seguida as seções do lenho foram transferidas para lâminas de vidro, aplicada uma resina e cobertas com lamínulas de vidro (JOHANSEN,1940; SASS,1951).

**Confecção de lâminas com lenho macerado:** foram utilizadas as amostras do lenho as 8 árvores de *pinus* coletadas nas 2 alturas (base, 7,5 m) do tronco e em 5 posições radiais, diferenciando os lenhos inicial e tardio (Ver figura 8). As amostras do lenho foram cortadas e transferidas para tubos de ensaio com 10 ml de ácido acético + peróxido de hidrogênio (1:1); os tubos de ensaio foram fechados e transferidos para uma estufa (60° C, 48h), por um período de 15-20 h para a dissociação dos elementos celulares (FRANKLIN, 1937). Os elementos celulares dissociados foram lavados (x4) em água destilada e adicionado o corante safranina (1%), por 20 min. Em seguida, as células do lenho foram transferidas para lâminas de vidro e cobertas com lamínula.

**Análises anatômicas do lenho:** as lâminas histológicas permanentes do lenho das árvores de *pinus* foram examinadas sob microscópio de luz, visando (i) avaliação da estrutura anatômica e, no plano transversal (mensurar a espessura da parede, largura e diâmetro de lume das traqueídes), tangencial (mensurar a altura, largura, número de células e tipos do parênquima radial) e radial (tipo, largura e abertura das pontoações), (ii) variação radial dos elementos anatômicos, aplicando programa de análise de

imagens. Aplicaram-se as “Normas e Procedimentos em Anatomia da Madeira” do IBAMA (1991) e a “List of Microscopic Features for Softwood Identification” (IAWA COMMITTEE, 2004). Para cada amostra do lenho foram coletadas 4 imagens pelo software Pixelink e para a avaliação das dimensões celulares: largura, espessura da parede e diâmetro do lume das traqueídes (Figura 8); o software Image Tool, sendo mensuradas 60 traqueídes dos lenhos inicial e tardio, em 5 posições radiais (0, 25, 50, 75, 100%) para as 8 árvores de *pinus*, totalizando 4800 traqueídes (9600 medições). As lâminas histológicas com as células dissociadas do lenho das árvores de *pinus* foram examinadas sob microscopia de luz, e coletadas imagens das traqueídes (12,5x de aumento) com o programa Image Tool, sendo mensurado o comprimento de 15 traqueídes/lâmina (Figura 9), com 3 lâminas/lenho, em um total de 7200 traqueídes, de acordo com as normas da IAWA “List of Microscopic Features for Softwood Identification” (IAWA COMMITTEE, 2004).

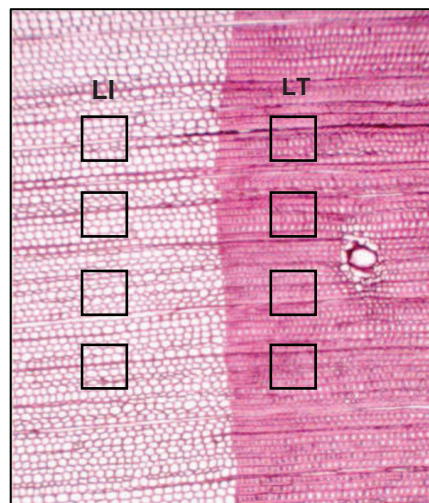


Figura 8 - Seção transversal do lenho de *pinus*, com as áreas de amostragem para avaliação das dimensões transversais das traqueídes de lenho inicial (LI) e tardio (LT) de um anel de crescimento anual (x 25)



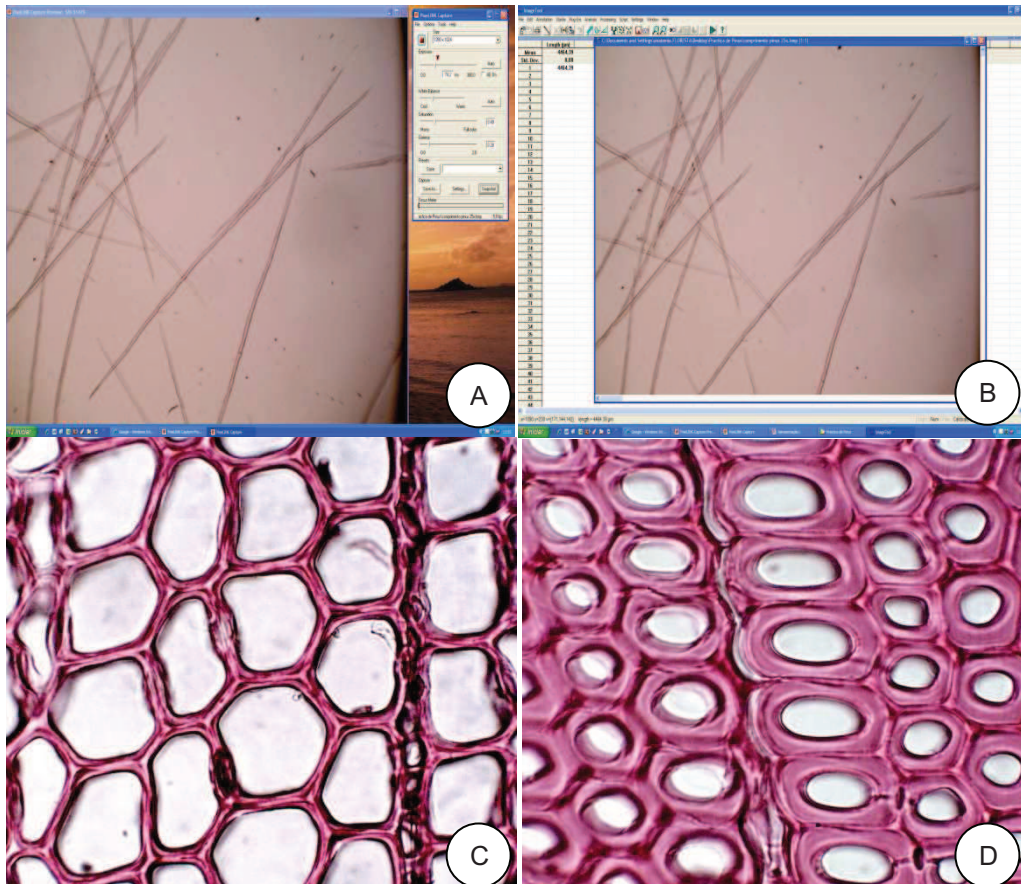


Figura 9 - Células dissociadas do lenho de *pinus*, com destaque para as traqueídes e aplicação do software Pixelink (A) e Image Tool (B); seção transversal das traqueídes de lenho inicial (C) e tardio (D) (400x)

#### 4.4 Caracterização dos anéis de crescimento e da taxa de crescimento do tronco das árvores de *pinus*

Na seção transversal dos discos do lenho das 8 árvores de *pinus*, cortadas nas 2 alturas (base, 7,5 m) do tronco, previamente polidos em uma série de lixas, para destacar os anéis de crescimento, foram demarcados e cortados 16 corpos de prova radiais do lenho (medula-casca). A seção transversal do lenho dos corpos de prova foi examinada à olho nu e sob microscópio estereoscópico e demarcados os limites dos anéis de crescimento anuais (Figura 10). Em seguida, utilizando a mesa de medição marca Velmex foi mensurada a largura dos anéis de crescimento, sendo os valores transportados para as planilhas do Programa Excel,

para a análise dos anéis de crescimento e da determinação da taxa de crescimento em diâmetro das árvores de *pinus*.

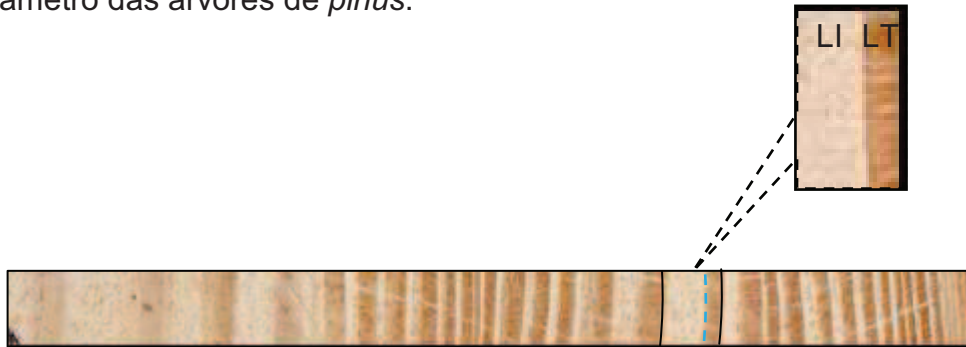


Figura 10 - Seção transversal do lenho de *pinus*: corpo de prova radial do lenho, com destaque para os lenhos inicial (LI) e tardio (LT) dos anéis de crescimento anuais

#### 4.5 Avaliação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento de *pinus*

**Preparo das amostras:** as amostras do lenho de *pinus* foram coladas em suporte de madeira, cortadas (2 mm de espessura) em equipamento de dupla serra paralela e acondicionadas em câmara de aclimatização (12h, 20° C, 50% UR) até atingir 12% de umidade (AMARAL e TOMAZELLO FILHO, 1998) (Figura 11A)

**Obtenção dos filmes radiográficos:** as amostras do lenho de *pinus* e a cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g/cc) foram dispostas sobre filme de raios X (Kodak, Diagnostic Film X-OMAT XK1, 240x180 mm) em câmara escura (Figura 11B,C) e obtidas radiografias em equipamento de raios X Hewlett Packard modelo Faxitron 43805 N (5 min., 16 KV, 3 mA), que foram reveladas.

**Análise dos filmes radiográficos:** os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T (1000 dpi/pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus. Os valores de densidade do lenho foram determinados e convertidos para o arquivo tipo DEN, através de software CRAD. Na seqüência, o arquivo DEN é lido com auxílio de software CERD considerando 20 x 50 (comprimento x largura) determinando os valores de densidade (Figura 11D,E).

**Montagem do perfil radial de densidade:** as análises originam um arquivo tipo TXT contendo os valores pontuais de densidade e os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho das árvores de *Pinus taeda* (MOTHE et al., 1998).

**Parâmetros de densidade aparente do lenho:** a partir dos perfis radiais de densidade aparente do lenho foi determinada a densidades média/anel de crescimento e o perfil radial de densidade de cada amostra do lenho.

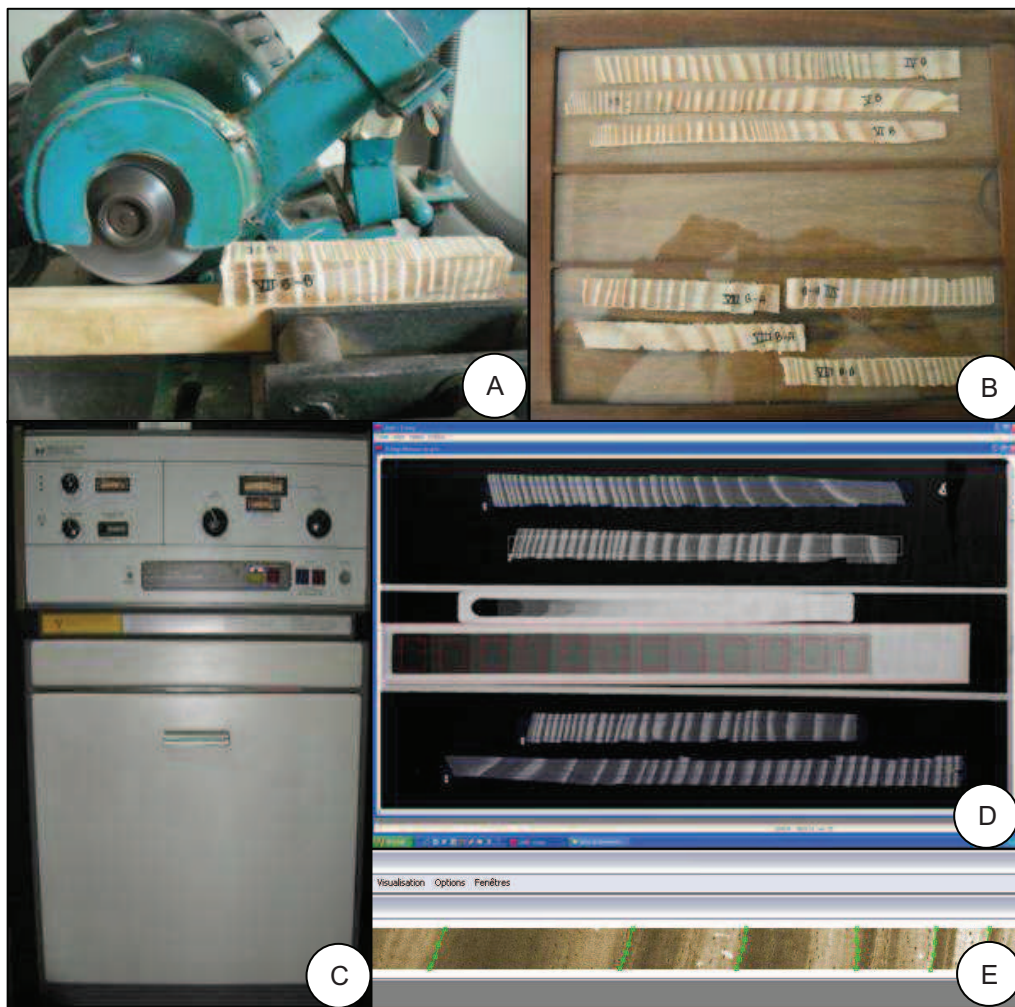


Figura 11 - Determinação da densidade aparente do lenho de árvores de *pinus* por microdensitometria de raios X. Corte da seção transversal das amostras do lenho em equipamento de dupla serra (A); seções transversais do lenho dispostas sobre filme de raios X (B); equipamento de raios X para a irradiação das amostras do lenho (C); radiografia das amostras do lenho de *pinus* e das cunhas de calibração para análise no programa CRAD (D); seção transversal de amostra do lenho e demarcação dos anéis de crescimento (E)

#### 4.6 Avaliação da densidade básica do lenho de *pinus*

Nos discos do lenho cortados na base e a 7,5 m do tronco das 8 árvores de *pinus* foram demarcadas e cortadas 2 amostras (em forma de cunha) opostas e imersas em água até a saturação completa. Em seguida, o volume das amostras do lenho foi determinado pelo método de imersão em água (Norma NBR 11941-02, 2003) e transferidas para estufa de circulação forçada de ar (102° +/- 3°C) até atingir massa constante obtendo, assim, a sua massa seca. A densidade básica das amostras do lenho de *pinus* foi determinada através da Fórmula (1):

$$\text{Densidade básica} = \frac{\text{massa seca (g)}}{\text{volume saturado (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

#### 4.7 Manufatura dos painéis OSB de partículas de madeira de *pinus*

##### 4.7.1 Desdobro das toras de madeira de *pinus*: Tora Integral (TI) e Rolo Resto (RR)

Quatro toras de *pinus* foram desdobradas no sentido tangencial em tábuas (25 mm, espessura nominal) em serra-fita dotada com carro porta-tora. As tábuas de *pinus*, com 2,4 m de comprimento foram processadas em serra circular destopadeira, sendo confeccionados blocos de madeira (90 mm de comprimento, direção das fibras), armazenados imersos em água e cortados em partículas de madeira tipo "strand", denominadas partículas de madeira de Tora Integral (TI).

Quatro toras de *pinus* foram descascadas, aquecidas em água (60° C, 24 h) e, em seguida, desenroladas em lâminas de madeira em um torno laminador até o diâmetro nominal do rolo (20 cm). Os rolos restos de madeira foram desdobrados em tábuas (25 mm, espessura nominal) em serra circular múltipla de um eixo. As tábuas de madeira de *pinus* foram cortadas em blocos de madeira (90 mm, direção das fibras) armazenados imersos em água e cortados em partículas de madeira tipo "strand", denominadas partículas de madeira de Rolo Resto (RR) (Figura 12).





Figura 12 - Manufatura do painel OSB. Tora de *pinus* (A) e procedimento de descascamento (B); pré-aquecimento das toras de *pinus* (C) e sua laminação (D); obtenção das tábuas de *pinus* (E); blocos e partículas de *pinus* (F,G); painel OSB de partículas de madeira de *pinus* (H)

#### 4.7.2 Obtenção e secagem das partículas

Os blocos de madeira de *pinus* das toras integrais e do rolo, armazenados em água, foram processados em gerador de partículas, com 1 disco rotativo e 4 facas, originando as partículas de madeira (90x25x0,6 mm, comprimento, largura, espessura) de Tora Integral (TI) e de Rolo Resto (RR) (Figura 13).

As partículas de madeira TI e RR foram dispostas sobre lonas plásticas em local coberto para atingir o teor de umidade abaixo de ponto de saturação das fibras e, em seguida secas em estufa (60°C) atingindo 3 a 4% de umidade (base peso seco). As partículas de madeira TI e RR foram acondicionadas e armazenadas em sacos plásticos e, em seguida, fechados com fita adesiva para manter a umidade de secagem.

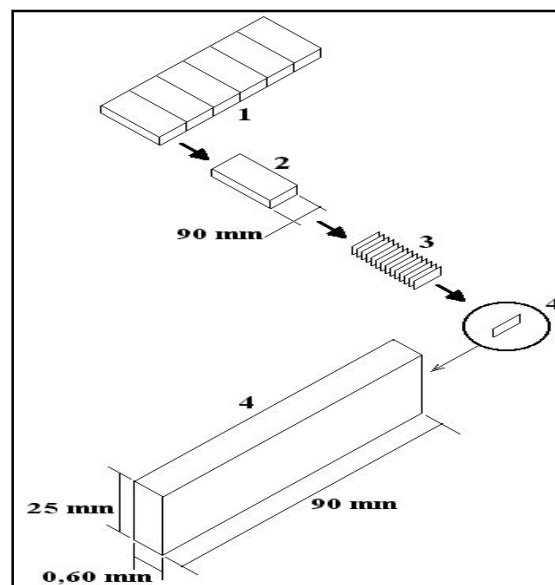


Figura 13 - Processo de produção das partículas de madeira de *pinus*: tábua com 25 mm de espessura (1), bloco de madeira 90 mm, direção das fibras (2), partículas de madeira produzidas no gerador de partículas (3), partícula strand de madeira (90 mm comprimento, 25 mm largura, 0,6 mm espessura) (4). Foto. Adaptado de Mendes, 2001.

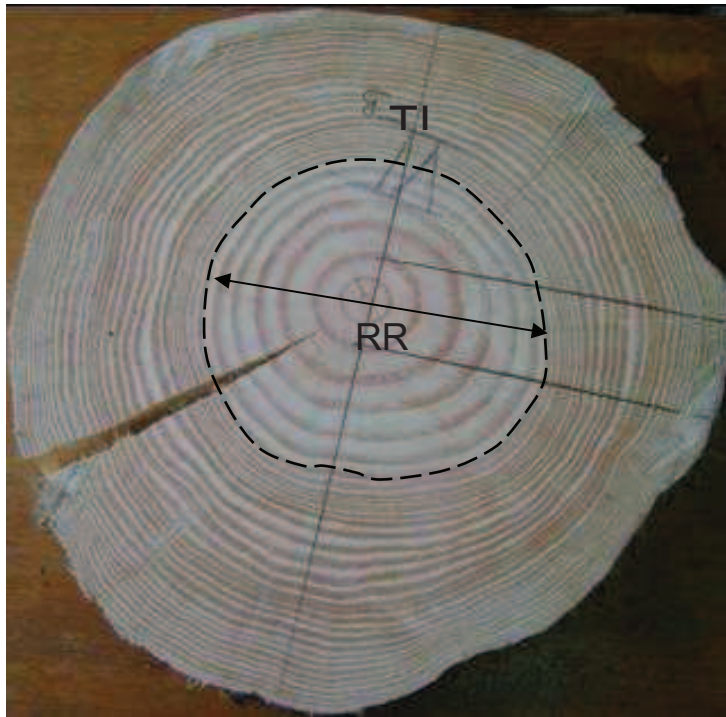


Figura 14 – Seção transversal de tora integral (TI) de árvore de *pinus*: delimitação da região do lenho de rolo-resto (RR), resultante do processo de laminação

#### 4.8 Análises das partículas da madeira (strand) de *pinus*

##### 4.8.1 Determinação da densidade aparente das partículas de madeira (strand)

Foram selecionadas aleatoriamente 5 árvores de *pinus* da base (II, III, IV, VI e VIII) para a determinação da densidade aparente das partículas de madeira em 5 posições (10 partículas/posição radial; total de 250 partículas). As partículas de madeira foram cortadas nas dimensões atendendo a relação 5:1 (comprimento, largura). As partículas de madeira foram acondicionadas em câmara de climatização (12h, 20° C, 50% UR) até atingir 12% de umidade e obtido o perfil de densidade aparente no Densitômetro Quintek Measurement Systems modelo QTRS – 01X, através do seguinte procedimento:

**Obtenção e análise dos perfis radiográficos:** as partículas de madeira das árvores de *pinus* foram dispostas no suporte do equipamento e expostas a um feixe de raios X

colimado. Os valores de raios X que atravessam a partícula de madeira são transformados em densidade aparente através do software QMS. Os valores pontuais de densidade que compõem o perfil radial de densidade aparente do lenho são observados na tela do monitor, simultaneamente à imagem da seção longitudinal da partícula (QMS, 1999).

**Parâmetros de densidade aparente do lenho:** os valores de densidade aparente do lenho obtidos pelo software QMS originam um arquivo DAN (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do lenho a cada 40  $\mu\text{m}$ ). O arquivo DAN é lido pelo software Excel, construindo-se os perfis de densidade aparente do lenho.

#### 4.8.2 Avaliação da resistência das partículas (strand) à tração paralela das traqueídes

As partículas “strand” de madeira de *pinus* selecionadas para a determinação de densidade por densitometria de raios X foram avaliadas em Máquina Universal EMIC do Laboratório de Papel e Celulose do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/IPT (Figura 15). Sendo determinada a resistência das partículas em tração paralela às fibras de madeira das 5 árvores de *pinus* da base, nas posições 0, 25, 50, 75, 100% (10 repetições x posição), no sentido medula-casca. As dimensões das partículas foram: espessura: 0,6 mm, largura: 5 até 10 mm, e comprimento: 25 até 40 mm (relação largura/comprimento = 1/5). No total foram 250 amostras.



Figura 15 - Máquina de ensaio de tração de papel e celulose utilizada para os ensaios de partículas

#### 4.9 Confeção dos painéis OSB de partículas de madeira de *pinus*

Foram confeccionados os painéis OSB de três camadas de partículas de madeira de *pinus* com 2 tratamentos (Tabela 2), em relação à % de partículas de madeira de rolo-resto (RR) e de tora-integral (TI), a saber:

- (i) **Tratamento 1** [ 0% de partículas de madeira de rolo-resto (RR) / 100% de partículas de madeira de tora-integral (TI)]
- (ii) **Tratamento 2** [ 100% de partículas de madeira de rolo-resto (RR) / 0% de partículas de madeira de tora-integral (TI)].

Tabela 2 - Tratamentos adotados na fase de produção dos painéis OSB de madeira de *pinus*

Trat.	Proporção de Partículas RR (%)	Proporção de Partículas TI (%)
1	0	100
2	100	0

Na confecção dos painéis OSB as partículas de madeira da camada externa (face) foram orientadas com o seu comprimento em disposição perpendicular em relação às partículas da camada interna (miolo), a composição das camadas foi 30:40:30 (face/miolo/face).

A densidade nominal dos painéis OSB de madeira de *pinus* foi de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, sendo confeccionados com as dimensões nominais de 560 x 560 x 15,7 mm. O cálculo da massa de partículas de madeira de *pinus*, da resina e demais insumos incorporados no painel OSB foi baseado na metodologia descrita por Brito (1995). Os parâmetros do processo de produção dos painéis OSB foram aplicados nos trabalhos da literatura especializada desenvolvidos por Moslemi (1974), Maloney (1977), Kelly (1977), Matos (1988), Cloutier (1998) e Mendes (2001). Os painéis OSB foram confeccionados no Laboratório de Painéis do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

**Encolagem das partículas de madeira de *pinus*:** no processo de encolagem das partículas de madeira foi utilizada a resina à base de fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos (48%), pH e 11,5 e viscosidade de 500 cp. A resina foi aplicada na



concentração de 6% (base peso seco das partículas) utilizando uma encoladeira, constituída por um tambor giratório acoplado a pistola de ar comprimido (Figura 16).

**Orientação e formação do colchão dos painéis OSB:** as partículas de madeira encoladas foram distribuídas manualmente em caixa de madeira orientadora de partículas (dimensões 600 x 600 x 200 mm) para a formação do colchão, com 15 subdivisões de lâminas de ferro distantes de 40 mm entre si (Figura 17)

**Prensagem dos painéis OSB:** o colchão de partículas de madeira encoladas foi transportado para os pratos de prensa hidráulica, com controle de temperatura e de pressão e prensado ( $180^{\circ}\text{C}$ , 8 min. e  $30\text{ kgf/cm}^2$ ). Após a prensagem, os painéis OSB foram dispostos em posição vertical até atingir a temperatura ambiente e transportados para a sala climatizada (Figura 18).



Figura 16 – Equipamentos encoladeira (A) e gerador de partículas de madeira tipo Marconi (B)



Figura 17 - Partículas de madeira de *pinus* sem (A) e com orientação (B), partículas de madeira orientadas (C), caixa formadora (D) colchão de partículas prensado manualmente (E)



Figura 18 - Colchão de partículas de madeira de *pinus* nos pratos da prensa (A) e a prensa hidráulica tipo Marconi (B)

## 4.10 Determinação das propriedades dos painéis OSB de partículas de madeira de *pinus*

### 4.10.1 Propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB

No Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD da ESALQ/USP, foram preparados os corpos de prova para determinar as propriedades físico-mecânicas obtidos pelo corte das amostras dos painéis OSB de madeira de *pinus*, em serra circular esquadrejadeira excluindo-se, inicialmente, 25 mm de laterais para eliminar o efeito de borda. Na superfície dos painéis OSB foram demarcados os corpos de prova para a aplicação dos ensaios, sendo que, para os ensaios de flexão estática, foram cortados em sentido paralelo e perpendicular em relação à orientação das partículas das suas camadas (Figura 19A).

As propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB foram determinadas atendendo as normas ASTM e EN, a saber: Absorção de água (AA): norma ASTM 1037-2006; Inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1037-2006 e propriedades mecânicas: Flexão estática Paralela (Fe// MOE): norma EN 310-2000; Flexão estática Paralela (Fe// MOR): norma EN 310-2000; Flexão estática Perpendicular (Fe I MOE): norma EN 310-2000; Flexão estática Perpendicular (Fe I MOR): norma EN 310-2000; Ligação Interna (LI): norma ASTM 1037-2006 (Figura 19B).

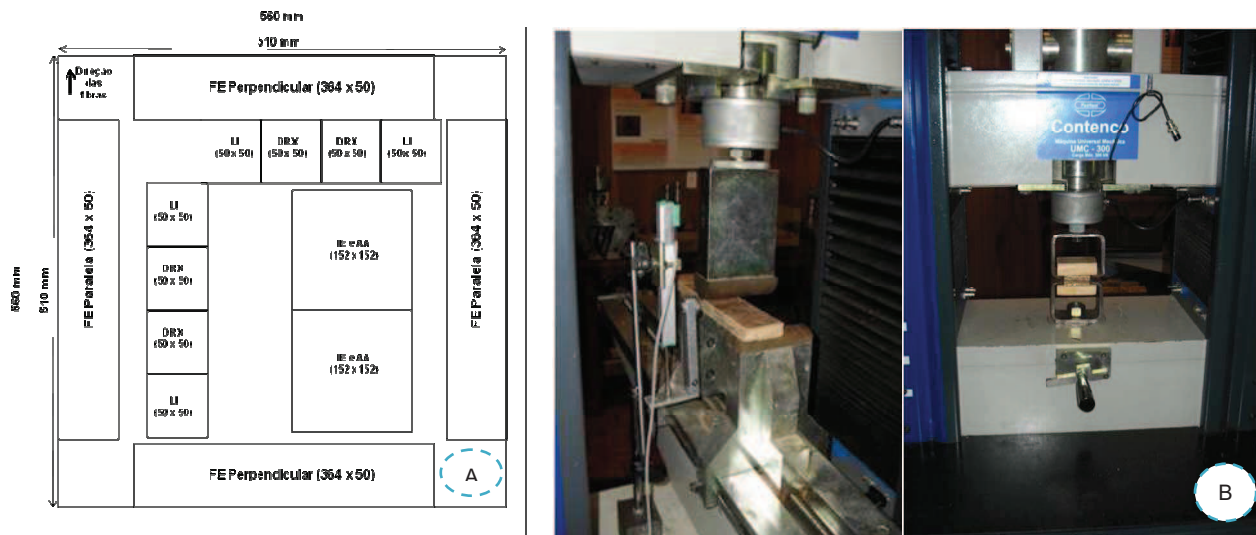


Figura 19 – Delimitação dos corpos de prova em painel OSB (mm) para a aplicação dos ensaios (A); ensaios de flexão estática e ligação interna dos painéis OSB (B)



#### 4.10.2 Análise dos painéis OSB de madeira de *pinus* sob MEV

Os corpos de prova dos painéis OSB de *pinus* submetidos aos ensaios de avaliação da ligação interna foram preparados para exame sob microscopia eletrônica de varredura (MEV), de acordo com a metodologia preconizada por Kitajima & Leite (1999). As amostras dos painéis foram examinadas no microscópio eletrônico Zeiss modelo DSM 940 A (Figura 20), coletando-se as imagens em diferentes ampliações para a diferenciação dos componentes celulares, da resina aplicada e da estrutura interna dos painéis.

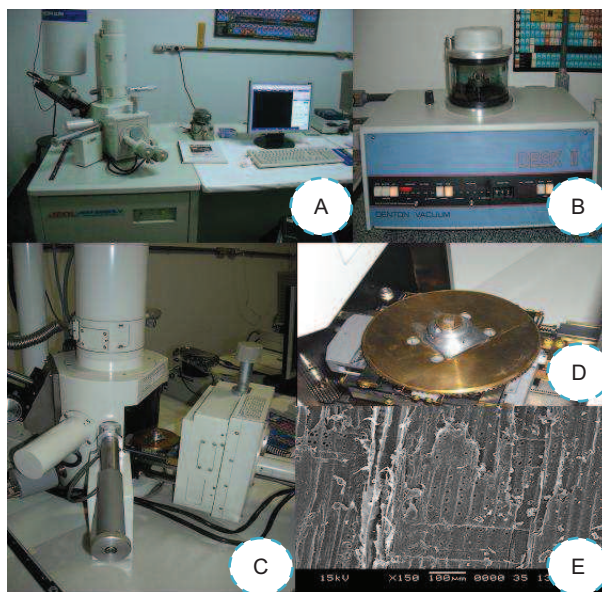


Figura 20 - Microscópio eletrônico de varredura (MEV) (A); processo de metalização das amostras de painéis OSB (B); abertura do aparelho para colocar as amostras (C) suporte com amostras dos painéis (D); imagem das partículas (150x) (E)

#### 4.10.3 Avaliação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de *pinus* por densitometria de raios X

Na avaliação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de *pinus* foram utilizados 2 equipamentos e aplicadas 2 metodologias:

No primeiro equipamento (Figura 21), foram selecionados e cortados corpos de prova de painéis OSB nas dimensões de 50x50 mm, transferidos para câmara de

climatização (20°C; 60% UR; 12 h) e analisados em densitômetro de raios X marca GreCon modelo DA-X no laboratório de Ensaio Físico Mecânico da Empresa Duratex, Botucatu, SP. O densitômetro de raios X GreCon DA-X possui as seguintes características: voltagem de até 33 kV, corrente entre 0 -1 mA, ângulo de radiação de 11°, colimação inicial e final dos feixes de 100 e de 50  $\mu\text{m}$ , respectivamente, permitindo determinar a densidade de painéis de até 1500  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Os painéis OSB de madeira de *pinus* foram analisados ao longo de sua espessura, a cada 20  $\mu\text{m}$  de distância, coletando-se os valores de densidade aparente e construindo o gráfico dos perfis de densidade (BELINI et al., 2009).

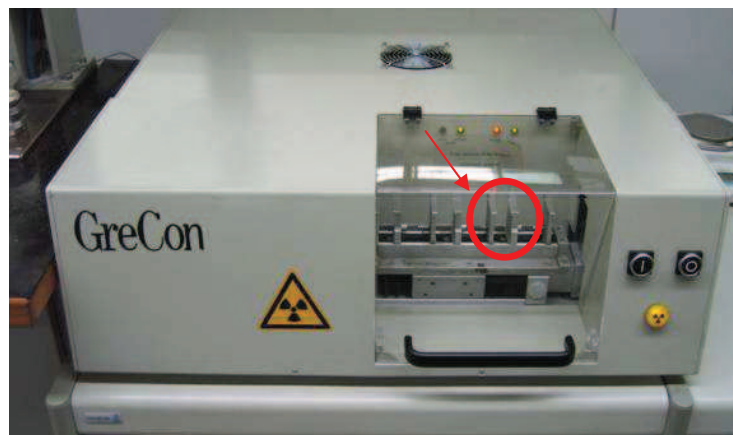


Figura 21 - Equipamento de densitometria de raios X – GreCon com câmara de irradiação dos corpos de prova de painéis OSB

No segundo equipamento (Figura 22), foram selecionados e cortados corpos de prova de painéis OSB na espessura de 0,6 mm, transferidos para câmara climatização (20°C; 60% UR; 12 h) e analisados em microdensitômetro Quintek Measurement Systems, Model QTRS-01X, conforme detalhado no item 4.8.1. Os valores de densidade aparente possibilitaram construir o gráfico dos perfis de densidade dos painéis (REZENDE, 2011).

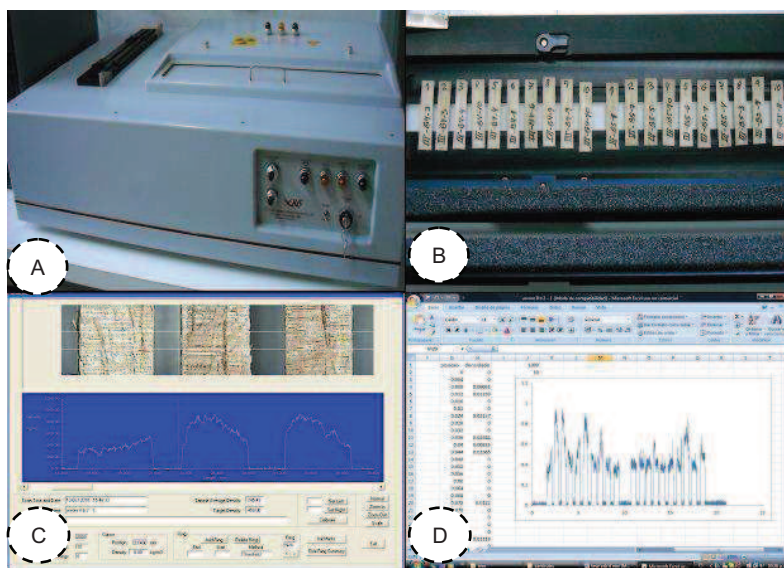


Figura 22 - Equipamento de densitometria de raios X – Quintek (A); partículas de madeira (B); perfil de densidade aparente (C); tabela Excel para processamento da densidade aparente das partículas (D)

#### 4.11 Análise Estatística

Na caracterização anatômica foram determinados os valores referentes à estatística básica das estruturas avaliadas na pesquisa (média, desvio padrão e coeficiente de variabilidade). Para a avaliação da qualidade dos painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* da tora integral e do rolo resto, foi considerado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Como foi observada diferença estatística entre a densidade aparente média de cada tratamento dos painéis OSB, realizou-se uma análise de correlação entre a densidade dos painéis e cada uma das propriedades. Para as propriedades em que se observou correlação significativa procedeu-se a uma análise de covariância com as médias ajustadas para a densidade dos painéis, utilizando rotinas de software Statistical Analysis System (SAS, 1999). Para a diferenciação dos tratamentos foi utilizado análise de variância e teste de médias Tukey, ambos com 5% de significância.

Os valores das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, por tratamento, foram confrontados com os valores especificados na norma Canadense CSA 0437 – OSB and Waferboard (1993).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Pinus taeda*

#### 5.1.1 Caracterização macroscópica do lenho

O lenho apresenta cerne e albarno indistintos; anéis de crescimento distintos com uma nítida transição do lenho inicial para tardio; lenho inicial de cor branco-amarelado e tardio cor branco-amarronzado; cheiro e gosto característicos (resina); grã direita; textura fina a média; raios visíveis sob lente no plano transversal; canais de resina presentes e visíveis a olho nu.

#### 5.1.2 Caracterização microscópica do lenho

O lenho apresenta as traqueídes longitudinais do lenho inicial na seção transversal com formato prismático hexagonal e paredes celulares finas e do lenho tardio forma retangular, achatada na parede radial e de maior espessura. A largura média (e variações) das traqueídes nos lenhos inicial e tardio é de 43,48 (31,83-63,26) e 29,53  $\mu\text{m}$  (20,79-36,65), respectivamente; o diâmetro do lume, de 36,63 (26,27-54,61) e 16,16  $\mu\text{m}$  (11,37-20,57), respectivamente; a espessura da parede de 3,42 (2,27-4,77) e 6,68  $\mu\text{m}$  (3,80-8,77), respectivamente; o diâmetro das pontoações areoladas nas traqueídes de lenho inicial é de 21,76 (18,36-33,99) e o diâmetro da abertura foi de 6,7  $\mu\text{m}$ . Os raios do parênquima radial são unisseriados e fusiformes; frequência 5-6 raios/mm, altura média de 177,33  $\mu\text{m}$  (97,83-244,69), com 3-12 células/raio; largura média de 21,88  $\mu\text{m}$  (13,77-32,85). O campo de cruzamento possui 1-5 pontoações do tipo pinóide. Os raios fusiformes apresentam 70  $\mu\text{m}$  de largura e 460  $\mu\text{m}$  de altura (Figura 23).



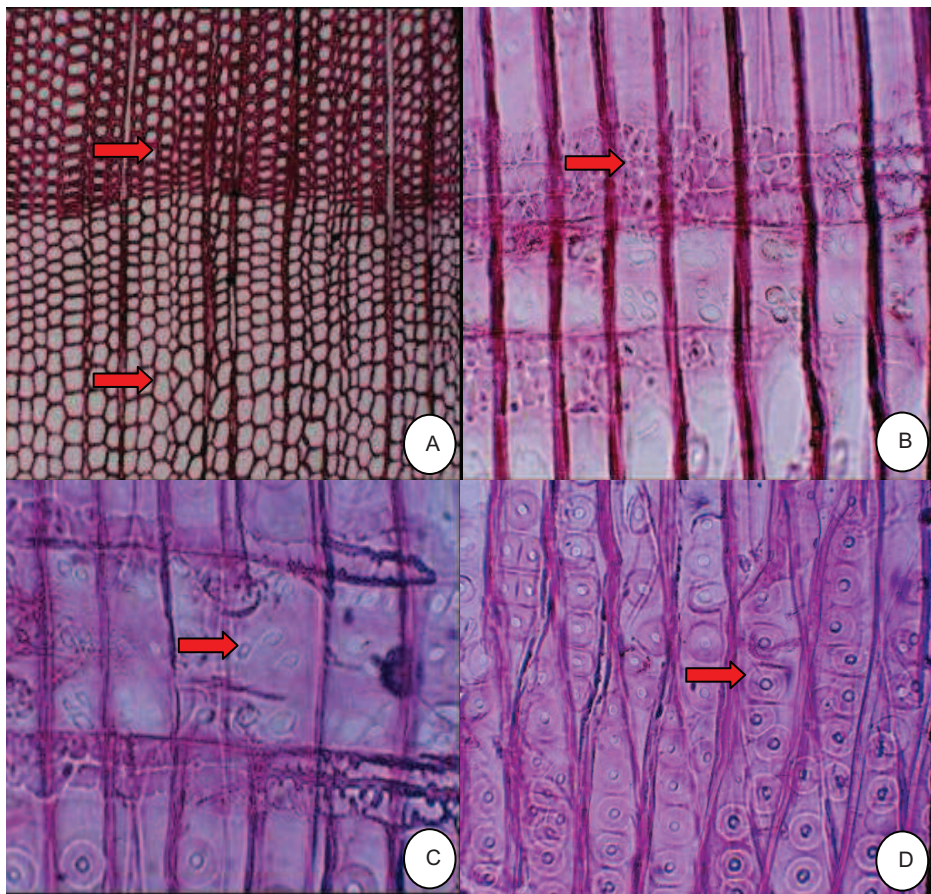


Figura 23 – Caracterização macro e microscópica do lenho de *Pinus taeda*. Anel de crescimento com as traqueídes de lenho inicial (LI) e tardio (LT) (A); campo de cruzamento das traqueídes longitudinais com parênquima radial, evidenciando as traqueídes radiais indentadas e as pontoações pinóides do campo de cruzamento (B, C); pontoações areoladas nas extremidades das traqueídes longitudinais (D)

## 5.2 Variação radial/longitudinal das dimensões das traqueídes

### 5.2.1 Comprimento das traqueídes

O valor médio do comprimento das traqueídes nas 5 posições radiais (0, 25, 50, 75, 100%) dos discos de lenho na base e a 7,5 m do altura do tronco das árvores de *pinus* é apresentado na Tabela 3 e Anexos A-D. Verifica-se o aumento do comprimento das traqueídes no sentido radial até a posição 75%, seguindo-se ligeira redução na posição 100% (próxima à casca).

O modelo de variação do comprimento das traqueídes é clássico no lenho de coníferas, sendo descrito inicialmente por Sanio (1872).

Verificam-se, da mesma forma, diferenças no comprimento das traqueídes de lenho inicial e tardio de um mesmo anel de crescimento anual: as do lenho tardio são de maior comprimento em relação às do inicial (Tabela 3, Figura 25).

Na literatura especializada, os resultados de Muniz (1993) indicam uma variação de 2,5-5,0 mm no comprimento das traqueídes no lenho das árvores de muitas coníferas. A autora relata, ainda, que o comprimento das traqueídes do lenho a 5 e 25% da altura do tronco das árvores de *Pinus taeda* foi de 3,619 e 3,733 mm, respectivamente. No presente trabalho o comprimento médio das traqueídes foi de 3,26 mm, nas amostras do lenho das duas alturas do tronco das árvores de *Pinus taeda*.

Ballarin e Palma (2003) obtiveram para árvores da espécie, o comprimento médio das traqueídes de 4,75 mm e, com base neste parâmetro, diferenciaram a madeira juvenil e a adulta, com traqueídes de 4,20 e 5,32 mm de comprimento.

Algumas referências como a de Muniz (1993) indicam que o comprimento das traqueídes a 5 e 25% da altura do tronco das árvores de *Pinus taeda* foi de 3,619 e 3,733 mm, respectivamente; Ballarin e Palma (2003) obteve para árvores da espécie um comprimento médio das traqueídes de 4,75 mm e, com base neste parâmetro, diferenciou a madeira juvenil e a adulta, com valores de 4,20 e 5,32 mm, respectivamente.

Em relação às 2 alturas do tronco das árvores de *pinus* observa-se uma tendência de aumento no comprimento das traqueídes, concordante com os resultados de Muniz (1993) para árvores de *Pinus taeda*, verificando aumento do comprimento das traqueídes até 50% diminuindo até o ápice do tronco (altura comercial).

A análise estatística demonstra que o comprimento das traqueídes na região mais interna do lenho (0, 25, 50%) apresenta diferença significativa em relação à externa (75, 100%), sem diferenças nas 2 alturas do tronco (base, 7,5 m) e no tipo de lenho (inicial, tardio) dos anéis de crescimento.

A variação radial do comprimento das traqueídes em relação às 5 posições e idade cambial (idade das árvores) indica um incremento crescente até o 10º anel de crescimento anual, menor aumento do crescimento (posição 75%, 19º anel de

crescimento) e sua estabilização e diminuição (posição 100%, 35º anel de crescimento) (Figura 24). Esse modelo de variação radial do comprimento das traqueídes relaciona-se a formação da madeira juvenil, na região interna do tronco das árvores de *pinus*, em um período de rápido crescimento, originando um lenho de qualidade tecnológica inferior em relação à madeira adulta. Panshin e de Zeeuw (1980) relataram que a duração do período juvenil é variável entre as árvores das diferentes espécies e condições de crescimento, indicando-se do 5º ao 20º anel de crescimento anual.

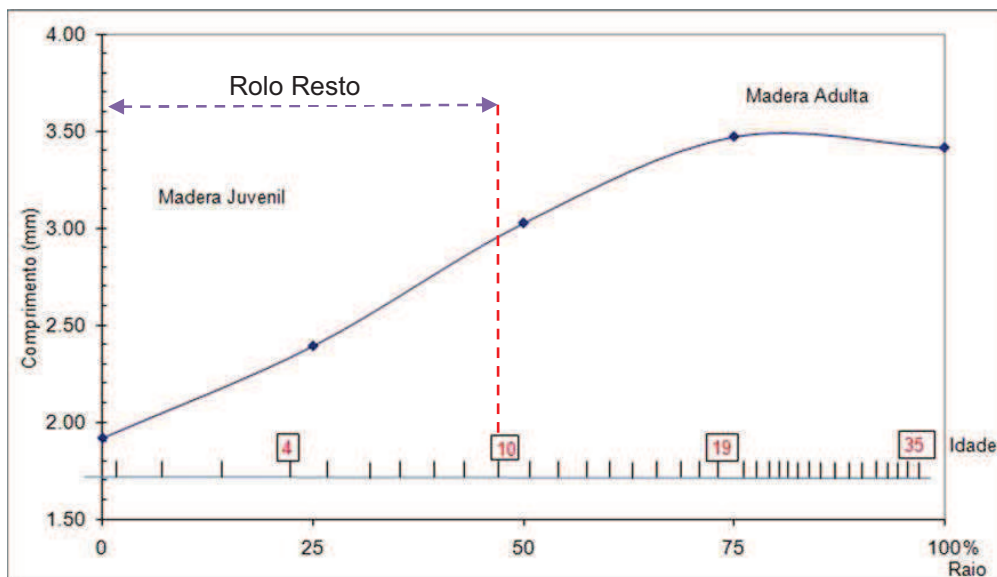


Figura 24 – Variação radial do comprimento das traqueídes do lenho de árvores de *Pinus taeda*, em relação à % do raio e idade cambial (número do anel de crescimento anual). A linha pontilhada vermelha na orientação vertical demarca o limite do raio do rolo resto no diâmetro total da tora de *pinus* (vide Figura 14, pág. 50)

Tabela 3 - Variação do comprimento das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, em 5 posições radiais de amostras do lenho e em 2 alturas (base, 7,5 m) do tronco de árvores de *Pinus taeda*

Tipo de Lenho	Altura do Tronco (m)	Posição Radial (%)	N° Árvores								Média	
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Lenho Inicial	Base	0	1,90	1,82	1,96	2,02	1,80	2,02	2,22	1,82	1,94	a
		25	2,42	2,23	2,24	2,18	2,58	2,30	2,70	2,36	2,38	b
		50	3,01	3,00	2,92	2,59	3,49	3,05	3,22	3,18	3,06	c
		75	3,31	3,76	3,58	3,10	4,03	3,48	3,84	3,59	3,59	d
		100	3,25	3,68	3,54	3,05	4,01	3,42	3,80	3,37	3,52	d
	7,5 m	0	1,71	2,29	2,57	2,87	2,26	2,22	3,09	1,95	2,37	a
		25	2,70	2,91	3,17	3,11	3,10	2,65	3,17	2,71	2,94	b
		50	3,33	3,25	4,37	3,75	3,54	3,68	3,57	3,51	3,62	c
		75	3,98	3,71	4,77	4,46	3,88	3,94	4,67	4,68	4,26	d
		100	3,60	3,68	4,75	4,41	3,87	3,74	4,65	4,66	4,17	d
Lenho Tardio	Base	0	1,93	1,84	1,96	1,83	1,94	2,05	2,24	1,86	1,96	a
		25	2,36	2,09	2,15	2,20	2,88	2,40	2,75	2,54	2,42	b
		50	3,04	2,84	2,62	3,70	3,35	3,33	3,73	3,78	3,30	c
		75	3,63	3,72	3,16	3,99	3,92	3,69	3,83	3,86	3,73	d
		100	3,58	3,57	3,10	3,95	3,89	3,58	3,67	3,63	3,62	d
	7,5 m	0	2,41	2,30	2,43	2,62	2,68	2,67	3,12	2,06	2,54	a
		25	2,82	2,81	3,22	3,44	3,12	3,50	3,24	2,95	3,14	b
		50	3,43	3,30	4,82	4,04	3,62	4,15	3,67	3,53	3,82	c
		75	4,00	3,98	5,04	4,63	3,95	4,60	4,87	4,76	4,48	d
		100	3,78	3,87	5,00	4,61	3,92	4,58	4,82	4,72	4,41	d

Letras (a), (b), (c) e (d) indicam diferença estatística entre médias nas posições radiais das árvores de *Pinus taeda*. Letras iguais não diferem entre si significativamente a 5% de acordo como o teste de Tukey.



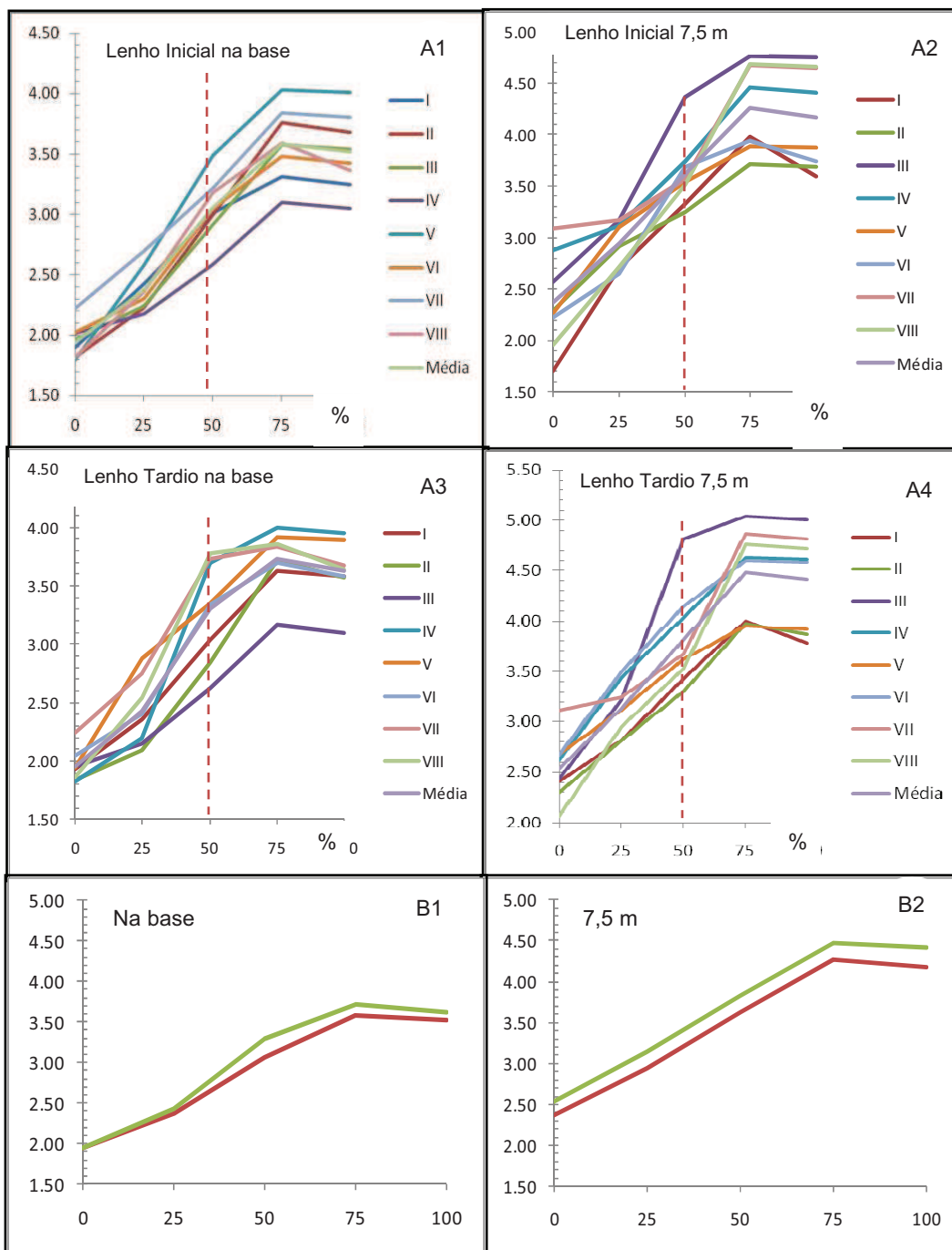


Figura 25 - Variação do comprimento das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, em 5 posições radiais de amostras do lenho e em 2 alturas (base, 7,5 m) do tronco de árvores de *Pinus taeda* (A1, A2, A3, A4) comprimento para as 8 árvores e médio; (B1, B2) comprimento médio das traqueídes dos lenhos inicial (vermelho) e tardio (verde). A linha vermelha na orientação vertical (vide Figuras 14 e 24, pág. 50 e 62)

### 5.2.2 Espessura da parede, largura, diâmetro do lume das traqueídes

**Espessura da parede das traqueídes:** o valor médio da espessura da parede das traqueídes nas 5 posições radiais do lenho da base do tronco das árvores de *Pinus taeda* é apresentado na Tabela 4, Figuras 26-27 e Anexos E-J.

Para todas as 5 posições radiais do lenho das árvores de *pinus*, as traqueídes de lenho tardio apresentam maior espessura da parede em relação às do lenho inicial dos anéis de crescimento. O modelo de variação radial indica um aumento da espessura das traqueídes do lenho tardio e, um pequeno incremento, seguindo-se uma redução a 75-100% para as traqueídes de lenho inicial. O valor médio da espessura da parede das traqueídes de lenho inicial e tardio no lenho das árvores de *pinus* foi de 3,42 e 6,68  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A variação do comprimento das traqueídes no lenho das árvores de *pinus* e as implicações quanto à formação da madeira juvenil e adulta, aplicam-se, da mesma forma, para a variação radial da espessura da parede das traqueídes.

A análise estatística indica diferença significativa para a espessura da parede das traqueídes do lenho inicial nas posições radiais de 0, 25 e 50%, não diferindo entre 0 e 75% e a 25 e 100%. No lenho tardio há diferenças significativas a 0, 25, 50 e 100%, exceto a 75 e 100% sem diferença significativa (Tabela 4).

**Largura das traqueídes:** o valor médio da largura das traqueídes nas 5 posições radiais do lenho da base do tronco das árvores de *Pinus taeda* é apresentado na Tabela 4, Figura 26-27 e Anexos E-F.

A largura das traqueídes do lenho inicial foi maior em relação às do lenho tardio, para todas as posições radiais, atingindo máximos valores a 50, 75 e 100%. O valor médio da largura das traqueídes de lenho inicial e tardio no lenho das árvores de *pinus* foi de 43,48 e 29,53  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A análise estatística indica que não há diferença significativa para as largura das traqueídes no lenho inicial nas posições 0 e 25% e 75 e 100%; somente a 50% há diferença das demais posições (com valor muito alto, de 49,82  $\mu\text{m}$ ). Para a largura das

traqueídes no lenho tardio houve diferença significativa a 0 e 25%, e nas posições 50, 75 e 100% os valores não diferiram significativamente.

**Diâmetro do lume das traqueídes:** o valor médio do diâmetro do lume das traqueídes nas 5 posições radiais do lenho da base do tronco das árvores de *Pinus taeda* é apresentado na Tabela 4, Figura 26-27 e Anexos I-J.

O valor médio do diâmetro do lume das traqueídes do lenho inicial e tardio foi de 36,63 e 16,16  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O diâmetro do lume sempre foi superior nas traqueídes de lenho inicial, considerando sua função de fluxo ascendente de seiva mineral no lenho, na estação primavera-verão, período de maior taxa de crescimento do tronco das árvores de pinus. Por outro lado, as traqueídes de lenho tardio são formadas no xilema das árvores de *pinus*, como resultado da menor atividade cambial na estação de outono-início do inverno, induzindo a deposição de parede celular mais espessa.

A análise estatística indica que para o diâmetro do lume no lenho inicial não há diferença significativa nas posições 0 e 25%, 75 e 100%, e para 50% com diferenças. Nas traqueídes de lenho tardio não há diferença significativa para o diâmetro do lume em todas as posições radiais. O diâmetro do lume das traqueídes não apresenta um modelo comum de variação radial (Figura 26).

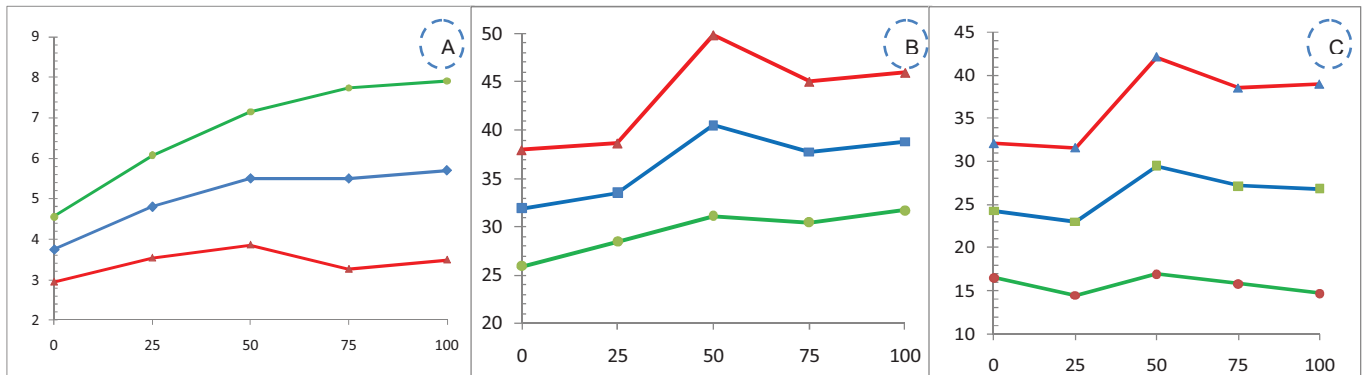


Figura 26 – Variação ( $\mu\text{m}$ ) da espessura da parede (A), largura (B) e diâmetro do lume (C) das traqueídes nos lenhos inicial (linha vermelha) e tardio (linha verde) dos anéis de crescimento, em 5 posições radiais de amostras do lenho na base do tronco das árvores de *Pinus taeda*

Tabela 4 - Variação da espessura da parede, largura e diâmetro do lume das traqueídes nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, em 5 posições radiais de amostras do lenho na base do tronco das árvores de *Pinus taeda*

Estrutura anatômica	Posição Radial (%)	Anel de crescimento		
		L.Inicial	L. Tardio	Média
Espessura da parede	0	2,95 a	4,56 a	3,75
	25	3,54 b	6,07 b	4,80
	50	3,86 c	7,15 c	5,50
	75	3,26 a	7,73 cd	5,50
	100	3,47 b	7,91 d	5,70
	<b>Média</b>	<b>3,42</b>	<b>6,68</b>	<b>5,05</b>
	<b>DP</b>	<b>0,34</b>	<b>1,39</b>	<b>0,80</b>
	<b>CV</b>	<b>9,89</b>	<b>20,76</b>	<b>15,90</b>
Largura da traqueide	0	37,96 a	25,92 a	31,94
	25	38,64 a	28,44 b	33,54
	50	49,82 c	31,13 c	40,48
	75	45,01 b	30,46 c	37,74
	100	45,94 b	31,69 c	38,82
	<b>Média</b>	<b>43,47</b>	<b>29,53</b>	<b>36,50</b>
	<b>DP</b>	<b>5,06</b>	<b>2,36</b>	<b>3,62</b>
	<b>CV</b>	<b>11,64</b>	<b>8,00</b>	<b>9,91</b>
Diâmetro do lume	0	32,06 a	16,80 a	24,29
	25	31,56 a	16,30 a	23,02
	50	42,11 c	16,84 a	29,52
	75	38,48 b	15,00 a	27,16
	100	38,93 b	15,85 a	26,82
	<b>Média</b>	<b>36,63</b>	<b>16,16</b>	<b>26,16</b>
	<b>DP</b>	<b>4,62</b>	<b>0,76</b>	<b>2,55</b>
	<b>CV</b>	<b>12,61</b>	<b>4,73</b>	<b>9,76</b>

Letras (a), (b) e (c) indicam diferença estatística entre médias nas posições radiais das árvores de *Pinus taeda*. Letras iguais não diferem entre si significativamente a 5% de acordo como o teste de Tukey.

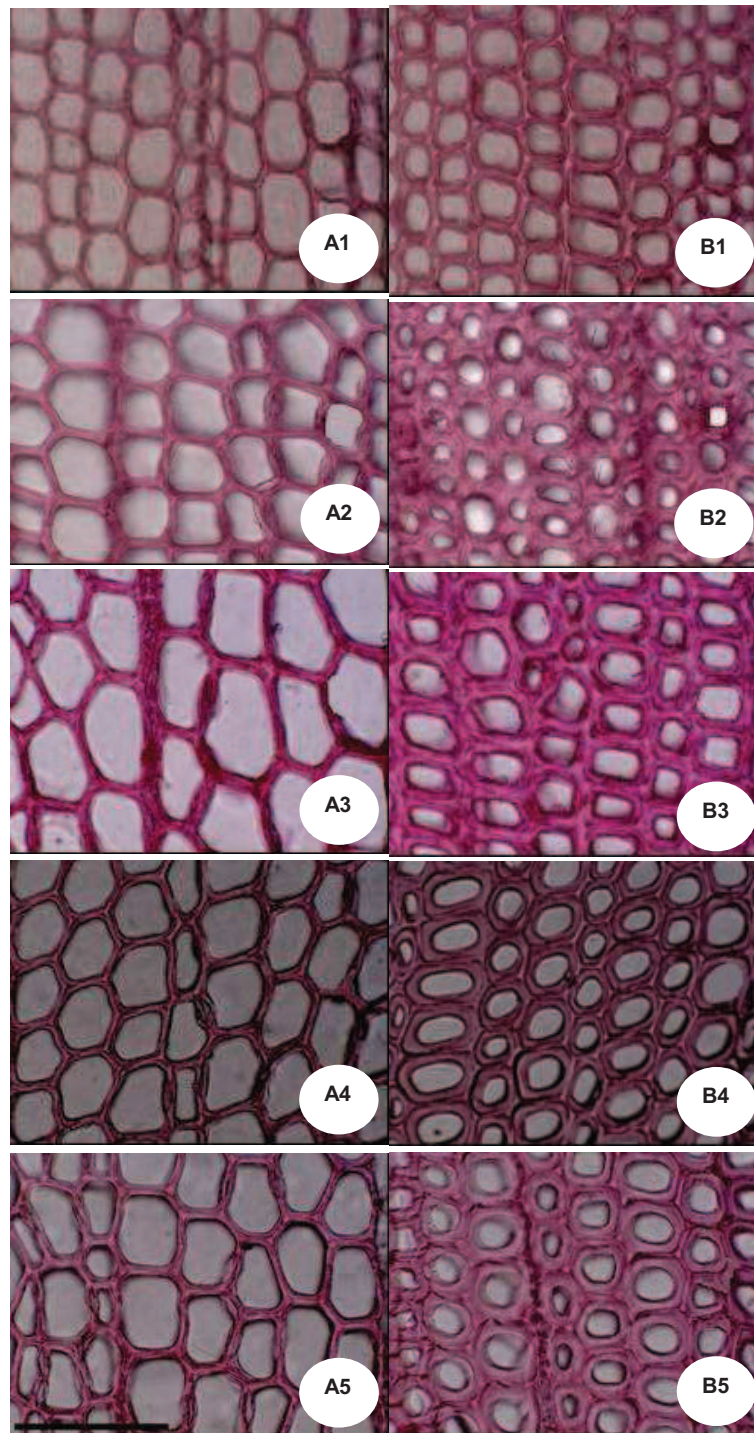


Figura 27 - Variação da largura, espessura da parede e diâmetro do lume das traqueídes de lenho inicial (A) e tardio (B) dos anéis de crescimento em 5 posições radiais de amostras do lenho na base do tronco das árvores de *Pinus taeda* (barra= 100  $\mu\text{m}$ )

### 5.3 Caracterização dos anéis de crescimento e taxa de crescimento do tronco das árvores de *pinus*

Os resultados da avaliação do incremento médio anual e incremento corrente acumulado do tronco das 8 árvores de *Pinus taeda* através da largura dos anéis de crescimento indicam que os 6 anos iniciais (1975-1980) são os de maior taxa de crescimento, com uma média de 1,41 cm (ver Anexo K). No entanto, o crescimento médio anual para as árvores de *pinus* de 35 anos foi de 0.58 cm, destacando que, a partir de 1995, detectou-se uma diminuição na faixa de 0,20-0,42 cm.

De acordo com as informações da empresa, nos anos de 1988 e de 1991, foram aplicados os desbastes nas árvores das plantações de *pinus*, resultando em resposta no crescimento em diâmetro das árvores. Esta resposta é caracterizada pelo aumento da largura dos anéis de crescimento, pela maior disponibilidade dos fatores de crescimento (luz, água, sais minerais, etc.) e redução da competição entre às árvores.

A análise da Figura 28 (A,B,C) indica os períodos de 1976-1978, 1989 e 1992-1993 como os de maior crescimento do tronco das árvores resultado da menor competição entre árvores (fase inicial) e dos desbastes (fase intermediária) da plantação de *pinus*. A Figura 28 (D), representando as curvas de incremento médio anual e o corrente acumulado do tronco das árvores de *pinus*, evidencia que somente até o ano de 1989, houve um incremento positivo do tronco. Após esta fase, seguiu-se uma diminuição do crescimento do tronco e que se estendeu até a rotação final da plantação, com o corte raso das árvores de *pinus*.

Esse modelo de crescimento das árvores de *Pinus taeda*, compreendendo fases de crescimento, competição, retomada do crescimento em diâmetro tem sido relatado na literatura especializada e utilizado nas práticas de manejo pelas empresas florestais no Brasil (MUNHOZ, 2011). Esse modelo representa da mesma forma, a qualidade do lenho do rolo-resto (linha pontilhada vermelha na orientação vertical, Figura 28B) em relação à da tora integral, influenciando nas características anatômico-físicas das partículas de madeira e as propriedades tecnológicas dos painéis OSB.



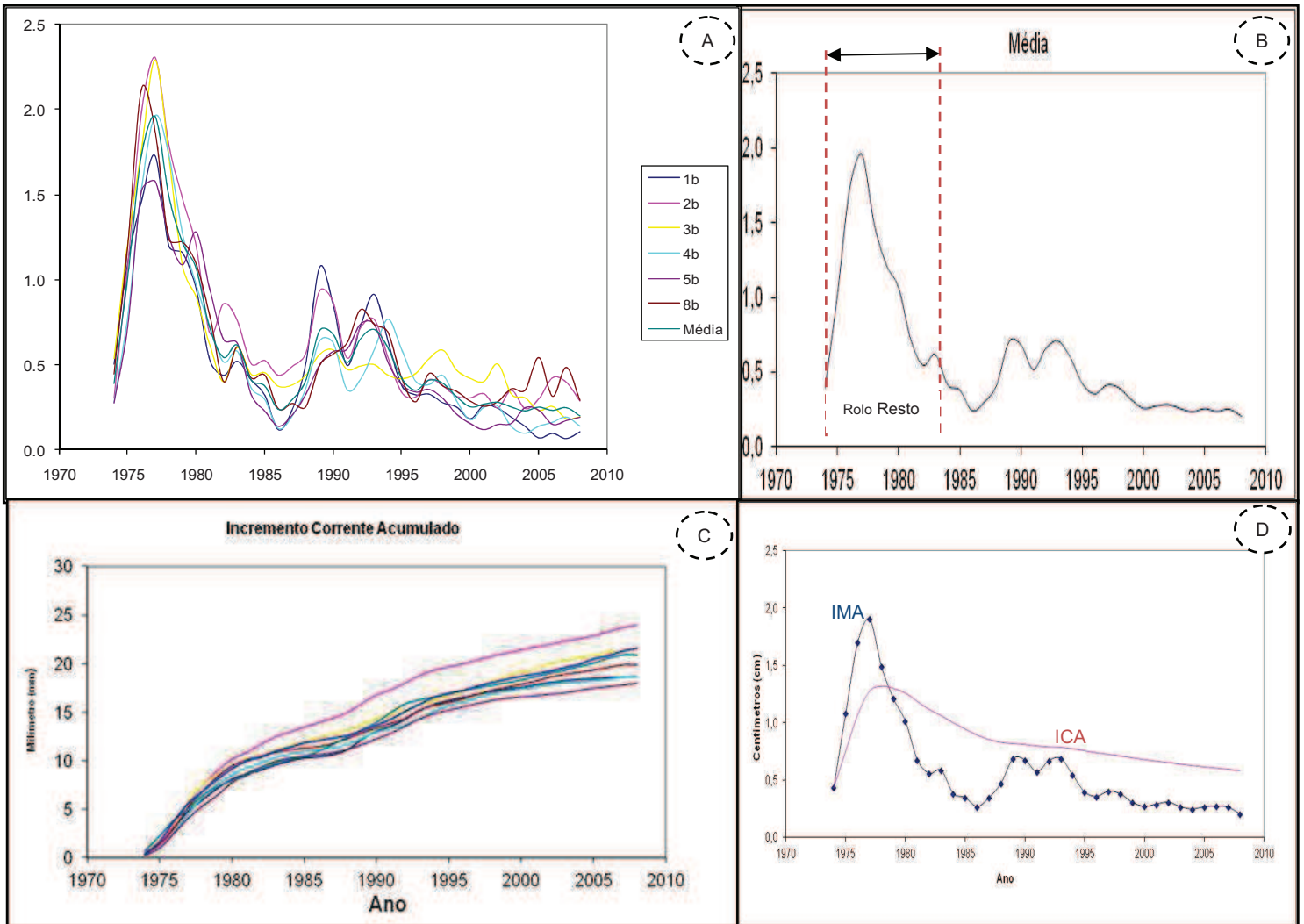


Figura 28 - Caracterização da largura dos anéis de crescimento (A, B); da taxa de crescimento – incremento corrente acumulado (C) e do incremento médio anual x corrente acumulado do tronco das árvores de *Pinus taeda* (D). A linha vermelha na orientação vertical...(vide Figuras 14 e 24, pág. 50 e 62)

#### 5.4 Avaliação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento de *pinus*

Os valores de densidade média, máxima e mínima do lenho nas 2 alturas do tronco (base; 7,5 m) das 8 árvores de *Pinus taeda*, obtidos pela técnica de densitometria de raios X, são apresentados na Tabela 5. Verifica-se que a densidade aparente média do lenho das árvores variou entre 0,68 e 0,55 g/cm<sup>3</sup>, nas regiões da



base e a 7,5 m de altura do tronco das árvores de *pinus*. Esse modelo de variação (queda da densidade no sentido longitudinal do tronco) em árvores de coníferas e, de maneira específica para as do gênero *Pinus*, tem sido reportado por Muniz (1993). Essa variação dos valores de densidade aparente é devida à estrutura anatômica do lenho das árvores de *pinus*, caracterizada pela diferença das dimensões das traqueídes e na largura e % dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento anuais (Tabela 3, Figuras 25, 26, 27, 29).

Por outro lado, observa-se que a densidade aparente média do lenho da região da base do tronco das árvores de *pinus*, caracterizada como de Rolo-Resto (raio com comprimento de 10 cm, diâmetro nominal do rolo-resto de 20 cm), foi de 0,57 g/cm<sup>3</sup> menor do que as da Tora-Integral, com 0,68 g/cm<sup>3</sup>.

A densidade aparente média da madeira do rolo-resto, obtida através da densitometria de raios X (Figuras 29 A, B, árvores de pinus I e II), comparada com a respectiva seção transversal do lenho, é característica da madeira juvenil, formada nos primeiros anos de crescimento do tronco das árvores. A madeira juvenil, de transição e adulta em árvores de *Pinus taeda*, tem sido analisada por inúmeros pesquisadores, tendo sido delimitada por Ballarin e Palma (2003), pelos 1º-14º, 14º-18º e 18º-37º anéis de crescimento, respectivamente.

A região interna/central do lenho (madeira juvenil) do tronco das árvores de *Pinus taeda*, apresenta anéis de crescimento de maior largura, maior % de lenho inicial e, em conseqüência, menor valor de densidade aparente. A região externa/periférica do lenho (madeira adulta) é constituída por anéis de crescimento estreitos, com % similares de lenho inicial e tardio, maior valor de densidade aparente (Figura 29 A,B).

Os perfis radiais de densidade aparente e as respectivas seções transversais do lenho a 7,5 m de altura do tronco das árvores de *Pinus taeda* (Figura 29 C,D) indicam um modelo de variação semelhante ao detectado na região basal do tronco. A diferença do valor médio da densidade aparente do lenho (Tabela 5) é devida às características das densidades máxima e mínima e da largura dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento anuais.

Tabela 5 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho na base e a 7,5 m de altura da altura do tronco das árvores de *Pinus taeda*

Árvore	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	
	Base	7,50 m de altura
1	0,85 ± 0,29 d	0,84 ± 0,35 g
2	0,74 ± 0,29 c	0,48 ± 0,21 c
3	0,51 ± 0,24 a	0,47 ± 0,21 c
4	0,70 ± 0,23 b	0,52 ± 0,20 d
5	0,71 ± 0,26 b	0,39 ± 0,14 a
6	0,74 ± 0,29 c	0,59 ± 0,34 e
7	0,72 ± 0,29 c	0,71 ± 0,42 f
8	0,50 ± 0,16 a	0,43 ± 0,19 b
Total	0,68 ± 0,28	0,55 ± 0,26

### 5.5 Avaliação da densidade básica do lenho de *pinus*

A densidade básica do lenho foi de 0,50 a 0,45 g/cm<sup>3</sup> na base e a 7,5 m da altura do tronco das árvores de *Pinus taeda* (Tabela 6), com valor médio de 0,47 g/cm<sup>3</sup>, considerada apropriada para a confecção de painéis OSB, tem sido reportado por diferentes autores na literatura. Os valores da densidade básica (método de gravimetria) e de densidade aparente do lenho (método de densitometria de raios X) diferem em função das características do método, % de umidade do lenho e características e dimensões das amostras do lenho de *pinus* analisadas (AMARAL, 1994; AMARAL e TOMAZELLO FILHO, 1998).

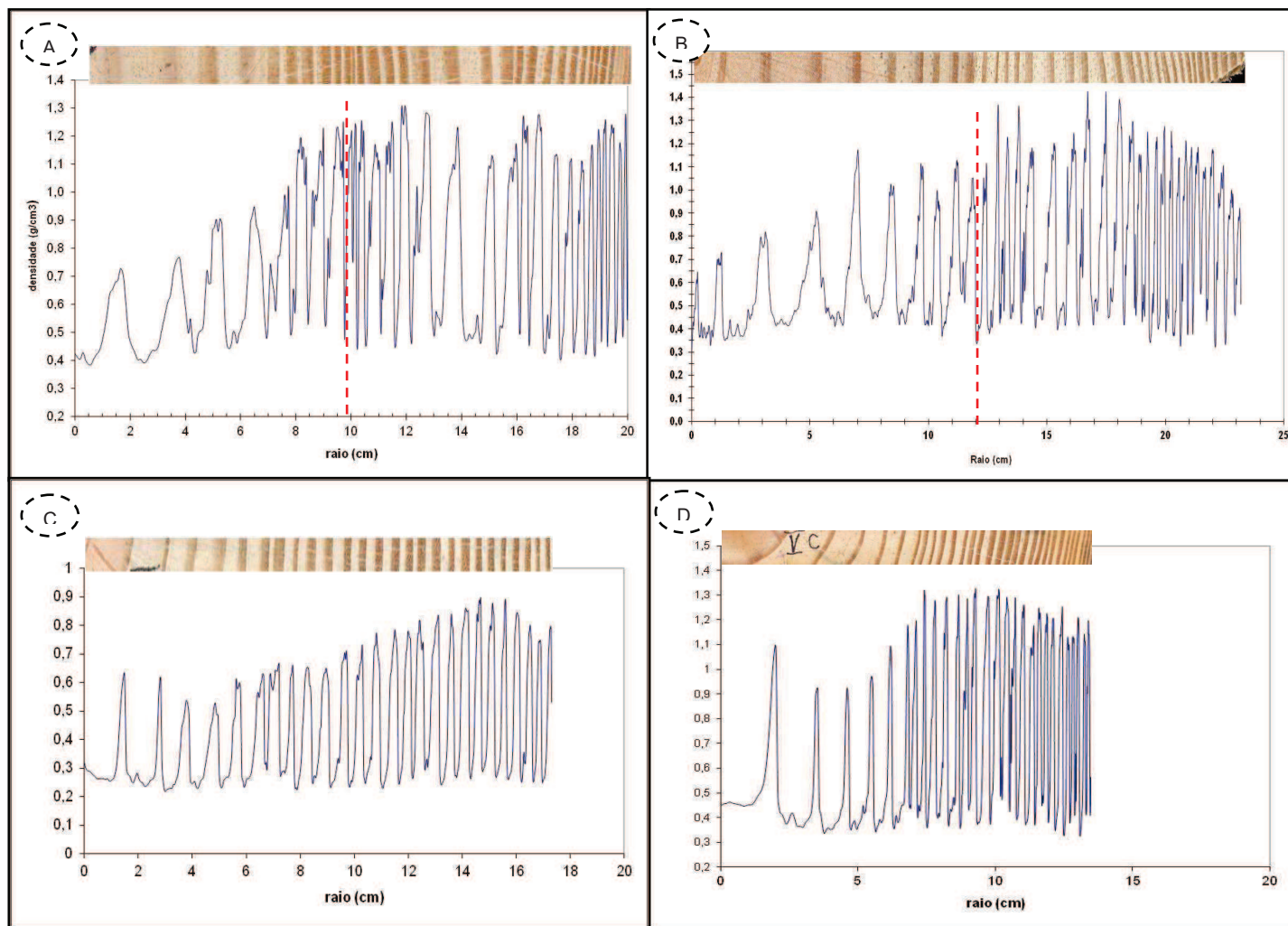


Figura 29 - Perfil radial de densidade do lenho na base (A, B, árvores I e IIB) e a 7,5 m (C, D, árvores III e V) de altura do tronco de árvores de *Pinus taeda*. A linha vermelha na orientação vertical (vide Figuras 14 e 24, pág. 50 e 62)

Tabela 6 - Densidade básica do lenho na base e a 7,5 m de altura do tronco das árvores de *Pinus taeda*

Árvore	Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> )	
	Base	7,5m de altura
I	0,49	0,46
II	0,47	0,42
III	0,42	0,38
IV	0,51	0,46
V	0,53	0,46
VI	0,54	0,49
VII	0,54	0,48
VIII	0,46	0,43
Média	0,50	0,45
(CV%)	7,9	8,6

## 5.6 Análise das partículas da madeira (strand) de *pinus*

### 5.6.1 Determinação da densidade aparente das partículas de madeira (strand)

A análise das partículas de madeira em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores de *pinus* (II, III, IV, VI e VIII), por densitometria de raios X, indica um aumento da densidade aparente média, mínima e máxima do lenho no sentido radial (medula-casca), com estabilização e/ou discreta redução na posição próxima da casca (100%) (Tabela 7, Figuras 30 A,B). Os valores de densidade aparente média da madeira das partículas variam de 0,37-0,47 a 0,47-0,74 g/cm<sup>3</sup> nas regiões próximas à medula e à casca, respectivamente.

O modelo de variação radial da densidade das partículas de madeira é coincidente com os obtidos nas análises de algumas dimensões das traqueídes (item 5.2) e das amostras do lenho (item 5.4) no sentido medula-casca das amostras do lenho das árvores de *pinus*. Desta forma, os parâmetros de qualidade do lenho do tronco das árvores que delimitam e caracterizam a madeira juvenil (interna) e adulta (externa), discutidos anteriormente são, também, aplicados na análise da densidade das partículas, com reflexo nas características tecnológicas dos painéis OSB.

A influência da densidade das partículas nos painéis OSB manufacturados com partículas de rolo-resto e de tora-integral pode ser entendida (Figura 30 A,B) considerando a posição da linha pontilhada vermelha na orientação vertical, que demarca o limite do lenho utilizado como rolo-resto, em relação à tora-integral.

Tabela 7 - Densidade aparente média, mínima e máxima das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das árvores de *Pinus taeda*

Árvore	Densidade aparente do lenho (g/cm <sup>3</sup> )					
	0%	25%	50%	75%	100%	Total
II	0,44 ± 0,09	0,52 ± 0,16	0,59 ± 0,11	0,63 ± 0,11	0,64 ± 0,10	0,57 ± 0,14 b
III	0,39 ± 0,12	0,41 ± 0,12	0,52 ± 0,05	0,46 ± 0,05	0,47 ± 0,10	0,45 ± 0,10 a
IV	0,40 ± 0,05	0,49 ± 0,06	0,55 ± 0,08	0,70 ± 0,07	0,64 ± 0,12	0,56 ± 0,13 b
VI	0,47 ± 0,14	0,55 ± 0,13	0,66 ± 0,05	0,68 ± 0,10	0,74 ± 0,11	0,62 ± 0,14 c
VIII	0,37 ± 0,08	0,45 ± 0,10	0,51 ± 0,09	0,68 ± 0,06	0,69 ± 0,17	0,54 ± 0,16 b
Total	0,41 ± 0,10 a	0,49 ± 0,13 b	0,57 ± 0,09 c	0,63 ± 0,12 d	0,63 ± 0,15 d	

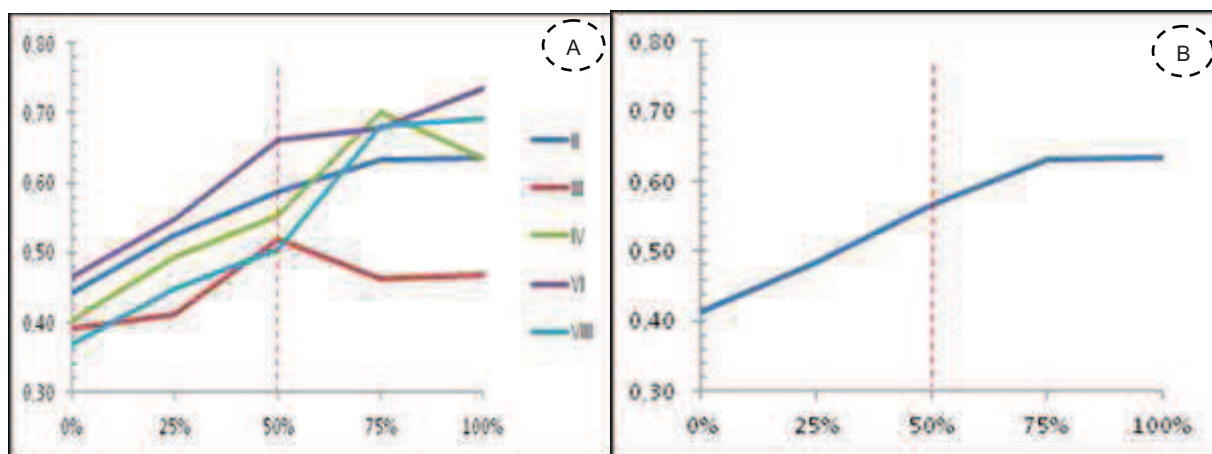


Figura 30 - Variação da densidade aparente das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores (A) de *Pinus taeda* e a variação média (B). A linha vermelha na orientação vertical (vide Figuras 14 e 24, pág. 50 e 62)

### 5.6.2 Avaliação da resistência das partículas à tração paralela às fibras (strand)

A influência da estrutura anatômica e da densidade das partículas de madeira em 5 posições no sentido medula-casca das amostras do lenho, em relação aos valores de tensão de ruptura longitudinal do ensaio de resistência à tração paralela às fibras, é apresentada na Tabela 8 e Figura 31 A, B. O modelo de variação dos valores de tensão de ruptura das partículas, indica um aumento no sentido medula-casca, coincidente com a das dimensões das traqueídes (item 5.2), da densidade do lenho (item 5.4) e das partículas (item 5.6.1), com implicações nas características tecnológicas dos painéis OSB. Os valores de resistência das partículas de madeira encontram-se no Anexo L.

Os valores mais altos de resistência das partículas de madeira do lenho adulto do tronco das árvores são resultados da maior espessura da parede celular das traqueídes, além da maior proporção de lenho tardio, resultando no maior valor de resistência no ensaio de tração paralela às fibras.

Tabela 8 – Tração paralela das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores de *Pinus taeda*

Arvore/ Posição	Tração paralela às fibras (Kg/cm <sup>2</sup> )					Total
	0%	25%	50%	75%	100%	
II	259 ± 61	561 ± 199	820 ± 149	1051 ± 126	988 ± 120	736 ± 324 b
III	299 ± 77	495 ± 83	745 ± 103	907 ± 102	641 ± 158	617 ± 235 a
IV	373 ± 98	439 ± 79	420 ± 139	1303 ± 293	1170 ± 176	741 ± 444 b
VI	461 ± 118	591 ± 100	1175 ± 193	1200 ± 365	519 ± 167	789 ± 388 bc
VIII	405 ± 102	631 ± 152	1002 ± 260	1419 ± 230	859 ± 228	863 ± 398 c
Total	360 ± 116 a	543 ± 143 b	832 ± 308 c	1176 ± 297 d	835 ± 289 c	

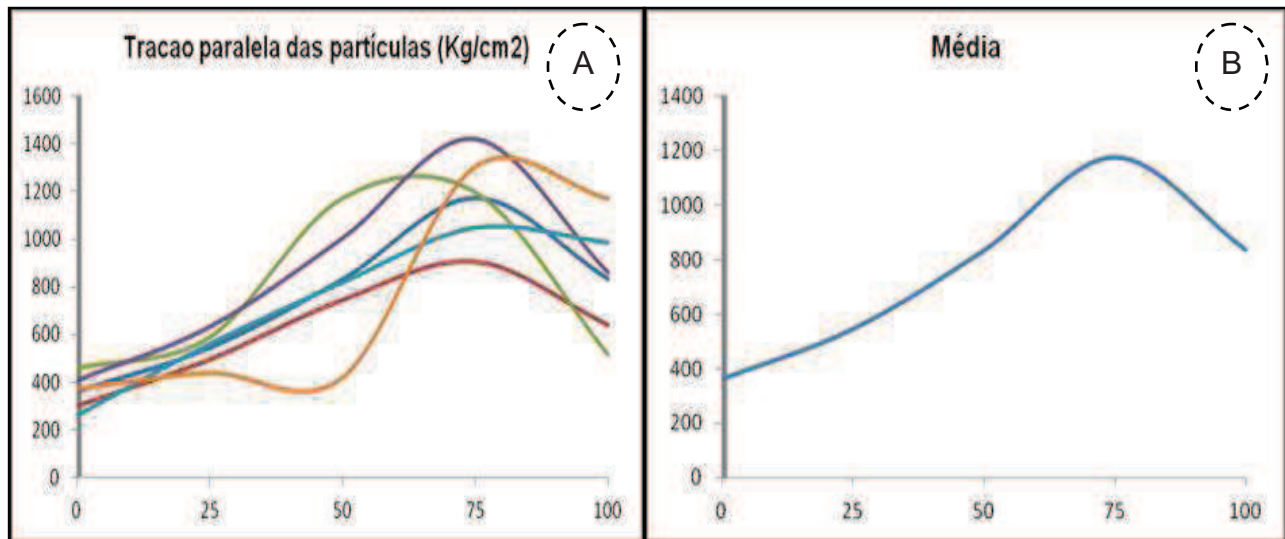


Figura 31 – Tração paralela das partículas do lenho em 5 posições radiais da base do tronco das 5 árvores (A) e média (B) de *Pinus taeda*

## 5.7 Determinação das propriedades dos painéis OSB de partículas de madeira de *pinus*

### 5.7.1 Razão de compactação nominal dos painéis OSB

O valor da densidade média da madeira de *pinus* permite determinar a razão de compactação nominal dos painéis OSB, através da fórmula (2):

$$\text{Razão de Compactação} = \frac{\text{Densidade nominal do painel}}{\text{Densidade básica da madeira}} \dots\dots\dots (2)$$

Densidade básica da madeira

Com a densidade nominal dos painéis OSB de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ , foi calculada a razão de compactação nominal (1,37), a qual encontra-se na faixa de variação de 1,3-1,6 indicada por diversos autores, como Moslemi (1974), Kelly (1977), Tsumis (1991) e Maloney (1993).



### 5.7.2 Propriedades físicas dos painéis OSB

Na Tabela 9 encontram-se os valores médios de densidade aparente e teor de umidade obtidos para os painéis OSB produzidos com a madeira de tora integral e de rolo resto.

Para a densidade aparente média foi observada diferença estatística, com maior valor médio para os painéis produzidos com a madeira da tora integral. Desta forma, foi realizada a análise de covariância entre as diferentes propriedades avaliadas e a densidade aparente dos painéis, não observando-se uma relação significativa apenas para o teor de umidade ( $p$ -valor=0,537). Para esta propriedade não foi verificada diferença significativa entre os painéis OSB produzidos com partículas de madeira de tora integral e de rolo resto.

Observa-se, ainda, que a densidade aparente dos painéis OSB foi superior à densidade nominal planejada ( $0,65 \text{ g/cm}^3$ ), que pode estar relacionada com o processo laboratorial de confecção do colchão. A maior concentração das partículas de madeira no centro do colchão dos painéis de tora integral e pelo corte da borda dos painéis visando retirar o efeito de borda, pode resultar na diferença estatística entre os tratamentos.

Na Tabela 10 e Figura 32 são apresentados os valores médios das propriedades absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis OSB após duas e vinte e quatro horas de imersão (AA2h e AA24h; IE2h e IE24h, respectivamente).

Os resultados da análise de variância para as propriedades de AA2h, AA24h, IE2h e IE24h indicam que os painéis OSB confeccionados com as partículas do rolo resto se diferenciaram estatisticamente dos produzidos com a madeira da tora integral em todas as propriedades, com os maiores valores médios.

Essa diferença significativa pode estar associada à maior razão de compactação dos painéis OSB de partículas de madeira do rolo resto em relação aos de tora integral. Considerando a necessidade de maior massa de partículas de madeira para a confecção dos painéis OSB, sendo que as partículas de madeira do rolo resto são as de menor densidade (Tabela 7, Figura 30). Desta forma, o painel OSB com maior razão de compactação apresenta, normalmente, maiores valores médios de absorção de água e

inchamento em espessura, conforme referenciado por Maloney (1993) e Tsoumis (1991).

Mendes et al. (2002) avaliando o efeito de diferentes tipos de madeira de *pinus* na produção de painéis OSB com 6% de adesivo fenol-formaldeído e 1% de parafina observaram nos ensaios de AA2h e de AA24h valores de 6-10% e de 21-28%, respectivamente e para IE2h e IE24h valores de 7-10% e de 18-23%, respectivamente.

Tabela 9 - Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) e umidade (%) de painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda*

Tipo de Partículas	Painel OSB	
	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	Umidade (%)
Tora integral	0,75 (a) (6,04)	10,81 (a) (1,52)
Rolo resto	0,69 (b) (9,10)	10,92 (a) (1,25)

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Dentro dos parêntesis encontra-se o coeficiente de variação.

Tabela 10 - Propriedades físicas: absorção de água com 2-24 horas de imersão e inchamento em espessura com 2-24 horas de imersão dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda*

Painel OSB/Tipo de Partículas	Propriedades Físicas dos painéis OSB (%)			
	AA2h	AA24h	IE2h	IE24h
Tora integral	39,44 (a) (21,71)	56,16 (a) (9,83)	16,14 (a) (13,24)	18,99 (a) (13,73)
Rolo resto	49,78 (b) (4,81)	66,55 (b) (2,58)	22,65 (b) (19,91)	27,04 (b) (10,86)

AA2h, AA24h= Absorção de água após 2 e 24 h; IE2h, IE24h= Inchamento em espessura após 2 e 24 h. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Dentro dos parêntesis encontra-se o coeficiente de variação.

Saldanha e Iwakiri (2009) obtiveram para painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda*, sem a aplicação de parafina e 6% de adesivo fenol-formaldeído, valores médios de 27,9 e 34,6% para IE2h e IE24h e de 50,6 e 74,2% para AA2h e AA24h, respectivamente.

Cabe destacar os valores para as propriedades de AA2h, AA24h e IE2h dos painéis OSB não são especificados na norma CSA 0437 (1993), sendo que para a propriedade IE24h esta norma indica o valor máximo de 10% para os painéis com espessura superior a 12,7 mm. Desta forma, os painéis OSB manufaturas com as partículas de rolo resto e de tora integral não atenderam a norma CSA de comercialização.

Os resultados da literatura para os painéis OSB sem a aplicação de parafina são próximos aos apresentados para os painéis no presente estudo. No entanto, recomenda-se a aplicação de parafina na produção dos painéis OSB, por resultar em efeito significativo na diminuição dos valores médios nas propriedades de absorção e de inchamento (MENDES, et al.,2002) podendo atender às exigências da norma CSA 0437 (1993).

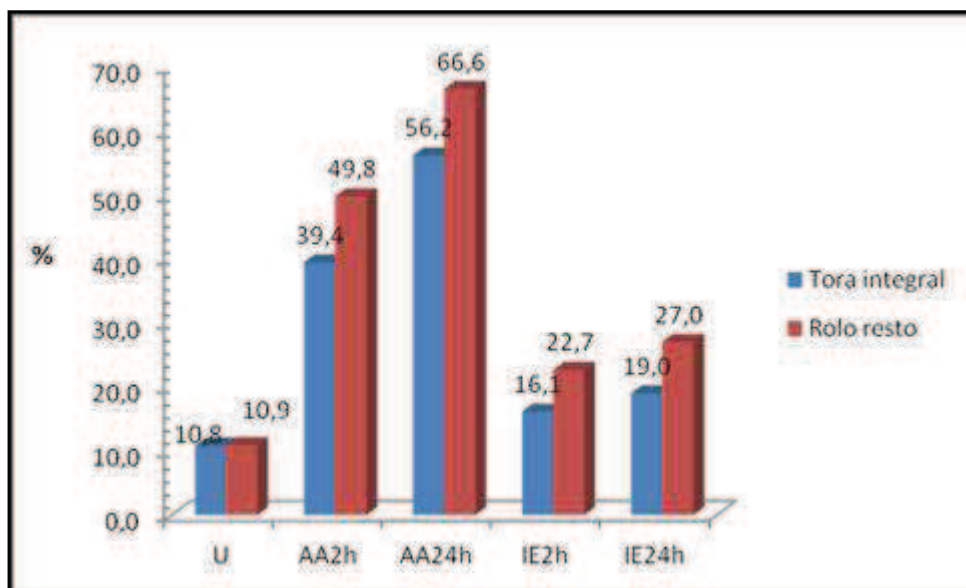


Figura 32 - Propriedades físicas: absorção de água com 2-24 horas de imersão e inchamento em espessura com 2-24 horas de imersão dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda*

### 5.7.3 Propriedades mecânicas dos painéis OSB

Na Tabela 11 e Figura 33 encontram-se os valores médios das propriedades de ligação interna, dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) à flexão estática no sentido paralelo e perpendicular dos painéis OSB.

Na propriedade de ligação interna dos painéis OSB verificou-se diferença estatística entre os tratamentos, com os painéis OSB de partículas de madeira do rolo resto apresentando maior valor médio. Este resultado pode estar relacionado à menor densidade das partículas de madeira do rolo resto, a uma maior compactação das partículas nos painéis, proporcionando uma melhor ligação entre as partículas, conforme referenciado por Kelly (1977), Tsoumis (1991) e Maloney (1993). Contudo, autores afirmam, também, que com a maior compactação das partículas de madeira e com o aumento da ligação interna das partículas ocorre a melhoria das propriedades MOE e MOR, que não foi observada nas análises. Verificou-se diferença significativa entre os painéis OSB de partículas madeira de rolo resto e de tora integral para as propriedades de MOE paralelo e perpendicular, com maior valor médio para os painéis OSB de partículas de tora integral. Para o MOR paralelo e MOE perpendicular, apesar de não haver diferença estatística, observou-se entre os tratamentos que o maior valor médio nos painéis OSB de partículas de madeira de tora integral.

A influência da madeira juvenil de *Pinus radiata* nas propriedades mecânicas de painéis OSB foi observada por Pecho et al. (2005) com os painéis produzidos com a madeira juvenil mostrando diminuição significativa das propriedades MOR e MOE em relação aos painéis de tora integral e, também, a redução da propriedade de ligação interna. A diferença nos resultados parece relacionada às especificidades dos experimentos e associada às características anatômicas, físicas e químicas da madeira da espécie, pela inexistência de tendência esperada em relação à razão de compactação dos painéis OSB. Desta forma, os maiores valores de ligação interna dos painéis OSB no presente trabalho devem estar relacionados à menor espessura da parede das traqueídes das partículas do lenho interno das toras, permitindo maior contato partícula-partícula e sua moldagem no colchão; a propriedade de flexão dos painéis OSB foi afetada pela menor espessura da parede das traqueídes.

Avaliando o efeito da densidade do painel OSB de partículas de madeira de *Pinus taeda* e do adesivo (fenol-formaldeído, melamina-uréia-formaldeído e fenol-melanina-uréia-formaldeído), Iwakiri et al. (2009) obtiveram valor médio para os painéis OSB com densidade nominal de  $0,65 \text{ g/cm}^3$  e 6% de adesivo FF, de  $4,0 \text{ kgf/cm}^2$  para a ligação interna, 60699 e  $29773 \text{ kgf/cm}^2$  para o MOE paralelo e perpendicular, respectivamente, e de 445 e  $250 \text{ kgf/cm}^2$  para o MOR paralelo e perpendicular, respectivamente.

Tabela 11 - Propriedades mecânicas: propriedade de ligação interna, MOR e MOE em flexão paralela e perpendicular dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda* e comparação com a Norma CSA0437-93

Tipo de Partículas	Ligação Interna (kgf/cm <sup>2</sup> )	Flexão Paralela		Flexão Perpendicular	
		MOR	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR	MOE
Tora integral	7,06 (a) (26,37)	377 (a) (37,20)	78940 (a) (25,64)	201 (a) (36,26)	18346 (a) (33,81)
Rolo - resto	8,25 (b) (16,63)	286 (a) (36,26)	48028 (b) (25,25)	172(b) (16,87)	14313 (a) (13,09)
Norma CSA 0437	3,45	O1 - 234 O2 - 290	O1 - 45000 O2 - 55000	O1 - 96 O2 - 124	O1 - 13000 O2 - 15000

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Dentro dos parêntesis encontra-se o coeficiente de variação.

A avaliação das propriedades físicas mecânicas dos painéis OSB de partículas de madeira de *Pinus taeda* realizada por Mendes (2011) indicou densidade nominal de  $0,65 \text{ g/cm}^3$  e 6% de adesivo FF, valores médios de  $6,1 \text{ kgf/cm}^2$  para a ligação interna, de 82224 e  $20627 \text{ kgf/cm}^2$  para o MOE paralelo e perpendicular, e de 587 e  $212 \text{ kgf/cm}^2$  para o MOR paralelo e perpendicular, respectivamente. De forma geral, os painéis OSB de partículas da madeira de rolo resto e de tora integral de *pinus* apresentaram valores coincidentes com os da literatura.

Em relação à norma CSA 0437 (1993) observa-se que os painéis de partículas de madeira de tora integral apresentaram valor superior para a classificação O2 para todas as propriedades mecânicas avaliadas (Figura 33).

Para os painéis OSB de partículas de madeira de rolo resto observou-se uma variação quanto ao atendimento da classificação O1 e O2 da norma CSA 0437 (1993), sendo que apenas as propriedades de ligação interna e de MOR perpendicular atenderam a classificação O2, e as demais propriedades mecânicas a classificação O1.

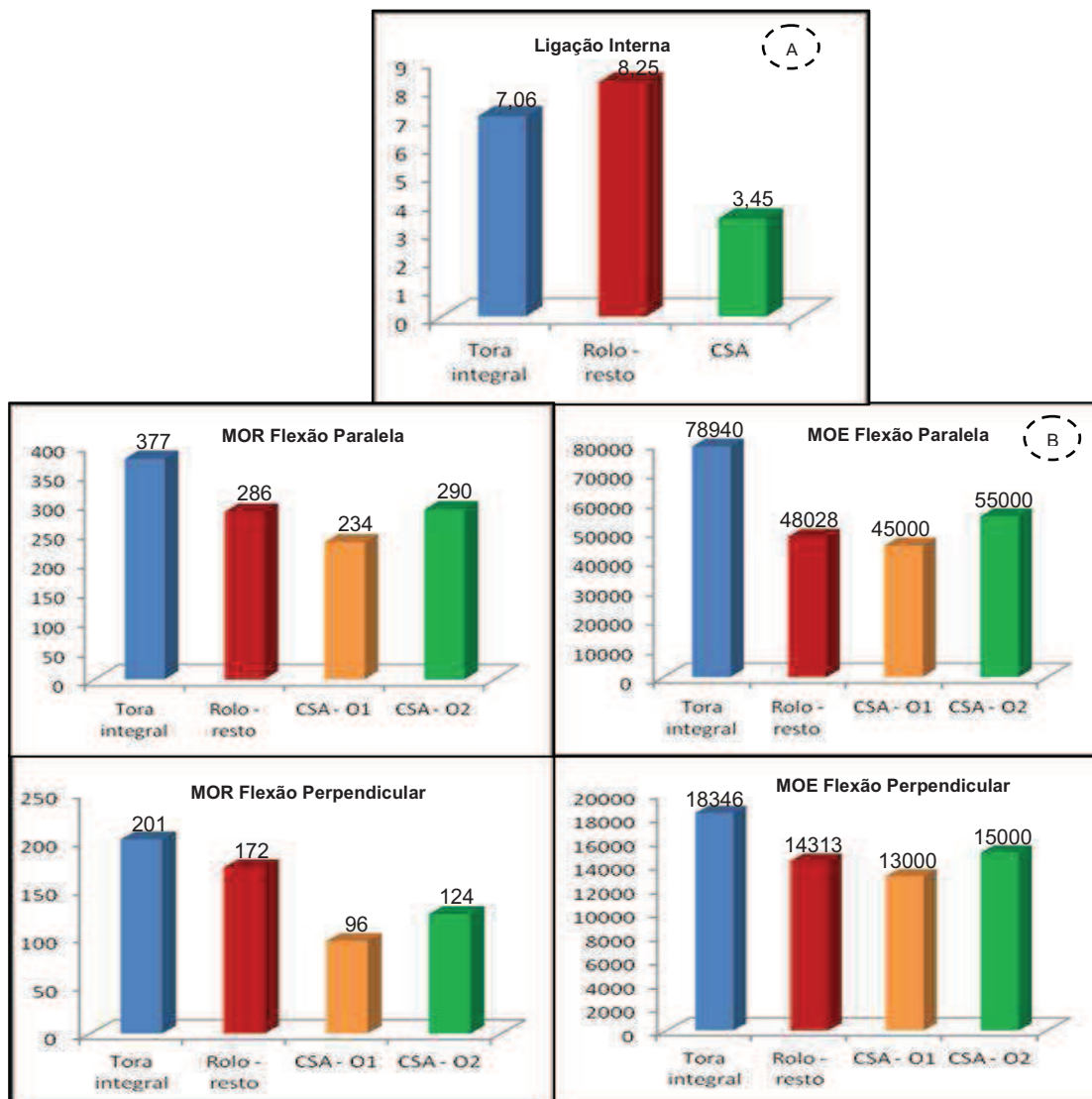


Figura 33 - Propriedades mecânicas: comparação da norma CSA 0437 (O1, O2) com propriedade de ligação (A) e da norma CSA com os valores de MOR e MOE em flexão paralela e perpendicular (B) dos painéis OSB de partículas de tora integral e rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda*.



Ainda, os painéis OSB de partículas de madeira de rolo resto e de tora integral apresentaram rompimento na região do centro do miolo no teste de ligação interna (Figura 34). Essa falha ocorre na região de menor valor de densidade dos painéis OSB, visualizada no perfil de densidade aparente ao longo da sua espessura (Figura 36) que alcançam, no entanto, valor superior ao da norma CSA 0437 (1993).



Figura 34 - Ensaio de ligação interna dos painéis OSB de partículas de tora integral (A) e de rolo resto (B) do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda* – falhas detectadas na região do miolo

### 5.8 Análise dos painéis OSB de madeira de *pinus* sob MEV

A estrutura anatômica dos painéis OSB de partículas de madeira de *pinus*, analisada sob microscopia eletrônica de varredura - MEV, evidenciou o feixe de traqueídes, com as paredes celulares rompidas, com o lume e as pontoações areoladas, elementos característicos da madeira de coníferas (Figura 35 A); as pontoações areoladas em maior ampliação, com abertura e bordo arredondados na parede radial das traqueídes, com a função de comunicação entre as traqueídes longitudinais (Figura 35 B) e, a resina presente na face de ruptura do painel no ensaio de ligação interna, na forma de placas preenchendo a superfície e o lume das fibras e demais células constituintes da madeira (Figura 35 C,D).



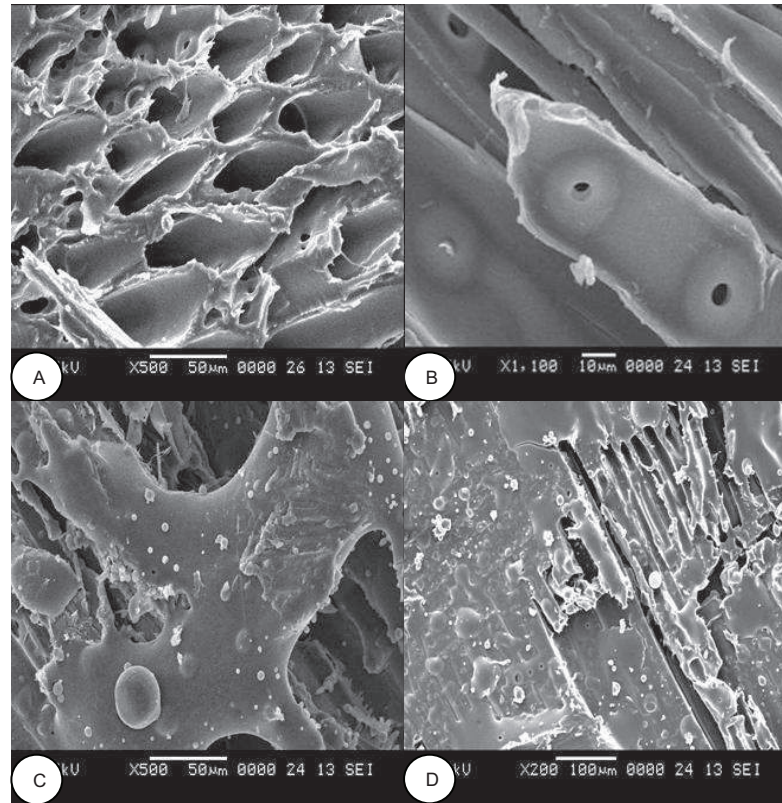


Figura 35 - Painéis OSB de madeira de *Pinus taeda* sob MEV, Seção transversal de feixe de traqueídes (A); pontoações areoladas na parede radial das traqueídes (B), deposição da resina na superfície das partículas de madeira (C); preenchimento da superfície e lume das células do lenho de *Pinus taeda* (D)

### 5.9 Avaliação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de *pinus* por densitometria de raios X

A análise das amostras de painéis OSB (50 x 50 mm) de partículas de madeira de rolo-resto e de tora-integral no densitômetro de raios X Grecon permitiu obter o perfil de densidade aparente ao longo de sua espessura nominal (15,7 mm), bem como a densidade aparente média (Figura 36, Tabela 12). As variações pontuais de densidade aparente indicam os limites das camadas externas e do centro (miolo) dos painéis OSB. Os maiores valores de densidade aparente nas faces externas dos painéis OSB são resultado do processo de transferência de calor dos pratos da prensa, na fase de prensagem dos painéis, ocasionando maior densificação na sua camada mais externa. A análise estatística expressa diferenças significativas da densidade aparente média

dos painéis OSB de partículas de madeira de tora integral e de rolo resto, com valores de 0,75 e 0,69 g/cm<sup>3</sup>.

A aplicação do microdensitômetro de raios X Quintek, na determinação do perfil de densidade dos painéis OSB de madeira de partículas de tora integral e de rolo resto, indica valor de 0,74 e de 0,66 g/cm<sup>3</sup>, da mesma forma, com diferenças significativas (Tabela 12). Essa metodologia de análise utiliza corpos de prova de painéis OSB mais delgados (2 mm) e permite obter imagens digitais que possibilitam diferenciar as partículas de madeira das 3 diferentes camadas (face-miolo-face), bem como a face de contato partícula-partícula e a película de resina.

Tabela 12 - Densidade média dos painéis OSB de partículas de tora integral e de rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda* obtida através dos equipamentos Grecon e Quintek QTRS-01X

Tipo de lenho	Densidade Média do painel (g/cm <sup>3</sup> )	
	Grecon	Quintek
Tora integral	0,75 (a)	0,74 (a)
Rolo resto	0,69 (b)	0,66 (b)

Letras (a) e (b) indicam a diferencia estatística entre médias dos dois tratamentos. Letras iguais não diferem entre si significativamente a 5% de acordo com o Teste de Tukey.

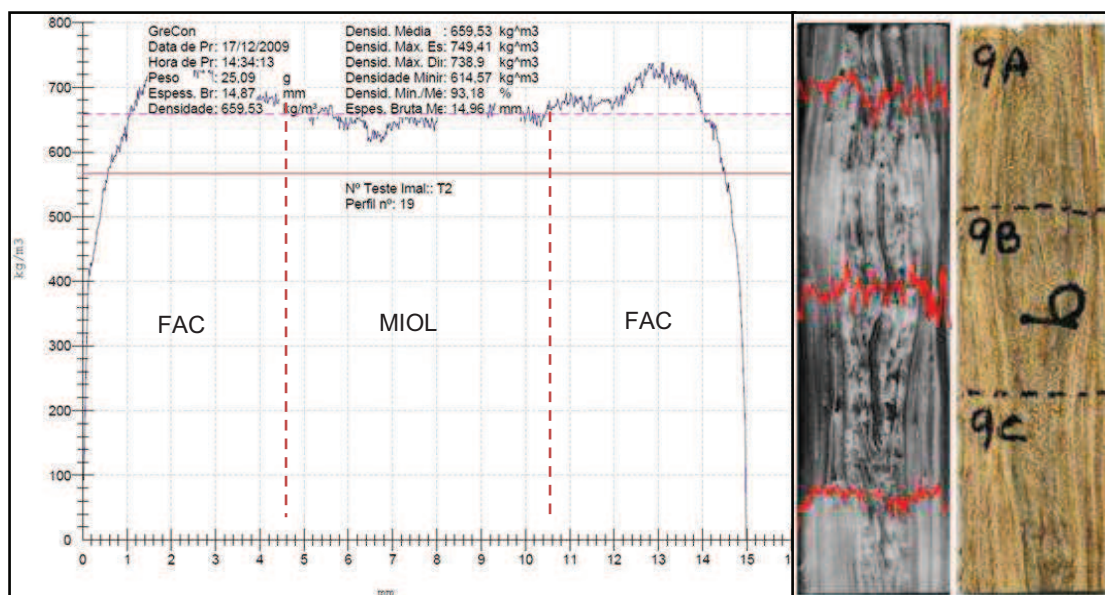


Figura 36 - Perfis de densidade dos painéis OSB de partículas de tora integral e de rolo resto do lenho do tronco de árvores de *Pinus taeda* obtidos através do equipamento Grecon. Amostra de painéis OSB (15,7 mm) 100% de tora-integral, com a diferenciação das 3 diferentes camadas das partículas de madeira (face-miolo-face) coladas com resina

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

A estrutura anatômica macro e microscópica do lenho e dos anéis de crescimento das árvores de *pinus* é característica da espécie e similar à descrita na literatura.

Os anéis de crescimento são distintos e anuais possibilitando a determinação da idade, da taxa de crescimento do tronco e da reação das árvores aos 2 desbastes.

O comprimento e a espessura da parede das traqueídes aumentam no sentido medula-casca; já no diâmetro do lume e a largura das traqueídes não apresentam tendência definida.

A madeira juvenil localiza-se na região interna do lenho até o 10º anel de crescimento, seguindo-se a madeira de transição e a adulta a partir do 19º anel de crescimento.

A densidade da madeira juvenil (partículas de rolo-resto) e da madeira juvenil-adulta (partículas de tora-integral) foi de 0,57 e 0,68 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Na direção radial, as partículas do lenho têm maior densidade aparente, com estabilização ou diminuição na região próxima à casca.

Na absorção de água e o inchamento em espessura 2-24 h dos painéis OSB de partículas de madeira de rolo-resto apresentam valores médios superiores aos painéis de tora-integral.

Os painéis produzidos com as partículas de rolo resto demonstraram menor estabilidade dimensional que os painéis produzidos com as partículas de tora integral.

Para as propriedades mecânicas, os painéis OSB de madeira de rolo resto foram de qualidade superior na propriedade ligação interna e inferior nas propriedades de MOE paralelo e MOR perpendicular, em relação aos painéis OSB de madeira de tora integram; sem diferenciação para o MOR paralelo e MOE perpendicular.

Em relação à norma de CSA 0437 (1993) os painéis OSB de madeira de rolo resto e de tora integral não atenderam ao valor máximo de IE24h; nas propriedades mecânicas, os painéis de tora integral atenderam todas as propriedade da classificação O2; as propriedades de ligação interna e de MOR perpendicular dos painéis de

partículas de madeira rolo resto atenderam a classificação O2; nas demais propriedades atenderam a classificação O1.

Os painéis OSB de partículas de rolo-resto e de tora-integral apresentaram falha na região interna (miolo) no ensaio de ligação interna, pela menor densidade nesta região evidenciada pelo perfil de densidade do painel. Os painéis OSB têm um perfil de densidade característico: as faces (externas) têm maior densidade em relação ao miolo (interna).

Os painéis OSB de partículas de rolo-resto têm densidade significativamente mais baixa em relação aos de tora-integral segundo as duas metodologias de densitometria de raios X.

Recomenda-se a aplicação de ensaios de diferentes proporções de madeira de rolo resto e tora integral para melhorar os valores de resistência dos painéis OSB.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.E.C. OSB: alternativa para uso estrutural. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 50, p. 60-66, jul. 2000.

ALTEYRAC, J. **Influence de la densité de peuplement et de la hauteur dans l'arbre sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'épinette noire (*Picea mariana* Mill.)** 2005. 154 p. Thesis (Ph.D. Ciência da Madeira) – Faculté de foresterie et de géomatique Université Laval, Québec, 2005.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba 1994.

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 6, n. 11, p. 17 – 23, 1998.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard test methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials - ASTM D 1037-89. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.09 (wood), section 4 (construction), Philadelphia, 2006.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2010** – Ano Base 2009. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp> Acesso em 23 ago. 2010.

BALLARIN, A.W.; PALMA, H.A.L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371 - 380, 2003.

BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 343-350, dez. 2009.

BARBOSA, O. Anéis de crescimento. In: SEMINÁRIO APRESENTADO NO CURSO SOBRE BOTÂNICA APLICADA. 1982. São Paulo. **Anais...**São Paulo:Departamento de Botânica da USP, 1982. 78 p

BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B.; TAMEZAWA, J.; BRITO, J.O. Variação da densidade básica e composição química de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em função da idade. **Artigo Técnico – ABCP**, 1975. p. 110 – 112.



BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern Cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 18, n. 1, p. 21-38, 1986.

BISSET, I.J.W.; DADSWELL, H.E. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. **Australian Forestry**., v. 14, p. 17 – 29, 1950.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboard**. 1984. 104 p. Dissertação de (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1984.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de marvalhas de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 1995.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Livraria Nobel, 1991. 154 p.

COWN, D.J. Radiata Pine: Woodgauge and wood property concepts. **New Zealand Journal Forestry Science**, New Zealand, v. 10, n. 3, p. 504 – 507, 1980.

COWN, D.J. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should we be concerned?. **New Zealand Journal of Forestry Science**, New Zealand, v. 22, n. 1, p. 87 – 95, 1992.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): Raw material, manufacturing process, properties and use. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA**, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Viçosa, SIF/UFV/DEF, dez. 1998. p173-185.

CSA. Canadian Standards Association. OSB and Waferboard. CSA 0437.0 – 93. Ontario: 1993. 85 p.

Ferreira, A.T.B. **Caracterização da estrutura do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERRAZ, E.S.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Uso de métodos nucleares nos estudos da qualidade da madeira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...** Manaus: Ed. SBS, v. 2, 1978. p.17-27.

FRANKLIN, G.L. Permanent preparations of macerated wood fibers. **Tropical Woods**, Yale, n. 49, p. 21 – 24, 1937.

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

HEINZ, I. **Systematische Erfassung und Dokumentation der mikroanatomischen Merkmale der Nadelhölzer aus der Klasse der Pinatae**. 2005. 210 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Technische Universität München, München, 2005.

HUGHES, J.F. Variation in Wood structure in relation to Wood quality. **Proceedings of the Linnean Society of London**, London, v. 179, n. 2, p. 275 – 278, 1968.

IAWA Committee. IAWA List of microscopic feature for softwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 25, n. 1, p 219 – 232, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. **Manual de Preservação de Madeiras**. Anatomia da Madeiras. 1986. v 1. cap 3, p 41 – 67.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.**, 1989. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

\_\_\_\_\_. Painéis de partículas orientadas “OSB”. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 41, p. 52-53, 1999.

\_\_\_\_\_. Utilização da Madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan/jun 2004.

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

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

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.

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw Hill. 1940. 523p.

JOZSA, L.A; MIDDLETON, G.R. **A discussion of quality attributes and their practical implications**. Forintek Canadá Corp., 1994. 51 p. Special publication n°34.

KITAJIMA, E.W. ; LEITE, B. **Curso introdutório de microscopia eletrônica de varredura**. Piracicaba:ESALQ, 1999. 46 p. Apostila.

KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, Madison, 1977. 66 p.

KRAHMER, P.R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985. Washington. **Proceedings...**Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 12 -16.

KRAMER, P.R. Tracheid length variation in loblolly pine. **Texas Forest. Serv. Tech. Rept.**, Texas, v. 10, p. 1 – 22, 1957.

KUKACHKA, F. Identification of Coniferous Woods. **TAPPI**, Madison, v. 43, n. 11, p. 887 - 896, 1960.

LOUSADA, J.L.P.C. Variação fenotípica e genotípica em características estruturais na Madeira de *Pinus pinaster* Ait. Comprimento da fibra e a densidade até aos 80 anos de idade das árvores. Parâmetros genéticos na evolução juvenil – adulto dos componentes densidade da madeira. Vila Real, UTAD, 2000. 293 p. (Serie Didática, 143).

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry process Fiberboard Manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977. 672 p.

\_\_\_\_\_. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2<sup>nd</sup> ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das gimnospermas**. Ed. UFSM. 1996. 158p.

MATOS, J.L.M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais “waferboards”**. 1988. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1988.

MEDEIROS, J.G.S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental**. 2005. 86 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 163p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; KEINERT JÚNIOR, 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, dez. 2002.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; 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.

\_\_\_\_\_. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1-17, jan/jul. 2003.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 115p, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: Materials**. Carbondale, Illinois :University Press, 1974. v1.

MOTHE, F.; SCIAMA, D.; LEBAN, J.M; NEPVEU, G. Localisation de la transition bois initial – bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 4, n. 55, p. 437 – 449, 1998.

MUNHOZ, J.S.B. **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco**. 2011. 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

NICHOLLS, J.W.P. Tracheid cell dimensions and density relationships for normal and abnormal Wood of *Pinus radiata* D. Don. **Australian Forest Research**, Sydney, v. 2, n. 14, p. 85 – 98, 1984.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the U.S. and Canadá, 1980. 722 p.

PECHO, R.; ANANIAS, R.A.; BALLERINI, A.; CLOUTIER, A. Influencia de la madera juvenil de *Pino radiata* sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB. **Bosque**, Concepción, v. 26, n.1, p. 123 – 132. 2005.

PESZLEN, J. Influence of age on selected anatomical properties of *Populus* clones. **IAWA Journal**, v. 15, n. 3. p. 311 – 321, 1994.

PHILLIPS, E.W.J. Identification of Softwoods by their Microscopic Structure. **Forest Products Research**, London, n. 22, p. 1- 50, 1963.

POLGE, H. Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a Pressler Auger. **Symposium of I.U.F.R.O.**, section 41, Melbourne, 1965. 19 p.

QMS - **QMS Tree Ring Analyzer Model QTRS-01X**. Users Guide. Quintek Measurement, Systems, Knoxville, TN. 1999.

REZENDE, V. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas OSB**. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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.

SANIO, K. 1872. Über die Grosse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer. (*Pinus sylvestris*). **Jahrb. Wiss. Bot.** 8: 401-420

SAS INSTITUTE. SAS procedures guide for computers. 6.ed. Cary, 1999. v.3, 373p.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 3<sup>rd</sup> ed. Iowa: State Press, 1951. 228 p.

SENF, J.F.; BENDTSEN, B. A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, Madison, n. 83, p. 476 – 485, 1985.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings and environment: Dendroecology**. Berna: Paul Haupt Publishers, 1996. 609 p.

TOMAZELLO, F.M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades da madeira do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla***. 2006. 146p. Tese (Livre Docência em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2006.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York :Chapman & Hall. 1991. 494 p.

VAGANOV, E.A.; HUGHES, M.K.; SHASHKIN, A.V. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings. Images of Past and Future Environments. Berlin: Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2006. 354 p.

WIMMER, R. Intra-annual cellular characteristics and their implications for modeling softwood density. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 27, n. 4, p. 413 – 420, 1995.

ZOBEL, B.J. Genetic manipulation of wood of the southern pines including chemical characteristics. **Wood Science Technology**, n. 54, p. 255-271, 1971.



## ANEXOS

## Anexo A - Comprimento dos traqueides na base do lenho inicial

Trat	Rep	0	25	50	75	100
1	1	1.90	2.33	2.79	2.99	2.84
1	2	1.94	2.42	2.98	3.42	3.31
1	3	1.86	2.52	3.26	3.53	3.59
2	1	1.85	2.06	2.77	3.69	3.67
2	2	1.76	2.22	3.02	3.71	3.46
2	3	1.84	2.41	3.20	3.88	3.90
3	1	1.86	2.11	2.45	3.43	3.77
3	2	2.06	2.29	2.88	3.60	3.53
3	3	1.97	2.34	3.42	3.71	3.32
4	1	2.11	1.99	2.11	2.76	2.96
4	2	1.96	2.25	2.76	3.27	3.19
4	3	1.98	2.29	2.90	3.28	2.99
5	1	1.74	2.66	3.24	3.92	3.12
5	2	1.74	2.45	3.53	3.97	4.14
5	3	1.90	2.64	3.71	4.21	4.77
6	1	1.95	2.20	2.90	2.88	3.36
6	2	1.98	2.21	3.11	3.68	3.49
6	3	2.17	2.44	3.13	3.89	3.42
7	1	2.23	2.62	3.12	3.67	3.76
7	2	2.21	2.63	3.21	3.87	3.70
7	3	2.24	2.84	3.33	4.00	3.96
8	1	1.91	2.18	2.33	3.52	2.96
8	2	1.81	2.33	3.45	3.55	3.67
8	3	1.73	2.57	3.76	3.70	3.47
Média		1.95	2.37	3.06	3.59	3.52



## Anexo B - Comprimento dos traqueides na base do lenho Tardio

Trat	Rep	0	25	50	75	100
1	1	2.02	2.32	2.73	3.39	3.34
1	2	1.96	2.43	3.04	3.59	3.64
1	3	1.82	2.33	3.36	3.91	3.75
2	1	1.68	2.02	2.62	3.56	3.64
2	2	1.93	1.99	2.94	3.69	3.62
2	3	1.90	2.28	2.95	3.90	3.44
3	1	1.71	2.15	2.46	3.24	3.80
3	2	1.96	2.09	2.65	3.06	3.00
3	3	2.20	2.20	2.76	3.19	2.51
4	1	1.67	2.08	3.11	3.60	3.46
4	2	1.88	2.26	4.00	3.99	4.02
4	3	1.92	2.25	3.99	4.36	4.37
5	1	1.73	2.91	3.26	3.75	3.85
5	2	1.97	3.04	3.38	4.05	3.84
5	3	2.12	2.70	3.40	3.97	3.98
6	1	1.96	2.18	3.04	3.54	3.62
6	2	2.03	2.50	3.41	3.77	3.68
6	3	2.15	2.52	3.55	3.77	3.43
7	1	1.97	2.60	3.58	3.55	3.47
7	2	2.25	2.80	3.63	4.00	3.67
7	3	2.21	2.54	3.98	3.94	3.86
8	1	1.80	2.44	3.58	3.61	2.99
8	2	1.86	2.62	3.61	3.99	4.10
8	3	1.92	2.56	4.16	3.97	3.81
Média		1.94	2.41	3.30	3.72	3.62

## Anexo C - Comprimento dos traqueides a 7,5 m do lenho inicial

Trat	Rep	0	25	50	75	100
1	1	1.48	2.83	3.46	3.82	3.43
1	2	1.79	2.69	3.29	3.92	3.81
1	3	1.85	2.59	3.25	4.20	3.55
2	1	2.35	3.21	3.31	3.73	3.82
2	2	2.21	2.94	3.33	3.75	3.61
2	3	2.31	2.59	3.10	3.64	3.61
3	1	2.64	2.90	3.97	4.63	4.69
3	2	2.45	3.03	4.62	4.81	4.92
3	3	2.63	3.58	4.51	4.89	4.64
4	1	2.97	2.92	3.23	4.32	4.42
4	2	2.96	3.22	3.78	4.33	4.34
4	3	2.68	3.20	4.22	4.72	4.46
5	1	2.08	3.04	3.63	3.83	3.74
5	2	2.33	3.15	3.57	3.97	3.95
5	3	2.38	3.12	3.43	3.84	3.91
6	1	2.34	2.46	3.06	3.83	3.70
6	2	2.23	2.84	3.90	3.95	3.76
6	3	2.09	2.64	4.08	4.03	3.76
7	1	2.90	3.02	3.62	4.49	4.73
7	2	3.05	3.25	3.39	4.70	4.61
7	3	3.32	3.24	3.69	4.80	4.63
8	1	2.04	2.64	3.39	4.87	4.76
8	2	1.91	2.85	3.76	4.60	4.85
8	3	1.91	2.64	3.37	4.58	4.36
Média		2.39	2.95	3.63	4.25	4.16

## Anexo D - Comprimento dos traqueides a 7,5 m do lenho inicial

Trat	Rep	0	25	50	75	100
1	1	2.43	3.05	3.78	4.11	3.36
1	2	2.43	2.67	3.21	4.03	3.86
1	3	2.38	2.73	3.29	3.84	4.12
2	1	2.24	2.85	2.94	3.99	3.84
2	2	2.29	2.79	3.56	4.04	3.83
2	3	2.37	2.79	3.39	3.89	3.94
3	1	2.51	3.31	4.75	4.96	5.33
3	2	2.50	3.14	5.05	5.03	4.93
3	3	2.29	3.21	4.65	5.12	4.72
4	1	2.53	3.29	4.30	4.58	4.70
4	2	2.58	3.38	3.99	4.67	4.52
4	3	2.76	3.65	3.81	4.65	4.61
5	1	2.55	2.68	3.63	3.63	4.08
5	2	2.73	3.25	3.63	3.98	3.66
5	3	2.74	3.42	3.60	4.24	4.01
6	1	2.75	3.34	3.47	4.41	4.65
6	2	2.66	3.66	4.25	4.52	4.72
6	3	2.60	3.49	4.72	4.87	4.38
7	1	2.80	3.12	3.67	4.87	4.87
7	2	3.19	3.18	3.51	4.91	4.63
7	3	3.37	3.42	3.84	4.83	4.95
8	1	2.18	2.78	3.48	4.77	4.67
8	2	2.00	2.96	3.56	4.79	4.71
8	3	2.01	3.10	3.56	4.71	4.78
Média		2.54	3.14	3.82	4.48	4.41

## Anexo E - Largura dos traqueides do lenho Inicial

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	31.95	34.91	56.02	43.71	45.91
1	2	33.30	34.72	54.75	42.49	49.50
1	3	35.50	33.53	56.03	45.57	46.58
1	4	35.28	40.28	52.00	43.33	48.35
2	1	30.70	44.96	42.25	45.78	47.27
2	2	28.73	41.68	43.40	47.71	46.04
2	3	32.90	35.11	46.15	48.68	44.82
2	4	34.99	36.19	43.23	49.78	50.40
3	1	44.61	41.73	44.74	44.19	41.32
3	2	46.39	38.30	47.87	44.36	48.96
3	3	46.77	40.77	48.96	42.50	48.31
3	4	46.12	38.26	50.40	42.33	45.79
4	1	35.64	39.19	46.82	46.02	38.54
4	2	32.39	37.40	46.20	46.41	36.03
4	3	33.50	40.75	45.82	48.74	36.13
4	4	35.63	38.30	43.79	45.76	38.39
5	1	41.28	37.44	53.30	46.48	45.42
5	2	39.95	39.84	45.19	42.36	46.22
5	3	42.79	36.16	51.74	47.70	47.21
5	4	41.93	35.74	56.79	47.47	47.49
6	1	39.55	40.13	60.71	46.20	43.98
6	2	40.79	40.09	58.99	46.76	49.92
6	3	40.58	38.70	63.85	47.45	51.68
6	4	45.52	41.04	69.50	45.64	51.53
7	1	37.33	44.59	49.08	40.38	46.21
7	2	33.74	42.70	47.65	42.08	48.86
7	3	36.83	42.35	50.78	37.55	46.90
7	4	39.51	43.42	48.61	39.12	53.83
8	1	38.63	29.43	43.13	47.93	44.79
8	2	36.25	33.53	42.98	48.45	45.21
8	3	36.90	35.59	41.84	42.30	44.59
8	4	38.76	39.75	41.85	45.17	43.92
Média		37.96	38.64	49.82	45.01	45.94

## Anexo F - Largura dos traqueides do lenho Tardio

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	27.53	22.62	32.35	34.69	33.29
1	2	27.27	24.13	32.70	36.21	32.47
1	3	28.09	23.91	30.20	38.39	29.79
1	4	27.76	27.93	31.77	37.30	29.43
2	1	23.89	31.17	26.41	24.94	32.25
2	2	28.97	31.56	25.26	25.33	38.71
2	3	29.49	30.65	25.49	21.49	36.08
2	4	27.08	30.87	28.03	28.34	36.04
3	1	30.86	37.08	33.34	31.69	34.24
3	2	27.66	35.21	33.64	30.77	30.47
3	3	25.24	29.64	26.55	32.23	28.41
3	4	26.97	27.66	29.26	31.65	30.24
4	1	22.03	30.36	31.19	28.96	27.89
4	2	21.46	29.49	28.97	25.66	25.65
4	3	21.52	30.39	30.87	27.10	24.68
4	4	22.72	30.40	27.39	24.80	27.76
5	1	19.35	31.78	35.67	34.12	30.70
5	2	20.03	30.81	29.83	29.37	32.65
5	3	22.24	29.82	32.41	33.46	32.32
5	4	21.54	28.66	34.55	32.47	35.93
6	1	27.54	29.06	35.51	31.16	34.65
6	2	26.42	28.06	32.82	32.92	33.89
6	3	27.01	26.93	33.43	31.07	33.79
6	4	29.54	27.34	33.34	35.07	33.46
7	1	25.57	21.88	33.82	29.96	30.85
7	2	26.16	23.98	33.73	31.26	33.93
7	3	23.47	29.61	34.47	31.63	33.44
7	4	24.29	25.83	34.99	30.39	30.84
8	1	30.32	28.05	29.04	29.38	28.56
8	2	29.51	26.10	30.08	26.98	29.90
8	3	28.70	26.19	29.53	28.34	30.46
8	4	29.23	22.79	29.65	27.67	31.35
Média		25.92	28.44	31.13	30.46	31.69

## Anexo G - Espessura da parede dos traqueides do lenho inicial

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	2.24	3.21	3.77	2.65	4.32
1	2	3.25	3.57	3.62	2.60	4.88
1	3	2.95	3.74	4.14	2.58	4.58
1	4	2.68	4.07	4.16	2.83	4.62
2	1	2.70	3.14	4.30	3.03	3.24
2	2	2.71	3.88	4.21	3.52	2.63
2	3	2.90	4.10	4.68	3.47	2.43
2	4	2.81	4.62	3.94	3.94	3.29
3	1	3.32	4.71	3.44	2.77	2.68
3	2	3.23	4.07	3.85	2.83	2.61
3	3	3.11	4.47	3.77	2.50	2.66
3	4	3.47	4.99	3.59	3.15	2.71
4	1	2.13	2.90	4.92	3.45	2.94
4	2	2.42	3.00	4.72	3.24	3.26
4	3	2.19	2.93	4.62	3.08	3.10
4	4	2.33	2.70	4.82	3.09	3.09
5	1	3.85	3.38	3.94	3.15	3.78
5	2	3.65	4.12	3.72	3.53	3.67
5	3	4.22	3.76	3.64	3.16	3.81
5	4	3.38	3.87	4.45	3.00	3.74
6	1	2.99	3.65	4.49	3.70	4.52
6	2	2.46	3.71	4.14	3.43	4.25
6	3	2.71	3.75	3.92	3.69	4.35
6	4	3.05	4.26	4.76	3.65	4.59
7	1	3.05	2.84	2.70	3.60	5.01
7	2	3.09	3.13	2.76	4.32	3.20
7	3	3.02	2.64	2.73	3.99	3.01
7	4	3.23	3.02	2.77	4.61	2.83
8	1	2.78	2.71	3.34	2.88	3.12
8	2	2.91	2.80	3.22	2.82	3.03
8	3	2.85	2.76	3.39	3.14	3.21
8	4	2.67	2.74	2.91	3.05	3.00
Média		2.95	3.54	3.86	3.26	3.50

## Anexo H - Espessura da parede dos traqueides do lenho tardio

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	4.09	5.32	6.99	8.27	8.53
1	2	3.61	5.68	8.02	8.27	7.99
1	3	3.85	5.53	7.46	9.16	8.42
1	4	3.62	5.90	7.74	9.37	8.20
2	1	4.17	6.24	5.78	6.52	7.64
2	2	4.92	5.96	6.44	7.20	8.57
2	3	4.24	5.59	6.17	6.01	8.63
2	4	4.76	5.66	7.65	7.12	8.47
3	1	4.83	7.60	5.06	6.81	8.99
3	2	4.96	6.83	5.34	6.08	8.22
3	3	5.69	5.40	4.74	8.04	7.69
3	4	5.45	6.03	5.12	7.25	7.70
4	1	4.60	5.78	8.47	9.34	7.76
4	2	4.78	5.73	8.06	7.54	7.02
4	3	4.36	5.61	8.47	7.00	7.53
4	4	5.08	5.94	7.93	6.37	6.77
5	1	4.47	5.73	8.59	9.18	7.06
5	2	4.86	6.33	7.31	7.54	7.70
5	3	5.27	5.64	8.19	8.53	7.51
5	4	4.23	5.55	7.63	8.80	7.88
6	1	4.65	6.79	7.10	6.42	7.44
6	2	4.55	7.50	7.17	7.18	7.46
6	3	4.11	6.80	7.26	6.54	6.92
6	4	4.14	6.70	6.83	7.37	6.99
7	1	4.52	5.53	7.52	8.99	7.92
7	2	4.38	6.48	8.89	8.77	9.48
7	3	4.50	6.87	7.99	8.94	9.16
7	4	3.90	7.10	8.66	7.84	8.44
8	1	5.01	5.45	6.83	8.23	7.28
8	2	4.37	5.35	6.66	7.68	7.88
8	3	4.48	5.87	6.25	7.39	7.50
8	4	5.41	5.76	6.37	7.72	8.71
Média		4.56	6.07	7.15	7.73	7.92



## Anexo I - Diâmetro do lume dos traqueides do lenho Inicial

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	27.47	28.50	48.47	38.40	37.27
1	2	26.81	27.58	47.52	37.28	39.75
1	3	29.60	26.05	47.75	40.41	37.42
1	4	29.92	32.14	43.68	37.66	39.12
2	1	25.30	38.68	33.66	39.73	40.79
2	2	23.31	33.91	34.98	40.67	40.78
2	3	27.10	26.91	36.78	41.75	39.95
2	4	29.36	26.95	35.34	41.90	43.82
3	1	37.97	32.31	37.87	38.65	35.97
3	2	39.92	30.16	40.17	38.69	43.74
3	3	40.55	31.82	41.42	37.50	42.99
3	4	39.19	28.28	43.21	36.02	40.37
4	1	31.38	33.40	36.97	39.12	32.66
4	2	27.54	31.39	36.75	39.93	29.52
4	3	29.12	34.90	36.58	42.59	29.92
4	4	30.96	32.89	34.16	39.58	32.20
5	1	33.58	30.67	45.42	40.18	37.86
5	2	32.65	31.60	37.76	35.29	38.89
5	3	34.35	28.64	44.46	41.39	39.59
5	4	35.16	28.00	47.89	41.47	40.02
6	1	33.57	32.83	51.73	38.81	34.94
6	2	35.88	32.66	50.70	39.91	41.41
6	3	35.16	31.20	56.01	40.08	42.97
6	4	39.43	32.51	59.99	38.35	42.34
7	1	31.23	38.90	43.68	33.19	36.18
7	2	27.56	36.44	42.12	33.43	42.46
7	3	30.79	37.07	45.32	29.57	40.88
7	4	33.06	37.38	43.06	29.91	48.16
8	1	33.07	24.01	36.46	42.16	38.55
8	2	30.43	27.92	36.55	42.81	39.14
8	3	31.21	30.07	35.05	36.01	38.18
8	4	33.41	34.28	36.02	39.07	37.93
Média		32.06	31.56	42.11	38.49	38.93

## Anexo J - Diâmetro do lume dos traqueides do lenho Inicial

Trat	Rep	0%	25%	50%	75%	100%
1	1	19.35	11.98	18.37	18.15	16.23
1	2	20.05	12.76	16.66	19.68	16.50
1	3	20.38	12.86	15.29	20.07	12.96
1	4	20.51	16.13	16.28	18.57	13.03
2	1	15.55	18.70	14.85	11.91	16.98
2	2	19.14	19.63	12.39	10.92	21.57
2	3	21.01	19.46	13.15	9.47	18.82
2	4	17.57	19.55	12.73	14.11	19.09
3	1	21.21	21.89	23.21	18.06	16.26
3	2	17.75	21.56	22.97	18.61	14.03
3	3	13.85	18.84	17.08	16.14	13.03
3	4	16.08	15.59	19.03	17.14	14.85
4	1	12.84	18.80	14.25	10.27	12.38
4	2	11.90	18.03	12.84	10.58	11.60
4	3	12.79	19.17	13.93	13.11	9.62
4	4	12.57	18.53	11.53	12.06	14.22
5	1	10.41	20.32	18.49	15.76	16.58
5	2	10.31	18.14	15.22	14.29	17.25
5	3	11.69	18.54	16.03	16.39	17.30
5	4	13.08	17.56	19.28	14.87	20.17
6	1	18.25	15.47	21.31	18.32	19.77
6	2	17.32	13.05	18.48	18.56	18.98
6	3	18.80	13.33	18.90	18.00	19.96
6	4	21.25	13.93	19.69	20.33	19.47
7	1	16.52	10.83	18.79	11.99	15.02
7	2	17.39	11.02	15.94	13.71	14.97
7	3	14.46	15.88	18.49	13.76	15.13
7	4	16.49	11.63	17.68	14.70	13.96
8	1	20.31	17.16	15.38	12.92	14.00
8	2	20.77	15.41	16.75	11.63	14.15
8	3	19.74	14.46	17.03	13.57	15.47
8	4	18.41	11.26	16.92	12.24	13.93
Média		16.80	16.30	16.84	15.00	15.85

Anexo K - Valores de largura de anéis de crescimento dos oito árvores da espécie *Pinus taeda*

Ano	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	IMA
1974	0.503	0.307	0.536	0.279	0.274	0.374	0.728	0.448	0.431
1975	1.099	1.080	1.212	0.783	0.725	1.033	1.495	1.201	1.079
1976	1.457	1.980	1.759	1.531	1.523	1.589	1.635	2.118	1.699
1977	1.725	2.303	2.290	1.965	1.582	2.277	1.233	1.873	1.906
1978	1.197	1.794	1.727	1.735	1.261	1.613	1.342	1.238	1.488
1979	1.156	1.475	1.081	1.270	1.089	1.476	0.900	1.223	1.209
1980	0.942	1.195	0.895	0.969	1.281	1.115	0.608	1.092	1.012
1981	0.524	0.687	0.613	0.724	0.941	0.627	0.502	0.786	0.675
1982	0.436	0.860	0.400	0.516	0.648	0.378	0.816	0.403	0.557
1983	0.520	0.761	0.600	0.578	0.626	0.430	0.540	0.608	0.583
1984	0.410	0.509	0.444	0.364	0.326	0.208	0.360	0.425	0.381
1985	0.320	0.527	0.453	0.294	0.227	0.218	0.281	0.440	0.345
1986	0.117	0.440	0.373	0.124	0.137	0.148	0.548	0.243	0.266
1987	0.233	0.493	0.381	0.198	0.203	0.319	0.658	0.274	0.345
1988	0.509	0.571	0.438	0.362	0.327	0.518	0.786	0.256	0.471
1989	1.070	0.935	0.560	0.640	0.497	0.546	0.734	0.497	0.685
1990	0.848	0.868	0.586	0.628	0.578	0.558	0.775	0.565	0.676
1991	0.496	0.542	0.473	0.355	0.591	0.459	1.017	0.629	0.570
1992	0.731	0.720	0.492	0.415	0.740	0.529	0.897	0.825	0.669
1993	0.911	0.766	0.500	0.590	0.737	0.867	0.396	0.738	0.688
1994	0.636	0.544	0.438	0.768	0.514	0.446	0.299	0.691	0.542
1995	0.376	0.339	0.417	0.586	0.383	0.297	0.321	0.421	0.393
1996	0.322	0.313	0.447	0.404	0.339	0.368	0.370	0.284	0.356
1997	0.326	0.415	0.536	0.383	0.354	0.491	0.250	0.450	0.401
1998	0.276	0.378	0.585	0.436	0.300	0.410	0.250	0.377	0.376
1999	0.251	0.317	0.468	0.286	0.208	0.293	0.250	0.345	0.302
2000	0.182	0.309	0.419	0.175	0.152	0.317	0.300	0.287	0.268
2001	0.261	0.332	0.402	0.250	0.117	0.336	0.343	0.258	0.287
2002	0.243	0.250	0.504	0.256	0.147	0.404	0.351	0.285	0.305
2003	0.191	0.352	0.326	0.134	0.154	0.289	0.310	0.360	0.265
2004	0.136	0.245	0.305	0.097	0.247	0.196	0.383	0.353	0.245
2005	0.070	0.302	0.231	0.138	0.231	0.245	0.352	0.544	0.264
2006	0.095	0.426	0.255	0.161	0.148	0.259	0.500	0.316	0.270
2007	0.066	0.400	0.182	0.191	0.170	0.271	0.319	0.486	0.261
2008	0.105	0.289	0.194	0.138	0.191	-	-	0.293	0.201

## Anexo L - Valores de Resistencia das partículas à tração paralela

Árvore	Posição	Repetições	tração partículas
II	1	1	166,57
II	1	2	241,24
II	1	3	268,76
II	1	4	279,72
II	1	5	214,27
II	1	6	357,43
II	1	7	350,99
II	1	8	267,92
II	1	9	200,59
II	1	10	240,91
II	2	1	372,52
II	2	2	743,05
II	2	3	649,51
II	2	4	408,27
II	2	5	404,68
II	2	6	1021,75
II	2	7	555,24
II	2	8	534,24
II	2	9	464,88
II	2	10	458,43
II	3	1	797,85
II	3	2	1058,07
II	3	3	717,96
II	3	4	805,52
II	3	5	813,28
II	3	6	785,80
II	3	7	797,66
II	3	8	513,71
II	3	9	946,69
II	3	10	959,86
II	4	1	1194,83
II	4	2	969,65
II	4	3	1058,34
II	4	4	999,56
II	4	5	1012,37
II	4	6	1226,16
II	4	7	1081,02

II	4	8	1113,81
II	4	9	1076,92
II	4	10	776,65
II	5	1	908,37
II	5	2	826,40
II	5	3	1112,66
II	5	4	1000,99
II	5	5	876,86
II	5	6	1062,88
II	5	7	1179,33
II	5	8	840,55
II	5	9	1016,72
II	5	10	1055,76
III	1	1	394,72
III	1	2	309,33
III	1	3	271,08
III	1	4	351,97
III	1	5	141,22
III	1	6	308,43
III	1	7	266,28
III	1	8	401,96
III	1	9	240,29
III	1	10	309,74
III	2	1	669,65
III	2	2	532,15
III	2	3	599,57
III	2	4	408,24
III	2	5	443,49
III	2	6	447,68
III	2	7	426,19
III	2	8	480,25
III	2	9	451,09
III	2	10	490,53
III	3	1	858,69
III	3	2	727,66
III	3	3	866,37
III	3	4	652,31
III	3	5	618,45
III	3	6	888,35
III	3	7	609,23
III	3	8	774,04

III	3	9	699,45
III	3	10	759,97
III	4	1	869,83
III	4	2	825,65
III	4	3	724,99
III	4	4	1060,47
III	4	5	899,32
III	4	6	827,04
III	4	7	988,20
III	4	8	1003,39
III	4	9	879,54
III	4	10	987,95
III	5	1	733,22
III	5	2	666,09
III	5	3	581,90
III	5	4	592,91
III	5	5	641,31
III	5	6	834,66
III	5	7	429,27
III	5	8	503,83
III	5	9	932,81
III	5	10	489,56
IV	1	1	466,37
IV	1	2	296,61
IV	1	3	229,21
IV	1	4	389,32
IV	1	5	318,97
IV	1	6	341,64
IV	1	7	495,09
IV	1	8	392,23
IV	1	9	277,43
IV	1	10	525,99
IV	2	1	526,35
IV	2	2	506,39
IV	2	3	404,05
IV	2	4	335,28
IV	2	5	589,25
IV	2	6	457,84
IV	2	7	385,05
IV	2	8	383,34
IV	2	9	395,33

IV	2	10	412,39
IV	3	1	355,63
IV	3	2	202,25
IV	3	3	436,30
IV	3	4	452,08
IV	3	5	392,98
IV	3	6	488,54
IV	3	7	361,12
IV	3	8	265,96
IV	3	9	679,37
IV	3	10	561,59
IV	4	1	1655,34
IV	4	2	898,61
IV	4	3	1240,80
IV	4	4	976,17
IV	4	5	1689,60
IV	4	6	1224,27
IV	4	7	1352,59
IV	4	8	1586,86
IV	4	9	1442,79
IV	4	10	963,38
IV	5	1	1251,83
IV	5	2	1323,25
IV	5	3	1275,53
IV	5	4	1154,53
IV	5	5	1386,54
IV	5	6	921,95
IV	5	7	1247,32
IV	5	8	1072,40
IV	5	9	1226,02
IV	5	10	839,28
VI	1	1	501,69
VI	1	2	490,90
VI	1	3	652,82
VI	1	4	473,99
VI	1	5	282,55
VI	1	6	493,22
VI	1	7	417,64
VI	1	8	580,90
VI	1	9	443,80
VI	1	10	271,02



VI	2	1	578,44
VI	2	2	729,01
VI	2	3	491,68
VI	2	4	661,91
VI	2	5	490,67
VI	2	6	529,41
VI	2	7	771,86
VI	2	8	610,30
VI	2	9	519,80
VI	2	10	527,16
VI	3	1	1334,15
VI	3	2	1112,51
VI	3	3	1167,32
VI	3	4	1282,42
VI	3	5	1054,12
VI	3	6	1164,22
VI	3	7	1268,37
VI	3	8	1533,66
VI	3	9	850,87
VI	3	10	980,43
VI	4	1	598,05
VI	4	2	914,62
VI	4	3	1527,80
VI	4	4	1039,27
VI	4	5	1783,78
VI	4	6	1280,15
VI	4	7	1038,59
VI	4	8	1029,90
VI	4	9	1664,67
VI	4	10	1123,29
VI	5	1	548,30
VI	5	2	556,62
VI	5	3	262,88
VI	5	4	415,85
VI	5	5	410,99
VI	5	6	392,02
VI	5	7	773,26
VI	5	8	426,03
VI	5	9	657,54
VI	5	10	745,18
VIII	1	1	347,41

VIII	1	2	389,14
VIII	1	3	322,48
VIII	1	4	285,38
VIII	1	5	285,85
VIII	1	6	562,23
VIII	1	7	452,92
VIII	1	8	539,93
VIII	1	9	499,37
VIII	1	10	368,78
VIII	2	1	724,74
VIII	2	2	550,57
VIII	2	3	513,87
VIII	2	4	514,56
VIII	2	5	563,74
VIII	2	6	969,74
VIII	2	7	617,68
VIII	2	8	570,62
VIII	2	9	494,01
VIII	2	10	783,73
VIII	3	1	1118,90
VIII	3	2	1129,28
VIII	3	3	541,45
VIII	3	4	1112,70
VIII	3	5	1252,54
VIII	3	6	757,75
VIII	3	7	1064,08
VIII	3	8	817,54
VIII	3	9	1401,99
VIII	3	10	823,34
VIII	4	1	1423,23
VIII	4	2	1287,81
VIII	4	3	1220,07
VIII	4	4	1461,57
VIII	4	5	1393,21
VIII	4	6	1392,15
VIII	4	7	1990,07
VIII	4	8	1208,45
VIII	4	9	1258,00
VIII	4	10	1553,45
VIII	5	1	1044,88
VIII	5	2	513,36

VIII	5	3	913,85
VIII	5	4	1093,02
VIII	5	5	654,33
VIII	5	6	710,41
VIII	5	7	560,85
VIII	5	8	1068,25
VIII	5	9	1083,79
VIII	5	10	947,59

**Variável analisada: AA2H**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	320.612394	320.612394	11.807	0.0064
erro	10	271.554063	27.155406		
Total corrigido	11	592.166457			
CV (%) =	11.68				
Média geral:	44.6069167	Número de observações:		12	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 6,70362879173304 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 2,12741651944847

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	39.438000	a1
5	49.775833	a2

**Variável analisada: AA24H**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	323.752408	323.752408	11.805	0.0064
erro	10	274.241269	27.424127		
Total corrigido	11	597.993678			
CV (%) =	8.53				
Média geral:	61.3578333	Número de observações:		12	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 6,73671555286213 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 2,13791670142272

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	56.163667	a1
5	66.552000	a2

**Variável analisada: IE2H**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	127.218432	127.218432	11.807	0.0064
erro	10	107.752669	10.775267		
Total corrigido	11	234.971101			
CV (%) =	16.92				
Média geral:	19.3986667	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 4,22275439523066 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 1,34010365685312					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
1		16.142667	a1		
5		22.654667	a2		
-----					

**Variável analisada: IE24H**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	194.391400	194.391400	11.806	0.0064
erro	10	164.660677	16.466068		
Total corrigido	11	359.052078			
CV (%) =	17.63				
Média geral:	23.0168333	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 5,22007513346516 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 1,65660635705113					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
1		18.992000	a1		
5		27.041667	a2		
-----					

**Variável analisada: LI**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	4.219788	4.219788	11.803	0.0064
erro	10	3.575146	0.357515		
Total corrigido	11	7.794934			
CV (%) =	7.81				
Média geral:	7.6568333	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 0,76918122664667 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 0,244101948191962					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
1		7.063833	a1		
5		8.249833	a2		
-----					

**Variável analisada: MORPAR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	237.274133	237.274133	1.110	0.3168
erro	10	2137.350367	213.735037		
Total corrigido	11	2374.624500			
CV (%) =	44.99				
Média geral:	32.4950000	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 18,8070060888003 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 5,96845927447872					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
5		28.048333	a1		
1		36.941667	a1		
-----					

**Variável analisada: MOEPAR**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	27569885.805075	27569885.805075	13.607	0.0042
erro	10	20262166.835617	2026216.683562		
Total corrigido	11	47832052.640692			
CV (%) =	22.86				
Média geral:	6225.6408333	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 1831,15348826011 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 581,122001470957					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
5		4709.893333	a1		
1		7741.388333	a2		

**Variável analisada: MORPEP**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	24.424533	24.424533	11.776	0.0064
erro	10	20.740233	2.074023		
Total corrigido	11	45.164767			
CV (%) =	7.86				
Média geral:	18.3316667	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 1,85262970892625 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 0,587937543924145					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
5		16.905000	a1		
1		19.758333	a2		



**Variável analisada: MOEPERP**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	469229.110533	469229.110533	2.325	0.1583
erro	10	2018284.006633	201828.400663		
Total corrigido	11	2487513.117167			
CV (%) =	28.05				
Média geral:	1601.3416667	Número de observações:		12	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 577,926946658665 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 6					
Erro padrão: 183,406834052666					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
5		1403.598333	a1		
1		1799.085000	a1		
-----					

**Variável analisada: Teor Umidade**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	0.074817	0.074817	3.248	0.0852
erro	22	0.506767	0.023035		
Total corrigido	23	0.581583			
CV (%) =	1.40				
Média geral:	10.8641667	Número de observações:		24	
-----					
Teste Tukey para a FV TRAT					
-----					
DMS: 0,128498846084479 NMS: 0,05					
-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 12					
Erro padrão: 0,0438129057136217					
-----					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
1		10.808333	a1		
2		10.920000	a1		
-----					

**Variável analisada: Densidade Média**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	26731.372538	26731.372538	8.945	0.0067
erro	22	65742.407625	2988.291256		
Total corrigido	23	92473.780163			
CV (%) =	7.59				
Média geral:	720.2137500	Número de observações:		24	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 46,2826278773467 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 15,7805028851053

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	686.840000	a1
1	753.587500	a2