

PATRÍCIA APARECIDA RIGATTO

**INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO SOBRE
A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DA MADEIRA
DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE
CELULOSE KRAFT**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Renato Antônio Dedecek

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Luis M. de Matos

CURITIBA

2002

Rigatto, Patrícia Aparecida

Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft / Patrícia Aparecida Rigatto – 2002.

120f. : il., grafs.

**Orientador: Renato Antônio Dedecek
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.**

1. Solos florestais. 2. *Pinus taeda*. I. Rigatto, Patrícia Aparecida. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDU 634.0.114



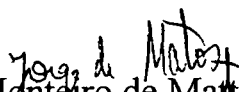
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO (MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL (DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **PATRÍCIA APARECIDA RIGATTO**, com o título: "**Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose Kraft.**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 29 de agosto de 2002.


Eng° Agr° Dr. Renato Antonio Dedecek, Presidente.


Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Mattos, I° Examinador.


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, II° Examinador.



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, meu eterno agradecimento por esta graça alcançada.

À toda minha família pelo apoio e carinho, e ao meu namorado Silvio Luiz pelo seu amor.

A autora manifesta seus sinceros agradecimentos ao orientador, pesquisador Dr. Renato Antônio Dedecek, e ao co-orientador, professor Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pelos valiosos ensinamentos, confiança, incentivo e estímulo transformados em amizade e respeito, durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade oferecida para execução deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Laboratório de Solos, Nutrição de Plantas, Fertilidade e Tecnologia da Madeira do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas - EMBRAPA, pelo auxílio prestado durante a execução das análises.

À Cia. Klabin do Paraná de Celulose S/A, pelo apoio, permitindo que este trabalho pudesse ser realizado, à toda equipe técnica, especialmente a Luis Carlos, sempre atento às nossas necessidades, demonstrando interesse e boa vontade durante todas as etapas do trabalho de campo.

Enfim, a todos os professores, técnicos, funcionários e amigos que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELA	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVOS	03
1.1.1 Objetivo Geral	03
1.1.2 Objetivos Específicos	03
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1 ESPÉCIE ESTUDADA	04
2.2 SÍTIOS FLORESTAIS	05
2.2.1 Interação Espécie-Sítio	07
2.3 FATORES DO MEIO QUE AFETAM O CRESCIMENTO DAS PLANTAS	07
2.3.1 Condições Edáficas	07
2.3.1.1 Densidade global	09
2.3.1.2 Porosidade total, macro e microporosidade	11
2.3.1.3 Porosidade de aeração	12
2.3.1.4 Umidade do solo	12
2.3.1.5 Textura	14
2.3.1.6 Matéria orgânica.....	15
2.3.1.7 Fertilidade do solo	16
2.3.1.8 Fauna do solo.....	17
2.3.2 Condições Climáticas.....	17
2.3.3 Condições Topográficas.....	18
2.3.4 Competição	19
2.4 QUALIDADE DA MADEIRA	20
2.5 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AFETADAS PELO MEIO	25

2.5.1 Formação da Madeira	25
2.5.2 Porcentagem de Lenhos	26
2.5.3 Massa Específica Básica	26
2.5.4 Características Morfológicas das Fibras	27
2.5.5 Composição Química	28
2.5.6 Madeira Juvenil	28
2.5.7 Características da Celulose.....	29
2.6 PRINCIPAIS INTERAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E O RENDIMENTO E QUALIDADE DA CELULOSE	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	36
3.2 AMOSTRAGEM.....	36
3.2.1 Amostragem do Solo	37
3.2.2 Amostragem das Árvores	37
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 ATRIBUTOS DO SOLO	45
4.1.1 Análise dos Atributos Químicos do Solo	45
4.1.2 Análise dos Atributos Físicos do Solo	49
4.1.2.1 Densidade global.....	50
4.1.2.2 Porosidade total	52
4.1.2.3 Macroporosidade.....	54
4.1.2.4 Água disponível.....	56
4.2 ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES	58
4.3 PRODUTIVIDADE	62
4.4 PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	64
4.4.1 Massa Específica Básica	64
4.4.2 Composição Química	65
4.4.3 Características Morfológicas dos Traqueídeos	67
4.4.4 Produção de Celulose Kraft.....	70

4.5 CORRELAÇÕES OBTIDAS NOS SÍTIOS ESTUDADOS.....	71
4.5.1 Correlações Obtidas entre os Atributos Químicos do Solo e a Produtividade de <i>Pinus taeda</i>	71
4.5.2 Correlações Obtidas entre os Atributos Físicos do Solo e a Produtividade de <i>Pinus taeda</i>	73
4.5.3 Correlações Obtidas entre os Nutrientes no Solo e o Estado Nutricional das Árvores de <i>Pinus taeda</i>	75
4.5.4 Correlações Obtidas entre o Estado Nutricional das Árvores e a Produtividade de <i>Pinus taeda</i>	76
4.5.5 Correlações Obtidas entre os Atributos Químicos do Solo e a Qualidade da Madeira de <i>Pinus taeda</i> para Produção de Celulose Kraft.....	77
4.5.6 Correlações Obtidas entre os Atributos Físicos do Solo e a Qualidade da Madeira de <i>Pinus taeda</i> para Produção de Celulose Kraft.....	78
4.5.7 Correlações Obtidas entre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de <i>Pinus taeda</i> para Produção de Celulose Kraft	79
4.5.8 Correlações Obtidas entre o Estado Nutricional das Árvores e a Qualidade da Madeira de <i>Pinus taeda</i> para Produção de Celulose Kraft.....	79
5 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICES	102
ANEXOS	112

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001 ..	45
TABELA 2 – VALORES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001	49
TABELA 3 – TEOR DE NUTRIENTES MÉDIOS DAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO – 2001	58
TABELA 4 – VALORES DENDROMÉTRICOS MÉDIOS DAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO – 2001	62
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA CADA SÍTIO – 2001	64
TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA CADA SÍTIO – 2001	65
TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA CADA SÍTIO – 2001	68
TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DA CELULOSE KRAFT PRODUZIDA COM A MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA CADA SÍTIO – 2001	70
TABELA 9 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE <i>Pinus taeda</i> – 2001	72
TABELA 10 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE <i>Pinus taeda</i> – 2001	73
TABELA 11 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES NO SOLO E O ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> – 2001	75
TABELA 12 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT – 2001	77
TABELA 13 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT – 2001	78
TABELA 14 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT – 2001	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA EM ÁRVORES DE <i>Pinus radiata</i> (Adaptado de COWN, 1980)	21
FIGURA 2 - ESQUEMA DE COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES SELECIONADAS	38
FIGURA 3 - DENSIDADE GLOBAL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO – 2001	51
FIGURA 4 - POROSIDADE TOTAL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO – 2001	53
FIGURA 5 - MACROPOROSIDADE DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO – 2001	55
FIGURA 6 - ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO – 2001	57

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - SÍTIOS SELECIONADOS PARA ESTE ESTUDO	37
QUADRO 2 - CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DE COZIMENTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i>	41
QUADRO 3 - CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES FOLIARES ADEQUADAS PARA <i>Pinus taeda</i>	60

RESUMO

O presente trabalho analisa os efeitos dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft, em áreas da Cia. Klabin do Paraná de Celulose S/A, em Telêmaco Borba-PR. Os estudos foram dirigidos no sentido de analisar as influências do solo nas características anatômicas, físicas e químicas da madeira, assim como, suas relações com a produção de celulose. Foram analisados oito sítios com árvores de 12 anos de idade, estes sítios foram selecionados pelo tipo de solo (latossolo e cambissolo), pela textura (argilosa e média) e pela vegetação primária (campo e floresta), com base no levantamento e mapeamento de solos existente nas áreas de plantio da Klabin. Para a caracterização do sítio foram realizadas descrições morfológicas e coletas de amostras em 3 horizontes: 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, com três repetições, sendo coletadas amostras indeformadas e amostras compostas. As variáveis estudadas no solo foram densidade global, porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água, fertilidade e granulometria. Para a seleção das árvores, foram realizadas avaliações dendrométricas de 50 árvores por sítio e, a partir das médias obtidas nestes sítios, selecionaram-se 5 árvores médias por sítio. Nas árvores selecionadas foram medidos altura total e comercial, DAP e retirados discos em seis posições ao longo do tronco. O material foi ensaiado quanto à massa específica básica, composição química, características morfológicas dos traqueídeos, estado nutricional e produção de celulose Kraft. Os resultados encontrados foram: solos de textura argilosa, independentemente da classe a que pertencem, propiciaram maiores produtividades do *Pinus taeda*. Percebeu-se, de maneira geral, que a produtividade do *Pinus taeda* é afetada pelas alterações geradas nos atributos físicos e químicos do solo. Contrariando vários estudos que confirmavam que os atributos químicos do solo só apresentavam efeitos sobre a produtividade quando considerados em conjunto. Com relação às propriedades da madeira, os atributos químicos do solo exerceram influência significativa sobre estas, mas, os atributos físicos do solo demonstraram ter maior influência nestas propriedades e, também, no rendimento em celulose. De maneira geral, as madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com texturas mais argilosas, apresentaram menores valores de massa específica básica, maiores teores de extrativos e lignina e, conseqüentemente, menor teor de holocelulose e celulose, traqueídeos mais curtos, mais largos, com paredes mais finas e diâmetros do lúmen maiores e, em conseqüência disso, menor rendimento em celulose. A partir dos resultados obtidos neste trabalho, concluiu-se ser possível, a previsão de determinadas propriedades da polpa celulósica através da análise das características da madeira associada a análise das condições edáficas reinantes.

ABSTRACT

The current work analyzed the effects of soil attributes over the productivity and wood quality to the production of cellulose Kraft of *Pinus taeda*. This work was conducted at Klabin Paraná Cellulose Company, in Telêmaco Borba-PR. The study focused the influence of soil attributes on the anatomical, physical and chemical wood characteristics, likewise their relation to the production of cellulose. It has been analyzed eight different sites growing twelve year old trees. These sites were selected based on the soil type (latosol and cambisol), by texture (clayey and sandy) and by primary vegetation (prairie and forest), based on a previous soil survey on Klabin plantation areas. To site characterization was carried out soil morphological descriptions and soil sampling at 3 depth: 0-10, 10-20 and 20-30 cm with three repetitions. It was collected undisturbed and bulk soil samples. The variables studied on the soil were: bulk density, total porosity, macroporosity, water availability, fertility and grain size distribution. To the selection of trees, it was carried out dendrometric measurements for 50 trees per site and from them, it was selected 5 average trees per site. On those selected trees it was measured total and commercial height, DBH and discs were taken on six tree positions along the trunk. Samples from trees were analyzed for basic specific mass, chemical composition, morphological characteristics of tracheids, nutritional state and cellulose production. The mainly results found out were: clay soils were more productive, independent of soil class they belonged to. It was noticed, generally, that *Pinus taeda* productivity is influenced by the alterations given rise on physical and chemical soil attributes. These findings were in contradiction to several studies reported in the literature that concluded that chemical attributes of soil showed effect over productivity only when considered in groups. Related to wood quality, the chemical attributes of soil exert significant influence on it. But the physical attributes demonstrated more influence on it and also on the cellulose productivity. In relation to woods from sites with higher growth rate, those with clay texture showed less values of basic specific mass, bigger content of extract and lignin, therefore, less content of holocellulose and cellulose, shorter tracheids, larger, with thinner walls and bigger lumen diameters as a result less cellulose productivity. From these results it was possible to concluded that we can estimate certain cellulose pulp characteristics from wood analyses associated with analyses of site edaphic conditions.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de celulose e papel e a globalização de seus mercados, vem atuando como importantes fatores de estímulo à busca de matérias-primas mais adequadas às suas fabricações. No Brasil, a madeira de *Pinus* spp é um exemplo típico dessa tendência. Isto pode ser constatado através da intensidade de estudos com que espécies desse gênero têm sido alvo (BIRKLAND, 1990).

O aumento da capacidade produtiva das indústrias de polpa e a crescente exigência do mercado consumidor, principalmente o externo, quanto à qualidade da polpa produzida, conduziu a um novo conceito de seleção dos sítios para formação das florestas, buscando-se maior homogeneidade da matéria-prima a ser utilizada pela indústria. A seleção por qualidade da madeira, atualmente, é realizada considerando-se os efeitos das propriedades físicas e químicas da madeira sobre o processo de deslignificação e na qualidade da polpa produzida (SANSÍGOLO, 2000).

Para o setor celulósico-papeleiro, o processo de avaliação de qualidade não se limita exclusivamente à análise de qualidade do produto. Visando aumentar a eficiência desse processo, são analisados todos os aspectos que possam influenciar a qualidade final do mesmo. Pois, numa melhor qualidade da matéria-prima reside parte significativa da qualidade do produto (CLARKE ; WESSELS, 1995).

Os efeitos da qualidade da madeira sobre a produção de polpa celulósica e/ou papel são tão importantes quanto outros efeitos de variáveis do processo industrial.

Os atributos do solo são um dos fatores que podem influenciar na qualidade final da polpa produzida, através de sua interferência na taxa de crescimento dos sítios florestais e, conseqüentemente, na qualidade da madeira produzida.

Uma questão a ser elucidada é se estas interferências na taxa de crescimento geradas pelos atributos do solo podem resultar em madeira de baixa qualidade e, conseqüentemente, menor qualidade final da polpa produzida.

O resultado ideal seria que estes atributos não interferissem nas propriedades da madeira ou as influenciassem positivamente, resultando em maior rendimento e também em maior qualidade da polpa produzida.

Ainda são poucos os estudos que relacionam diretamente a interferência dos

atributos do solo (físicos, químicos e biológicos) sobre a produtividade e a qualidade da madeira de espécies florestais, o que existe são trabalhos relacionando a taxa de crescimento, que é uma consequência destes atributos, com a qualidade da madeira e, conseqüentemente, suas interações com o rendimento e a qualidade da celulose produzida.

Mas, nesses estudos já realizados, pode-se observar que os atributos físicos do solo têm se relacionado, com maior freqüência, à capacidade produtiva dos sítios florestais e, conseqüentemente, com a qualidade da madeira produzida (GONÇALVES; DEMATTÊ; COUTO, 1990).

De maneira geral, quanto menor a densidade global do solo e a resistência à penetração de raízes e, maiores a porosidade total, macroporosidade e disponibilidade de água, maiores são as taxas de crescimento dos sítios florestais (RAB, 1994; LIPIEC et al., 1993; RANEY ; EDMINSTER, 1961; BRADY, 1996; SMITH, 1995; THEODOROU; CAMERON; BOWEN, 1991; CORREIA et al., 1996). Mas, a influência direta dessa maior taxa de crescimento na qualidade da madeira ainda é pouco estudada.

Observou-se também que apesar do *Pinus* spp. ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produção têm sido observados quando se plantam espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984).

Devido a essa taxa de crescimento diferenciada, as propriedades da madeira também não são as mesmas. Existe, portanto, a necessidade de que se obtenham informações detalhadas sobre as propriedades deste material.

Sendo esta, portanto, a justificativa para a realização deste trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as influências dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, considerando-se os aspectos anatômicos, físicos e químicos, assim como, suas relações com o rendimento da celulose Kraft produzida, de forma a permitir a seleção de sítios apropriados para produção desta madeira visando à produção de celulose.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Oferecer subsídios que possam ser utilizados na classificação da aptidão de terras para programas de reflorestamentos de *Pinus* spp.;
- Orientar a correção dos atributos físicos e químicos do solo para a produção de celulose desta espécie.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIE ESTUDADA

O gênero *Pinus* é composto por cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais do mundo. A madeira das espécies de *Pinus* pode ser separada macroscopicamente entre os seguintes grupos: branco, vermelho e amarelo (USDA FOREST SERVICE, 2000).

Pinus taeda é uma das espécies do sul dos Estados Unidos e o nome “taeda” refere-se a palavra ancestral que denominava os pinheiros resinosos. Os nomes comuns pelos quais *Pinus taeda* é conhecido nos Estados Unidos e em outros países são listados a seguir: “bastard pine, black pine, black slash pine, bog pine, buckskin pine, Bull pine, Carolina pine, cornstalk pine, foxtail pine, frankincense pine, heart pine, Indian pine, kienbaum, lobby pine, loblolly pine, longleaf pine, longschat pine, longshucks, longshucks pine, longstraw pine, maiden pine, meadow pine, North Carolina pine, old pine, oldfield pine, pin a l’encens, pin taeda, pinho-teda, pino de incienso, pino dell’incenso, prop pine, Rosemary pine, sap pine, shortleaf pine, shortstraw pine, slash black pine, slash pine, southern pine, spruce pine, taeda pine, taeda-pijn, torch pine, Virginia pine, Virginia sap pine, yellow pine” (USDA FOREST SERVICE, 2000).

Sua distribuição natural ocorre do sul dos Estados Unidos e se distribui desde o sul dos Estados de Nova Jersey e Delaware, para o sul até a região central do Estado da Flórida, ao oeste até o leste do Estado do Texas, e no vale do Rio Mississippi ao extremo sudeste de Oklahoma, Arkansas central e sul do Estado do Tennessee (USDA FOREST SERVICE, 2000).

As principais características da árvore no ambiente nativo são: as árvores de *Pinus taeda* chegam a atingir cerca de 45 m de altura, com diâmetros aproximados de 1,30 m; a mais alta árvore que se teve notícia, tinha altura de 54 m com 1,42 m de diâmetro (USDA FOREST SERVICE, 2000).

As características gerais da madeira de árvores nativas são: o alburno da madeira de *Pinus taeda* é amarelado claro, enquanto que o cerne, é de coloração marrom avermelhada. O alburno é usualmente largo quando em crescimento secundário. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de vinte anos. Em

árvores velhas de crescimento lento o alburno chega a ter apenas 2 a 5 cm de largura. A madeira de *Pinus taeda* é muito pesada e resistente, dura e moderadamente resistente ao choque. Apresenta grã reta, textura média e é de difícil trabalhabilidade com ferramentas manuais. Apresenta alta resistência ao arrancamento de pregos, mas pode ser de difícil colagem. Tem relativamente alta contração, mas é estável quando a secagem for conduzida adequadamente. A resistência a degradação do cerne é classificada como moderada a baixa, sendo o alburno mais facilmente impregnado com produtos preservativos da madeira (USDA FOREST SERVICE, 2000).

É uma espécie considerada de baixa exigência nutricional (PRITCHETT ; ZWINFORD, 1961), a ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, condicionaram a idéia de que esta espécie, assim como o gênero *Pinus*, dispensariam a prática de fertilização mineral. Entretanto, diversos autores estudaram os fatores de solo e as suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessa espécie, demonstrando estreita interdependência entre essas variáveis (MENEGOL, 1991; LASO GARICOITS, 1991).

Esta espécie foi escolhida por se destacar pelo ritmo e vigor de crescimento na região e pela necessidade de se conhecer a qualidade da madeira produzida nessa idade por ser uma das espécies mais importantes desse gênero no país.

2.2 SÍTIOS FLORESTAIS

Sítio, em termos florestais, pode ser definido como uma área de terras, com a combinação dos atributos do solo, topografia, clima e fatores bióticos. Já a qualidade de sítio, como a capacidade produtiva de uma área de terras para uma espécie ou várias espécies. Pode ser expressa em termos de altura total de árvores dominantes a uma idade índice, quando a qualidade de sítio é expressa em termos de altura em uma idade, isto é chamado de Índice de sítio (COILE, 1952).

Um dos maiores problemas enfrentados pela maioria das empresas florestais é a falta de informações fidedignas sobre o potencial do solo em produzir madeira. Estas informações são de elevada importância para a execução de um plano de manejo, o qual é essencial ao bom desenvolvimento de qualquer empreendimento florestal. Estudos de caracterização de sítios florestais permitem avaliações

quantitativas do potencial do solo em produzir madeira. Para a pesquisa florestal, o problema restringe-se em integrar todos os fatores do sítio de maneira a estimar a sua qualidade. Esta, de maneira geral, é avaliada através de fatores que apresentam uma estreita correlação com o crescimento (MENEGOL, 1991).

A capacidade produtiva de um sítio florestal pode ser avaliada, para determinado local, através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal. ORTEGA e MONTEIRO (1988) destacam, como fatores intrínsecos, a altura dominante ou média, o crescimento médio máximo, o volume total no final da rotação e a interceptação. Como fatores extrínsecos do biótipo: o clima, a litologia, a edafologia e a morfologia; e da biocenose: espécies indicadoras (sociologia) e associações indicadoras (fitossociologia). Esta capacidade produtiva depende, portanto, fundamentalmente, das condições do solo e do meio ambiente. A classe de solo agrega importantes informações, destacando-se a profundidade do solo, a classe de textura, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que poderiam restringir o crescimento das raízes e a percolação de água. Com relação ao meio ambiente, as informações se referem, principalmente, à classe de relevo, ao material de origem do solo, ao tipo de cobertura vegetal primitiva e à presença de pedregosidade e rochiosidade. Dentre estes fatores, a influência que os atributos físicos e químicos do solo exercem sobre o crescimento das árvores tem merecido atenção especial. Pesquisas sobre estes aspectos têm sido direcionadas, principalmente, à definição de espécies a serem plantadas e indicações de práticas de manejo dos solos e dos povoamentos florestais. Diversos autores vêm demonstrando que os atributos do solo como teor de argila nos horizontes A e B, profundidade, níveis de nutrientes e capacidade de retenção de umidade afetam a qualidade do sítio, dependendo do tipo de solo e das espécies envolvidas.

FARIA (1996) cita que de todas as medições indiretas que foram estudadas, o crescimento em altura pode ser considerado como o indicador mais consistente e prático da qualidade dos sítios florestais. O crescimento em altura no dossel dominante é muito sensível às diferenças no sítio, altamente correlacionado com o crescimento em volume e pouco correlacionado ao estoque e composição de espécies.

HÄGLUND e LUNDMARK (1977), em um estudo de estimativa do índice de

sítio para *Pinus silvestris* L. e *Picea excelsa* Link na Suécia, definiram o índice de sítio como sendo a altura dominante à idade de 100 anos, e consideraram a altura dominante como a média aritmética das alturas das cem árvores de maiores diâmetros por hectare.

2.2.1 Interação Espécie-Sítio

O crescimento das árvores é influenciado pelos fatores genéticos da espécie, que interagem com o meio ambiente, o qual compreende os seguintes fatores: climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), edáficos (atributos físicos, químicos e biológicos), topográficos (altitude, inclinação e exposição) e competição (FINGER, 1992).

O ambiente é tão importante quanto à espécie e o que deve ser considerado quando da instalação de plantios é a interação entre ambos. O desempenho de espécies florestais é fortemente influenciado pelas características dos sítios, sendo que pequenas variações entre áreas contíguas provocam grandes variações de respostas no crescimento das árvores (DAVIDE, 1994).

Devido à interação espécie-ambiente, as espécies podem apresentar comportamentos contrastantes quando plantadas em ambientes distintos. Portanto, os resultados observados em um determinado ambiente não podem ser extrapolados para outros ambientes (KAGEYAMA ; CASTRO, 1989).

Segundo FINGER (1992), o homem pode, até certo ponto, alterar a produtividade de um sítio através de tratos silviculturais, seleção de árvores com melhores características genéticas e melhoramento de alguns fatores ambientais, como água, nutrientes e densidade global do solo.

2.3 FATORES DO MEIO QUE AFETAM O CRESCIMENTO DAS PLANTAS

2.3.1 Condições Edáficas

O solo é a característica do habitat que mais influencia no crescimento das plantas e, entre seus principais atributos encontram-se: a textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de

origem (PRITCHETT, 1979).

Porém, em muitas tentativas de estabelecer relações diretas entre atributos do solo e crescimento de plantas, com exceção da profundidade do solo, que desde o início correlacionou-se positivamente, especialmente em estudos de larga escala, estas tentativas não tiveram êxito (SCHÖUNAU ; ALDWORTH, 1991).

A maioria dos solos em nossas condições são pobres em nutrientes, embora as florestas naturais não apresentem sintomas de deficiência, devido à ciclagem estar em perfeito equilíbrio com as demandas. A substituição de florestas naturais por plantios florestais de ciclo rápido, alteram os processos naturais de ciclagem e armazenamento de nutrientes, devido, principalmente, às mudanças na qualidade da matéria orgânica, causadas pelas práticas de manejo. Isto dificulta a sustentabilidade de sítio, pelo importante papel da matéria orgânica nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (NAMBIAR ; BROWN, 1997).

Entre os atributos do solo, aqueles relacionados aos aspectos físicos, são de extrema importância no que diz respeito ao desenvolvimento das plantas, pelo fato de que, segundo FERREIRA (1993), os constituintes sólidos do solo interagem com os fluídos, água e ar; e, dependendo da forma como esses constituintes se associam, sua movimentação no sistema poroso é variável em função do tipo de solo e/ou das condições de manejo às quais é submetido. Assim, o conhecimento dos atributos do solo e suas implicações com o sistema água-solo-planta, são básicos para o entendimento e conservação do ambiente.

O ambiente físico do solo é o fator mais importante na produtividade de sítio, afetando atributos do solo para produção dos cultivos, que incluem os fluxos de água, ar e calor, a resistência do solo à penetração de raízes e a disponibilidade de nutrientes (LAL, 1979).

GAISER (1950) trabalhando com *Pinus taeda* L., nos Estados Unidos, concluiu que a variação no nível de nutrientes do solo não mostrou afetar tão grandemente o crescimento como as diferenças nos atributos físicos do solo.

GESSEL (1967) menciona a dificuldade de obter medidas acuradas relacionadas com a produção da floresta, especialmente quanto aos atributos do solo, afirmando que o solo é apenas um fator no complexo "sítio", sendo que uma apropriada avaliação dos efeitos dos atributos do solo na produção, pode ser explorada somente quando os outros fatores do sítio que influenciam no crescimento

se mantêm constantes, ou aproximadamente constantes.

De forma geral, não é possível antever as conseqüências de diferentes condições edáficas no desenvolvimento das plantas. Sabe-se, porém, que estas diferenças podem resultar em perda de crescimento da floresta (FROEHLICH et al., 1980; FROEHLICH; MILES; ROBBINS, 1985), redução da regeneração natural, bem como prejudicar ou impedir o desenvolvimento de mudas (HILDEBRAND, 1994) e até provocar a morte de árvores adultas (HETSCH; HESSE; MÜNE¹ citados por HILDEBRAND, 1994).

Apesar das plantas possuírem mecanismos de compensação para equilibrar as deficiências provocadas por estas diferenças, foram observadas redução no comprimento das raízes (HALVERSON ; ZISA, 1982) e concentração de raízes nos locais com maior macroporosidade (HILDEBRAND, 1994). Por outro lado, também foram observados aumento na quantidade de fungos e de raízes mortas em solos com deficiência de aeração (SMELTZER; BERGDAHL; DONELLY, 1986).

2.3.1.1 Densidade global

A densidade global do solo corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo espaços porosos, sendo expressa em g/cm^3 , Mg/m^3 e kg/dm^3 (CURI et al., 1993).

Quanto maior o valor da massa específica do solo seco, menor é a porosidade total do solo, seja pela natureza e arranjo das partículas sólidas ou pela compactação, que afeta todos os processos de transporte ocorrentes nos solos (aeração; condutividade do solo ao ar, à água, ao calor; infiltração; redistribuição; entre outros), além das transformações químicas e biológicas e impedimentos mecânicos na emergência de plântulas e no desenvolvimento das raízes (PREVEDELLO, 1996).

São escassos os dados de perda de produtividade em relação ao aumento na densidade global, mas, geralmente, a redução em volume é consideravelmente mais pronunciada que a redução em altura (FROEHLICH; MILLES; ROBBINS, 1986).

FROEHLICH, MILLES e ROBBINS (1986), estudando o estabelecimento de

¹ HETSCH, W.; HESSE, S.; MÜNE, M. Absterben von Bucheriauf " psedovergleyten Böden nach starker Befahrung". *Allgemeine Forst Zeitschrift*, Munich, v. 45, p. 481-483, 1990.

Pinus ponderosa em áreas compactadas, concluíram que um aumento de 15,4% na densidade global do solo, representa redução de 4,8%, 7,7% e 20,4% na altura total, diâmetro e volume da espécie, respectivamente.

RAB (1994) avaliando as relações entre a densidade global do solo e o crescimento em altura e diâmetro de *Eucalyptus regnans* em solo argiloso, constatou 50% de redução na altura e diâmetro quando a densidade global passou de 0,91 para 0,96 Mg/m³.

FENNER (1999) estudando *Pseudotsuga menziesii* em solo argiloso, verificou redução do crescimento em altura de 22%, quando a densidade global do solo passou de 0,88 para 0,95 Mg/m³ e uma redução de 42%, quando a mesma passou de 0,88 para 1,55 Mg/m³.

O aumento da densidade global pode afetar a disponibilidade de nutrientes, as plantas podem tentar compensar isto, aumentando a absorção por unidade de área de raiz. Mesmo assim, a absorção total será geralmente reduzida. A difusibilidade de um íon pode aumentar de fato a baixos níveis de densidade global, com caminhos de difusão menos tortuosos, mas reduz-se a níveis mais altos de densidade global, com aumentos de tortuosidade além do nível original (WOLKOWSKI, 1990).

Quando os efeitos do aumento da densidade global do solo são muito severos nas camadas superficiais, pode-se esperar uma redução na disponibilidade de nutrientes, com conseqüências para o crescimento das plantas. O estudo de LIPIEC et al. (1993), comprovou que o aumento do nível da densidade global resultou em maior resistência mecânica à penetração das raízes no solo, redução da porosidade total, menores flutuações da temperatura diária e grande acúmulo de raízes na camada superficial do solo. Além disso, houve um decréscimo no índice de área foliar.

A densidade e o comprimento de raízes principais e laterais declinam com o aumento da densidade global do solo. Com o aumento na densidade global de 0,7 Mg/m³ para 1,0 Mg/m³, o comprimento das raízes principais é reduzido para 71% e o das raízes laterais para aproximadamente 31%. Geralmente, o diâmetro das raízes apresenta um aumento proporcional ao aumento da densidade global do solo, enquanto que o número das raízes laterais diminui significativamente (LIPIEC et al., 1993).

No entanto, avaliar isoladamente a densidade global do solo pode não diagnosticar as condições gerais do desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, da produtividade futura (INCERTI; CLINNCK; WILLATT, 1987).

2.3.1.2 Porosidade total, macro e microporosidade

A fração volumétrica dos poros do solo é denominada de porosidade total, sendo responsável pelo armazenamento e transporte, tanto de solução quanto do ar do solo. Os solos diferem em porosidade conforme sua textura, alternando a disposição e forma dos poros (PREVEDELLO, 1996).

Como poderia ser esperado, dependendo das condições reinantes, há considerável diferença no total de porosidade dos diversos solos. Os solos arenosos de superfície situam-se numa faixa de 35 a 50%, enquanto que os solos pesados variam de 40 a 60%, ou talvez, ainda mais, nos casos de elevado teor de matéria orgânica e de granulação marcante. A porosidade total varia também com a profundidade, cai muito em solos compactados, atingindo 25 a 30%, em decorrência da aeração inadequada de tais horizontes. Constatou-se também, que o cultivo tende a reduzir a porosidade total para valores abaixo dos correspondentes a solos virgens ou não cultivados. Esta redução vem, em geral, associada com redução do teor de matéria orgânica e, conseqüente, redução da granulação (BRADY, 1996).

A macroporosidade é definida por CURI et al. (1993) como o número de poros maiores, no caso aqueles que não são capazes de transportar água por capilaridade, enquanto que a microporosidade se refere aos poros capazes de exercer esta função.

Os macroporos são os mais importantes para drenagem do excesso de água do solo, após ocorrência de fortes chuvas ou inundações, sendo que são eles que afetam a aeração e a drenagem. Nos microporos, fica retida parte desta água remanescente que garante a sobrevivência de muitas espécies vegetais (PREVEDELLO, 1996).

Por isso, num solo arenoso, apesar de sua reduzida porosidade total, a movimentação do ar e da água é surpreendentemente rápida, face à predominância dos macroporos (BRADY, 1996).

Quando o solo é compactado, a distribuição dos poros é afetada, ocorrendo

mudanças na densidade global e na porosidade total do solo, sendo que esta variável pode servir como um sensível indicador da redução da produtividade (RANEY ; EDMINSTER, 1961).

2.3.1.3 Porosidade de aeração

A porosidade de aeração consiste de uma parte da porosidade total, descontada a porosidade ocupada pela solução do solo, a qual é a própria fração volumétrica da água. Para o ótimo desenvolvimento das plantas, a porosidade de aeração não deve ser menor do que 10 a 15%, principalmente dentro de dois ou três dias após ocorrer chuva ou irrigação (PREVEDELLO, 1996).

Os solos de usos florestais não perturbados, geralmente, apresentam-se bem estruturados com uma rede de canais contínuos ou sistema de macroporos formados predominantemente pela fauna do solo e raízes mortas ou vivas de plantas. Um solo perfeitamente aerado apresenta uma concentração aproximada de 20% de oxigênio (BRADY, 1996).

Como o aumento da densidade global do solo, reduz a proporção de macroporos e aumenta a de microporos, maior quantidade de poros estará ocupada com água, reduzindo o espaço poroso responsável pela difusão de oxigênio e outros gases. O oxigênio é necessário à respiração das raízes e produz energia para a absorção de nutrientes, sendo assim, solos com porosidade de aeração abaixo de 10% comprometem o crescimento das plantas (OLIVEIRA; BAHIA; PAULA, 1998).

THEODOROU, CAMERON e BOWEN (1991), observaram que a porosidade de aeração inferior a 10% e alta resistência do solo, acima de 2,1 MPa, reduziu o crescimento de *Pinus radiata*, reduzindo a penetração das raízes nas camadas de solo compactadas.

2.3.1.4 Umidade do solo

A umidade do solo é condição essencial ao crescimento das plantas, não apenas sob o ponto de vista do fornecimento de água, mas também, devido ao seu efeito sobre a mobilização e absorção de nutrientes e sobre a microflora e fauna do solo. Deficiência de umidade do solo contribui para o mau aproveitamento de

nutrientes e para uma redução da atividade biológica. Por outro lado, umidade excessiva é prejudicial à grande maioria das plantas cultivadas, atribuindo-se isso, geralmente, aos seguintes fatores: formação de substâncias tóxicas, más condições de aeração, efeitos danosos sobre os microorganismos e redução no crescimento radicular (MELLO et al., 1983).

Devido à natureza complexa desta relação, é difícil identificar o papel relativo da umidade do solo separadamente da densidade global, aeração e disponibilidade de nutrientes (GREACEN ; SANDS, 1980).

Dentre os muitos fatores que influenciam o aumento da densidade global dos solos de usos agrícolas e florestais, o teor de umidade do solo merece atenção especial (PREVEDELLO, 1996).

A disponibilidade de água do solo pode dobrar a baixos níveis de densidade global, o que inverte com aumento da mesma. Baixa infiltração pode aumentar o escoamento superficial e, menor taxa de infiltração de água no perfil do solo, é consequência de baixas taxas de porosidade total e aeração (GREACEN ; SANDS, 1980).

BELLOTE et al. (1980) e REIS, BARROS e KIMMINS (1987), mostraram que o maior acúmulo de biomassa e nutrientes em *Eucalyptus grandis*, plantado em três locais no Brasil, aconteceu entre dois e cinco anos depois do plantio e, que este padrão é relacionado à disponibilidade de água, mostrando mais uma vez a importância da interação entre disponibilidade de água e absorção de nutrientes.

FENNER (1999) em uma análise de crescimento de plantas em solos com vários graus de compactação e estresse de umidade, verificou que a absorção de nutrientes não foi diretamente afetada pela compactação, mas sim, pela quantidade insuficiente de água disponível no solo.

WENGER (1953) trabalhando com *Liquidambar styraciflua* e ANDRADE (1961) trabalhando com *Eucalyptus saligna*, também concluíram que a umidade do solo é um dos fatores responsáveis pelo vigor das brotações.

BORGES (1986) mencionou que, em geral, solos com maiores valores de densidade global apresentam maior quantidade de água retida, mas que isto não implica em maior disponibilidade para as plantas.

A capacidade de retenção da umidade do solo é um dos fatores que pode limitar o crescimento do *Pinus*, principalmente em solos com maiores teores de areia

grossa que tendem a uma redução da capacidade de armazenamento de água e transporte de nutrientes no solo (CORREIA et al., 1996).

O acompanhamento da variação da umidade do solo em condições de campo, é bastante caro e trabalhoso. Muitos experimentos de campo que incluem medições de fluxo de água no perfil do solo normalmente utilizam tensiômetros, porém, com algumas restrições no seu uso, já que dependem das condições climáticas, além de ocorrer problemas técnicos em medições contínuas a longo prazo (FENNER, 1999).

2.3.1.5 Textura

A textura é a distribuição quantitativa das classes de tamanhos de partículas de que se compõe o solo, sendo um atributo permanente que depende das características do material originário e dos agentes naturais de formação do solo (ASSIS ; BAHIA, 1998).

É determinada pela quantidade de areia, silte e argila de um solo. Quanto menor o tamanho das partículas, mais próximas da muito argilosa, e quanto maior o tamanho das partículas, mais próximas da arenosa estará a textura (MELLO et al., 1983).

A estrutura do solo, a consistência, a capacidade de retenção de água, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal são diretamente dependentes da textura. Esta pode ser considerada, individualmente, como o atributo que mais influencia na capacidade produtiva dos sítios florestais (GONÇALVES; DEMATTÊ; COUTO, 1990).

O risco de aumentar a densidade global do solo durante as etapas que envolvem o manejo florestal, aliado a outros fatores, é mais alta para texturas argilosas e siltosas do que para texturas arenosas (SMITH, 1994).

OLIVEIRA, BAHIA e PAULA (1998), relatam que os solos argilosos estão mais sujeitos ao aumento da densidade global do solo, pelo fato das argilas promoverem o fenômeno da plasticidade ao substrato, aumentando a coesão entre as partículas.

CAMARGO (1997) considera que os solos de textura mais arenosa embora apresentem alguma resistência ao aumento da densidade global do solo devido à

aplicação de forças externas, permitem um rearranjo das partículas mais finas, ocupando os vazios do solo e, conseqüentemente, aumentando a densidade global para valores superiores a 2,0 Mg/m³.

2.3.1.6 Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo representa um acúmulo de resíduos animais e vegetais parcialmente decompostos e novamente sintetizados. Tal material encontra-se num estado de decomposição ativa, submetido a ataques de microorganismos do solo. É, portanto, um componente do solo bastante transitório, que deve ser renovado constantemente pela adição de resíduos de plantas superiores. O teor de matéria orgânica do solo é reduzido, apenas 3 a 5% do seu peso, no caso de solo mineral típico de superfície. Sua influência nos atributos do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas é, entretanto, muito maior do que este baixo teor leva a acreditar. Em primeiro lugar, a matéria orgânica funciona como um “granulador” das partículas minerais, sendo o principal responsável pelo aspecto frouxo e friável dos solos produtivos. Igualmente, a matéria orgânica é, no solo, uma das principais fontes de dois importantes elementos minerais, fósforo e enxofre e, é essencialmente a única fonte de nitrogênio. Mediante seus efeitos nas condições físicas do solo, a matéria orgânica ajuda também a aumentar a quantidade de água que um solo pode absorver e a proporção desta água que fica disponível para o crescimento vegetal. Finalmente, a matéria orgânica é a principal fonte de energia para os microorganismos do solo (BRADY, 1996).

A matéria orgânica melhora as condições físicas do solo e, conseqüentemente, ocorre um maior desenvolvimento do sistema radicular das culturas, um aumento da capacidade de infiltração e um menor escoamento superficial, reduzindo assim as perdas de solo pela erosão (PAULA; ASSIS; BAHIA, 1998).

Nos solos de usos florestais, a matéria orgânica torna-se importante controladora da ciclagem de nutrientes, agindo como substrato para a microfauna do solo e influenciando a umidade, a estrutura, a resistência e os processos pedogenéticos. A perda de matéria orgânica nos solos florestais gera menos problemas que em solos agrícolas, porém, em regiões de clima seco torna-se vital

para a manutenção da umidade do solo (WORRELL ; HAMPSON, 1997).

A matéria orgânica é um importante indicador da sustentabilidade das práticas florestais, sendo também um parâmetro para o monitoramento das alterações nos atributos dos solos das florestas. No entanto, para desenvolver esta idéia, são necessárias pesquisas unindo a dinâmica da matéria orgânica, carbono no solo, produtividade florestal e práticas de manejo (NAMBIAR, 1996).

2.3.1.7 Fertilidade do solo

Não existe um acordo geral sobre o termo fertilidade do solo. Alguns consideram que um solo fértil deve ter bons atributos físicos e fornecer às plantas os nutrientes que dele são absorvidos, em quantidades razoáveis e convenientemente balanceadas. Tal solo não deve conter substâncias ou elementos tóxicos em quantidades que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas e deve estar localizado numa zona climática favorável, para que tais fatores não sejam limitantes do crescimento (MELLO et al., 1983).

É conveniente lembrar que o crescimento vegetal depende de uma combinação favorável de seis fatores externos: luz, fixação mecânica, calor, ar, água e nutrientes e que, se qualquer deles estiver em desequilíbrio em relação aos outros, poderá reduzir ou mesmo anular inteiramente o crescimento das plantas. Além disso, o fator que estiver abaixo da condição ótima determinará o nível da produção. Esta conceituação é da maior importância e deverá ser levada em consideração no manuseio dos elementos nutritivos. É preciso haver preocupação não somente com o suprimento de determinado elemento, mas também, com o seu próprio suprimento, em relação a todos os outros fatores que poderão exercer influência sobre o crescimento das plantas (BRADY, 1996).

Portanto, um suprimento adequado de cada nutriente deve ser mantido no solo. Devem ser tomadas providências para haver disponibilidade e grau compatível com o crescimento normal das plantas. Isto compreende uma transferência mais ou menos complexa para a solução do solo e para as plantas, já que estas participam em outros processos, além da simples absorção. Além disso, é condição indispensável uma proporção adequada das substâncias nutritivas, sendo vital a concentração total dos nutrientes disponíveis, tal balanço tende a assegurar

condições fisiológicas desejáveis e necessárias a uma produção vegetal bem sucedida (MELLO et al., 1983).

A capacidade do solo em suprir as raízes das plantas de água, ar, calor e nutrientes, determina a sua fertilidade (PREVEDELLO, 1996).

2.3.1.8 Fauna do solo

Os microorganismos desenvolvem diferentes ações no solo, cujos efeitos podem afetar o desenvolvimento das plantas, auxiliando ou prejudicando. Entre os efeitos benéficos podem-se citar aqueles decorrentes da decomposição da matéria orgânica, da fixação de nitrogênio atmosférico e das alterações dos constituintes minerais do solo, resultando, muitas vezes, na liberação de nutrientes em forma solúvel. Entre os efeitos prejudiciais merecem citação os seguintes: produção de moléstias, desnitrificação, competição por nutrientes e produção de substâncias tóxicas (MELLO et al., 1983).

2.3.2 Condições Climáticas

Depois dos atributos do solo, este é o fator do meio que mais influencia no crescimento das plantas (SABATÉ; GRACIA; SÁNCHEZ, 2002).

Com base na classificação de Köppen, os tipos climáticos Aw e Af não são adequados para o plantio do gênero *Pinus*. O tipo Cwa apresenta limitações principalmente em solos rasos (profundidades inferiores a 70 cm). E os tipos Cwb, Cfb e Cfa não são limitantes (GOOR, 1966).

A precipitação é uma das variáveis climáticas que mais influenciam no crescimento das plantas e, conseqüentemente, na produtividade destas (SABATÉ; GRACIA; SÁNCHEZ, 2002).

HOCKER JÚNIOR (1956) estudando a influência de algumas variáveis climáticas em relação à distribuição de *Pinus taeda* L., chegou à conclusão que a média da temperatura e a frequência e intensidade da precipitação durante a estação de inverno e verão, parecem ser os fatores que mais contribuem para a delimitação da sua distribuição.

Já BETHUME (1960), relacionando a distribuição de *Pinus elliottii* var. *elliottii*

Engelm. a certos fatores do clima, afirmou que a distribuição de plantas é freqüentemente limitada pelo fracasso da fase reprodutiva. Mencionou que particularmente nas coníferas do sul dos EUA, o efeito da umidade inadequada do solo durante a estação do crescimento pode limitar a formação de cones e sementes.

GOLFARI (1974) estudando as exigências climáticas das três coníferas mais plantadas no sul do Brasil (*Pinus elliottii* var *elliottii* Engelm., *Pinus taeda* L. e *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze), concluiu que todas exigem um período de frio invernal no ano para seu desenvolvimento normal, e confirma a maior resistência ao frio de *Pinus elliottii*, podendo suportar em certas regiões do Planalto Paranaense a temperaturas em torno de -14°C. Apesar do fato destas três espécies exigirem climas semelhantes, as exigências edáficas são bastante distintas. Este autor, afirmou em seu trabalho que para as duas espécies de *Pinus* mencionadas, não existem problemas que prejudiquem seu normal desenvolvimento, sua susceptibilidade se manifesta quando as condições climáticas se tornam marginais por insuficientes precipitações ou pela presença de período seco prolongado.

CLARKE et al. (1999), estudando os efeitos de diferentes condições climáticas no crescimento, propriedades da madeira e propriedades da polpa de nove espécies de eucalipto (*E. fraxinoides*, *E. smithii*, *E. oreades*, *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. macarthurii*, *E. nitens* e *E. fastigata*) em diferentes sítios, concluíram que houve diferenças significativas entre os sítios para crescimento (diâmetro, altura e volume), propriedades da madeira (lignina, pentosanas e massa específica) e propriedades da polpa (rendimento, consumo de álcali, taxa de deslignificação e viscosidade), sendo que a temperatura correlacionou-se negativamente com as variáveis estudadas.

Em um estudo sobre a influência dos fatores de sítio no conteúdo de nutrientes foliares de *Eucalyptus grandis*, HERBERT (1991), concluiu que os fatores climáticos, principalmente a temperatura e a precipitação, correlacionaram-se fortemente com o conteúdo de nutrientes foliares desta espécie.

2.3.3 Condições Topográficas

HICKS e FRANK JÚNIOR (1984), concluíram que a exposição correlaciona-se

com muitas variáveis do solo, do sítio e das espécies, sendo que algumas negativamente e outras positivamente, afirmando que direta ou indiretamente afeta os atributos químicos dos horizontes superficiais do solo e, portanto, o crescimento das plantas.

Entre os fatores topográficos, a altitude é um dos critérios mais utilizados e significativos na classificação de sítios, segundo SPURR (1964).

Segundo GOOR (1966), pode-se admitir uma eventual influência da altitude e tipo climático, mas para *Pinus* spp. parece não haver limitações de crescimento.

HARRIS (1977) mostrou que a massa específica em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude e, COWN (1974b) encontrou uma variação de 30% na massa específica em *Pinus radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia.

BARROS (1974) estudando a relação entre os fatores edafo-climáticos e do relevo em plantações de *Eucalyptus alba* no estado de Minas Gerais, coletou amostras deformadas de solo dos horizontes A e até 0,50 m aproximadamente do horizonte B, considerando que a maior porcentagem de raízes está nessa profundidade. Relacionando o relevo com o crescimento, mencionou que, de modo geral, o crescimento reduz-se com o aumento da declividade.

COILE (1952) mencionou que a topografia do terreno, o grau e a extensão da declividade, influem no movimento da água superficial e subterrânea, e que declividades suaves tem um maior potencial de abastecimento de água do que fortes declividades, com a mesma precipitação.

Em um estudo sobre a variação nas características de crescimento de *Pinus densiflora*, KIM e HAN (1997), encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura dos plantios e a latitude. Porém, também foi observada correlação negativa entre o crescimento em altura e a longitude.

2.3.4 Competição

A competição por água e nutrientes é um fator importante no crescimento das plantas que, de maneira geral, correlaciona-se negativamente com este (NAMBIAR ; SANDS, 1993).

NAMBIAR e SANDS (1993), estudando a competição por água e nutrientes nos solos florestais, observaram que esta competição pode resultar em redução de

crescimento das espécies coníferas.

Em decorrência de só parte do volume do solo ser explorado pelas raízes de plantas, a competição por água e nutrientes entre espécies florestais e outras vegetações (ervas-daninhas) pode ser muito alta em certas circunstâncias (LOWERY et al., 1993; NAMBIAR ; SANDS, 1993).

MARCHI et al. (1995), observaram em uma área infestada por *Panicum maximum* no Brasil, uma redução contínua no crescimento e um aumento da mortalidade de *Eucalyptus grandis* com o aumento do período de competição.

2.4 QUALIDADE DA MADEIRA

O conceito da qualidade da madeira, que evoluiu ao longo dos tempos, é hoje encarado como um conceito dinâmico que integra o conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que conferem aptidão à madeira para determinado uso final (BIRKLAND, 1990).

A madeira é um material biológico onde a variabilidade constitui uma das características principais, ao contrário da maioria dos materiais de origem não biológica. Esta variabilidade, que resulta do processo normal de formação do lenho, existe entre árvores de diferentes espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro da própria árvore. Em sentido lato, é ela que proporciona a grande diversidade de utilizações da madeira e torna possível escolher entre as várias espécies aquela que melhor satisfaz as exigências de cada uso final. No entanto, esta mesma variabilidade, quando encarada ao nível individual ou dentro da mesma espécie, representa um inconveniente da madeira como material (BIRKLAND, 1990).

A variabilidade da madeira ocorre de diferenças estruturais desde a ultraestrutura da parede celular, a geográficas, sendo que a fonte de variação que ocorre dentro da árvore talvez seja a mais significativa (COWN, 1974b).

A madeira é produzida num ciclo anual por uma camada de tecido regenerativo cambial, que se situa interior à casca e, envolve completamente o tronco, galhos e raízes da árvore. Desta forma, durante cada estação de crescimento, uma nova camada de tecido lenhoso é sobreposta à madeira existente.

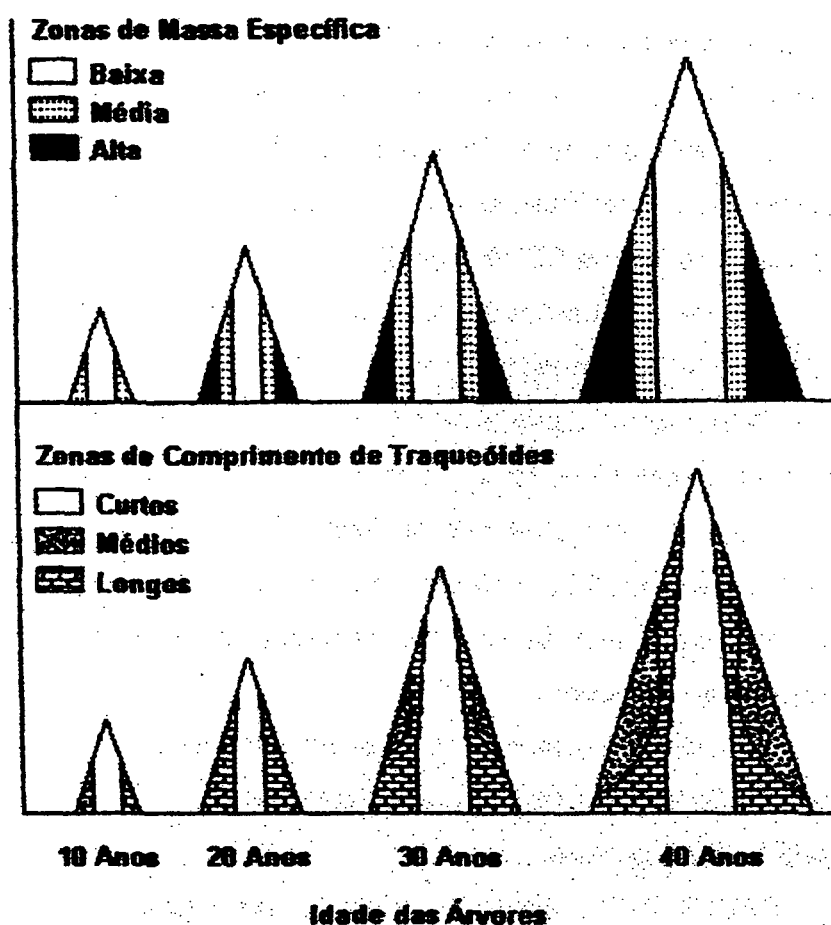
As diferenças existentes entre as espécies, a variação das características anatômicas, das propriedades físicas e mecânicas dentro de um mesmo indivíduo,

são há muito tempo conhecidas e pesquisadas.

SANIO² citado por KLOCK (2000), descreveu originalmente o padrão de variação do comprimento de traqueídeos de *Pinus sylvestris* a sucessivos anéis de crescimento, da medula para o exterior do tronco, observando que a qualquer nível do tronco, o comprimento dos traqueídeos gradualmente aumenta, até tornar-se constante.

A figura 1, adaptada de COWN (1980), ilustra de modo geral as tendências de variação da massa específica e comprimento de traqueídeos na madeira de *Pinus radiata*. Essas tendências foram observadas também por MUÑIZ (1993), em árvores com 30 anos, de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, plantadas no sul do Brasil.

FIGURA 1 – ZONAS DE VARIAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA EM ÁRVORES DE *Pinus radiata* (Adaptado de COWN, 1980).



² SANIO, K. Verber die Grosse der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*). *Jahrb. Wiss. Bot.*, v. 8, p. 401-420, 1872.

Para se obter um entendimento das propriedades da madeira e seu comportamento, torna-se necessário o estudo da anatomia da madeira, a ultraestrutura da parede celular e suas variações. As propriedades da madeira e de produtos a base de madeira estão fortemente correlacionadas com a estrutura anatômica desta (ZOBEL; WEBB; HENSON, 1959; DINWOODIE, 1965).

O principal objetivo da investigação anatômica, segundo HUGHES (1973), é verificar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso. Por exemplo, as dimensões das fibras são indicações importantes do potencial de uma espécie de madeira, para a fabricação de papel com propriedades específicas.

Estudos comprovam a existência de estreita correlação entre volume de fibras, massa específica e resistência mecânica em dicotiledôneas, sendo os elementos celulares (fibras libriformes e fibrotraqueóides) os mais importantes em relação à resistência mecânica.

Vários estudos desta natureza foram realizados, sendo um dos primeiros o de BAKER e SMITH (1924), na Austrália, realizado com *Eucalyptus* spp na verificação da possibilidade de seu emprego como matéria-prima para a fabricação de papel. Muitos outros trabalhos se seguiram, como os realizados por DADSWELL (1939, 1958), WARDROP (1951), entre outros.

A variação das propriedades em função da idade da madeira e sua posição na árvore, deve ser levada em consideração nos estudos de qualidade da madeira, de acordo com DADSWELL e NICHOLLS (1960), BURLEY (1969), BENDTSEN e SENFT (1986), KLOCK (1989), entre outros, que quantificaram de acordo com a idade da madeira, a variação do comprimento de traqueídeos, da massa específica, da porcentagem de lenho tardio e do ângulo fibrilar. Também BISSET e DADSWELL (1950), anteriormente, constataram estas variações para o comprimento de fibras, da massa específica e de diâmetro de vasos, para o eucalipto. DUFFIELD (1961), afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira, e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleto, devido à multiplicidade e interação das causas de variação dentro das mesmas.

As causas são classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e pela posição no tronco. As variações são classificadas em dois grupos: fatores internos (inerentes à árvore) e fatores externos (inerentes ao

ambiente e técnicas silviculturais).

As características da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e as condições ambientais. No que diz respeito ao ambiente, a influência de alguns de seus fatores sobre as propriedades da madeira tem sido alvo de muitas avaliações. Entre as principais características da madeira que são afetadas por estas interações, destacam-se as porcentagens de lenhos nas coníferas, massa específica básica, características morfológicas das fibras, composição química e teores de madeira juvenil e adulta (BRITO, 1983).

ZOBEL e RHODES (1965), citam a influência genética nas propriedades da madeira, e vários outros, entre eles JACKSON e MORSE (1965), NICHOLLS (1971), KLOCK (1989), MUÑIZ (1993) e LARA PALMA (1994), observaram a variação das propriedades da madeira de acordo com a posição no tronco. Para as coníferas, a massa específica básica aumenta da medula para a casca, acontecendo o mesmo com o comprimento dos traqueídeos.

Muitos trabalhos sobre a relação da variação das características anatômicas com o ambiente e sua influência na qualidade da madeira foram desenvolvidos. CARLQUIST (1975), analisou as variações ecológicas em dimensões de células constituinte da madeira; HARRIS (1977), mostrou que a massa específica em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude e COWN (1974b), encontrou uma variação de 30% na massa específica em *Pinus radiata*, devido a efeitos de latitude na Nova Zelândia.

A influência das técnicas silviculturais na qualidade da madeira, foi estudada por muitos pesquisadores, tais como: FIELDING (1967), NICHOLLS (1971), COWN (1974b), RUDMAN e MCKINNELL (1975), OHTA (1981), entre outros. Entre os fatores estudados estão a poda, desbaste, fertilização, irrigação e espaçamento. De maneira geral, há consenso de que o tratamento silvicultural intensivo pode afetar a qualidade da madeira.

FUJIWARA e YANG (2000), por exemplo, observaram em *Pinus banksiana*, *Picea Mariana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*, correlação entre o comprimento e a espessura da parede celular dos traqueídeos com a taxa de crescimento em circunferência, sendo a relação negativa. Os autores concluíram que, a taxa de crescimento em circunferência é um bom indicador do efeito do crescimento da árvore no comprimento das células da madeira em coníferas e desta forma técnicas

silviculturais como o desbaste e fertilização podem influir na variação do comprimento dos traqueídeos em coníferas.

Atualmente no Brasil, devido à necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, especialmente as de rápido crescimento, há intensificação no estudo da qualidade da madeira dando ênfase a pesquisas sobre massa específica, orientação da grã, comprimento de fibras, resistência mecânica e sobre características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos, para a correta utilização das mesmas. MORESCHI (1976), FOELKEL (1976a), BARRICHELLO e BRITO (1978), BARRICHELLO (1979), TOMASELLI (1980), TOMASELLI e CASTRO (1980), PEREIRA (1982, 1992), DURLO (1988), KLOCK (1989), STUMP (1992), MUÑIZ (1993), LARA PALMA (1994), LUCAS FILHO (1997), BORTOLETTO JÚNIOR (1993, 1999), SANTINI, HASELEIN e GATTO (2000), entre outros, estudaram as propriedades anatômicas, químicas, físicas, mecânicas e da celulose das espécies do gênero *Pinus* plantadas em várias regiões do país, com idades diversas, comparando em alguns estudos com a madeira de *Araucaria angustifolia*, contribuindo de forma importante para o estabelecimento da qualidade da madeira dessas espécies nas condições brasileiras.

IWAKIRI (1989) estudou a influência de variáveis de processamento sobre as propriedades de chapas de partículas da madeira de *Pinus* spp; PEREIRA (1992), estudou a formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*; MATSUNAGA (1995), avaliou a utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada à construção de vigas laminadas coladas; enquanto MATOS (1997), estudou a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.

Os primeiros estudos comparando tecnologicamente as espécies do gênero *Pinus* de rápido crescimento em condições brasileiras, foram conduzidos por MORESCHI (1976), FOELKEL (1976a), BARRICHELLO e BRITO (1978), BARRICHELLO (1979) e TOMASELLI e CASTRO (1980), para relacionar a qualidade da madeira com a produção de celulose e propriedades do papel.

TOMASELLI (1980), por exemplo, correlacionando a madeira de *Araucaria angustifolia* com a madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* de reflorestamentos de 18 anos, concluiu que a massa específica básica para as três espécies era a mesma, e que para os *Pinus* foram encontradas grandes diferenças na resistência à flexão

entre madeira juvenil e madeira adulta, o que não ocorreu com a *Araucaria angustifolia*. Já para a madeira adulta das três espécies, nenhuma diferença foi encontrada, tendo sido considerados os valores obtidos para as espécies até certo ponto surpreendentes. Também, KLOCK (1989), em estudo da qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, de 14 e 20 anos, concluiu que existe diferença significativa entre a madeira adulta e juvenil em todas as propriedades estudadas.

SANTINI, HASELEIN e GATTO (2000), estudando as propriedades físicas e mecânicas de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* com 13 anos e *Araucaria angustifolia* com 19 anos, não encontraram diferenças significativas na massa específica básica e nas contrações da madeira entre as espécies, e embora os valores nominais das propriedades da madeira de *Araucaria angustifolia* fossem superiores, apenas o módulo de elasticidade em flexão estática, compressão axial e dureza axial foram estatisticamente diferentes, sendo que, entre as duas espécies de *Pinus*, não houve diferença estatística.

2.5 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA AFETADAS PELO MEIO

2.5.1 Formação da Madeira

A formação da madeira e suas características dependem da atividade cambial e da diferenciação dos xilemas. Estes, por sua vez, são controlados pela produção de hormônios nas gemas foliares. Os hormônios sintetizados na copa são transportados para o câmbio através do floema, onde se inicia, então, a diferenciação do xilema. Uma mudança nas condições ambientais irá influenciar diretamente a atividade da copa, aumentando a superfície das folhas e, conseqüentemente, a produção de hormônios (SIDDIQUI, 1972). A maior quantidade de hormônios resultará numa aceleração do ritmo de crescimento da planta e, portanto, num maior incremento do tronco (CLEVELAND; WOOTEN; SAUCIER, 1974).

2.5.2 Porcentagem de Lenhos

O lenho inicial se caracteriza por apresentar fibras mais curtas, com paredes finas, diâmetro do lúmen grande, menor porcentagem de holocelulose e maior de lignina. O lenho tardio apresenta características contrárias às do inicial. A formação diferenciada desses lenhos é resultado das alterações de condições fisiológicas internas da árvore, em geral, reflexo de variações ambientais ocorridas nas diversas estações de crescimento a que está submetida (KRAMER ; KOZLOWKI, 1960).

Em árvores de ritmo de crescimento acelerado, a formação de fibras de lenho tardio e suas espessuras de parede podem ser limitadas, sendo formado primeiramente, o lenho inicial por completo, aumentando sua porcentagem em relação ao tardio (SMITH ; WISLIE, 1961; KLEM, 1968; BRAZIER, 1976).

2.5.3 Massa Específica Básica

A massa específica básica tem se destacado como o parâmetro mais intensamente pesquisado na caracterização da madeira. Sua variação pode ocorrer entre gêneros, entre espécies do mesmo gênero e árvores de uma mesma espécie (BARRICHELO, 1983), sendo considerada uma propriedade complexa, resultado de combinação de elementos anatômicos e químicos da madeira (SHIMOYAMA ; BARRICHELO, 1991). As influências mais significativas são exercidas pelo comprimento e largura das fibras, proporção dos lenhos inicial e tardio, quantidade e composição de extrativos (BARRICHELO, 1979). A importância da massa específica básica no processo produtivo está ligada à obtenção de celulose em termos de rendimento por unidade de volume, bem como, com a influência no ritmo de deslignificação da madeira (FOELKEL, 1976b).

O meio físico onde as árvores crescem pode exercer influência sobre a massa específica. Estas alterações podem ser motivadas por fatores de crescimento como o clima, tipo de solo, altitude, umidade do solo, espaçamento e associação de espécies. Podem ainda ser motivados por aplicação de técnicas silviculturais como a adubação, poda, desbaste, densidade do povoamento, entre outros (ZOBEL; WEBB; HENSON, 1959; KOLLMANN ; CÔTÉ, 1968; BUIJTENEN, 1969; ELLIOTT, 1970; OHTA, 1981; PEREIRA, 1982).

Vários trabalhos mostram alta correlação entre massa específica da madeira e porcentagens de lenho tardio e inicial. O lenho tardio é correlacionado positivamente com a massa específica (BARRICHELO ; BRITO, 1978; BARRICHELO, 1979), o contrário ocorrendo com o lenho inicial.

Em geral, as árvores têm como resposta ao aumento no ritmo de crescimento, um aumento na porcentagem de lenho inicial, em conseqüência, um decréscimo na massa específica básica (SIDDIQUI, 1970; SIDDIQUI, 1972; BRITO, 1983).

2.5.4 Características Morfológicas das Fibras

As dimensões das fibras (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen), representam diversos estágios do seu desenvolvimento, que são controlados por diferentes processos fisiológicos (SIDDIQUI, 1972).

O comprimento das fibras é influenciado, principalmente, pela taxa de divisões transversais no câmbio, e a freqüência de divisões varia com a espécie, fatores ambientais e ritmo de crescimento (NICHOLS, 1971).

O elevado ritmo de crescimento provoca rápidas divisões transversais das células cambiais iniciais, impedindo o desenvolvimento total das mesmas em comprimento. Dessa maneira, o comprimento das fibras diminui em conseqüência deste ritmo de crescimento (SANTOS; MALAVOLTA; HAAG, 1967; NICHOLS, 1971).

Assim como, para o comprimento, verifica-se também uma redução na espessura das paredes das fibras, já que as rápidas divisões não permitem o espessamento das mesmas (SANTOS; MALAVOLTA; HAAG, 1967).

Resultados muito contraditórios são encontrados para a variação da largura e do diâmetro do lúmen das fibras em função do aumento no ritmo de crescimento. Alguns autores verificam um aumento na largura da fibra e outros dizem não haver alteração. Se a largura da fibra aumenta ou permanece constante, o diâmetro do lúmen se apresentará maior, uma vez que a espessura da parede diminui (SANTOS; MALAVOLTA; HAAG, 1967).

2.5.5 Composição Química

Os principais componentes químicos da madeira são: celulose, polioses (ou hemiceluloses), lignina, extrativos e compostos inorgânicos (FENGEL ; WEGENER, 1989).

A parede das fibras é composta de grande número de substâncias poliméricas, sendo as principais a celulose, a hemicelulose e a lignina. Estão presentes, também, outras substâncias como polifenóis, amido e pectina. Algumas dessas substâncias estão presentes, também, na lamela média, principalmente a lignina (SIDDIQUI, 1972).

Não se conhece a maneira pela a qual esses compostos são associados ao nível molecular dentro da parede celular, mas sabe-se que a holocelulose é formada durante o período de desenvolvimento da parede celular, e a lignina aparece na parede após algum grau de formação da mesma (SIDDIQUI, 1972).

Poucos estudos têm tratado do efeito do ritmo de crescimento na composição química da madeira. Em geral, mostram uma redução no teor de celulose (ARIMA, 1966) e de extrativos (KLEM, 1968) e aumento no teor de lignina (ARIMA, 1966; SIDDIQUI, 1972) em consequência da elevação no ritmo de crescimento, devido às diferentes condições ambientais.

2.5.6 Madeira Juvenil

Um efeito indesejável do ritmo de crescimento acelerado sobre a madeira é o prolongamento da formação de madeira juvenil, o que compromete a qualidade da celulose (BAULE ; FRICKER, 1970; HARRIS, 1966).

A madeira juvenil em uma árvore é aquela que está compreendida dentro dos primeiros anéis anuais de crescimento do indivíduo, ou aqueles que estão mais próximos da medula deste. Muitos autores como PANSWIN e ZEEUW (1970), JANKOWSKY (1979), BENDTSEN (1978), KELLINSON (1981), entre outros, indicam que a madeira juvenil é o “xilema secundário produzido pelas regiões cambiais que são influenciadas pela atividade dos meristemas apicais”.

Em geral, a madeira juvenil se apresenta de forma mais pronunciada em coníferas do que em folhosas, podendo existir uma mudança abrupta ou ocorrer uma

transição paulatina entre as madeiras juvenil e adulta. No caso de espécies do gênero *Pinus*, parece ajustar-se melhor à segunda alternativa (COWN, 1980).

A madeira juvenil é importante em coníferas de rápido crescimento, podendo ocupar grande parte do volume dos fustes delgados em indivíduos cultivados em rotações curtas. No caso de *Pinus taeda*, estima-se que em uma árvore de 15 anos de idade, 40% da madeira é constituída por madeira juvenil, aos 40 anos de idade, cerca de 25% (TSOUMIS, 1991).

As propriedades da madeira juvenil diferem completamente da madeira adulta. As células da madeira juvenil são geralmente mais curtas, com paredes mais delgadas e a madeira é de massa específica menor. Além disso, MOORE e EFFLAND (1974), comprovaram que ocorrem variações químicas entre madeira juvenil e adulta, sendo que a primeira apresenta-se com menores teores de holocelulose e maiores teores de lignina e extrativos.

FOELKEL (1976b) constatou que a madeira juvenil produz celuloses com menores rendimentos e resistência ao rasgo, e maiores resistências à tração e ao arrebatamento, além de maior peso específico aparente.

2.5.7 Características da Celulose

O rendimento em celulose está associado à composição química da madeira, e a qualidade da celulose aos fatores anatômicos, como comprimento e espessura das paredes das fibras (NICHOLS, 1971).

O lenho tardio apresenta, em geral, rendimento superior em celulose devido à maior espessura das paredes das fibras em relação ao lenho inicial. Se o ritmo de crescimento acelerado promove um aumento no teor de lenho inicial, espera-se uma diminuição no rendimento em celulose. No entanto, a maioria dos autores que realizaram estudos sobre o assunto, salientam que este, permanece inalterado (SIDDIQUI, 1970; SIDDIQUI, 1972).

As madeiras com maiores teores de lenho inicial ou de ritmo de crescimento acelerado, estão propensas a produzirem polpas com menores valores para viscosidade em função do menor grau de polimerização dos carboidratos segundo PANSIN e ZEEUW (1970); da mesma forma estão propensas a apresentarem menores valores numéricos de rendimentos do processo de deslignificação em

função do menor teor de holocelulose, segundo WAKELEY (1969).

A celulose proveniente de coníferas mostra uma maior resistência ao rasgo e, aquela proveniente de folhosas uma alta resistência à tração e ao arrebentamento e um maior rendimento em celulose, segundo IPT (1988).

2.6 PRINCIPAIS INTERAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E O RENDIMENTO E QUALIDADE DA CELULOSE

Inúmeros trabalhos indicam a possibilidade de se prever propriedades da polpa celulósica e/ou papel através da análise das características da madeira ou de seus elementos *anatômicos* (SILVA JÚNIOR ; BRAGA, 1997; GOODWIN-BALEY, 1989).

A qualidade da polpa celulósica é altamente dependente dos aspectos químicos, anatômicos e físicos da matéria-prima. Dentre os principais parâmetros para a caracterização da madeira destacam-se sua massa específica básica, as características morfológicas das fibras, parênquima e vasos, bem como os teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos (BARRICHELO, 1983). BIRKLAND (1990), define como principais parâmetros da madeira para se estabelecer uma correlação entre a qualidade da madeira e a qualidade da polpa celulósica, as características morfológicas das fibras e a massa específica básica da madeira.

O rendimento em celulose, segundo FOELKEL e BARRICHELO (1975), pode ser gravimétrico ou volumétrico. No primeiro caso, é expresso como a relação porcentual entre a quantidade de celulose produzida e a quantidade de madeira empregada, ambas expressas em termos de peso absolutamente seco. O rendimento volumétrico pode ser expresso de diversas maneiras, destacando-se entre elas, a quantidade de celulose produzida, expressa em peso absolutamente seco, por metro cúbico de madeira empregada ou por metro cúbico de digestor.

A massa específica básica tem sua principal influência no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da celulose. Geralmente, as folhosas são mais densas que as coníferas. Com o aumento da massa específica, dentro de uma mesma espécie vegetal, normalmente aumenta a espessura da parede celular, diminuem as resistências à tração e arrebentamento e maior resistência ao rasgo (DINWOODIE, 1965).

A massa específica básica da madeira, de uma forma geral, apresenta boa correlação com a espessura da fibra, ou seja, madeiras de alta massa específica básica tendem a apresentar fibras com paredes espessas (SILVA JÚNIOR; VALLE; MUNER, 1996).

Apesar da maioria dos pesquisadores acreditar ser indiscutível a correlação positiva entre massa específica e rendimento em celulose, ainda subsistem algumas dúvidas, pelo fato das experiências abrangerem, neste particular, um número restrito de coníferas (BARRICHELO, 1979).

Trabalho realizado por COLE, ZOBEL e ROBERTS (1966), utilizando madeiras de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus palustris*, mostrou que árvores com alta massa específica forneceram rendimentos ligeiramente superiores, quando comparados com árvores de baixa massa específica, sendo os mesmos baseados no peso seco dos cavacos. Quando o rendimento foi computado em bases volumétricas, árvores com alta massa específica deram rendimentos em celulose marcadamente superiores.

ZOBEL, THORJORSEN e HENSON (1960), encontraram pequena correlação entre massa específica e rendimento em celulose, quando este foi calculado em termos de peso seco da madeira.

Porém, ZOBEL, JETT e HUTTO (1978), afirmaram que, geralmente, o rendimento em celulose está intimamente relacionado com a massa específica da madeira, mas uma progênie de alta massa específica pode fornecer um rendimento bem maior do que aquele que sua massa específica pudesse indicar. Tais resultados são ocasionalmente obtidos, confirmando que fatores outros, além da massa específica, afetam o rendimento e mesmo a qualidade da celulose.

PALMER e GIBBS (1973), trabalhando com *Pinus caribaea*, da Jamaica, observaram que madeiras com alta massa específica forneceram um maior rendimento em celulose, o mesmo ocorrendo para o *Pinus taeda*, conforme relatado por BLAIR, ZOBEL e BARKER (1975), com material colhido no sul dos Estados Unidos.

BARRICHELO e BRITO (1978), ressaltam que o conhecimento da massa específica básica e o rendimento do processo permitem prever o consumo de madeira por tonelada de celulose a ser produzida e, por conseguinte, a área a ser reflorestada para o abastecimento de uma indústria.

O rendimento do processo de polpação apresenta correlação com a massa específica básica e o teor de lignina da madeira. De uma forma geral, o aumento da massa específica básica tem como consequência, a redução do rendimento depurado. Esta observação pode ter sua explicação no fato de que madeiras com massa específica básica elevada tendem a apresentar fibras mais espessas, menor volume de tecido parenquimático e ainda menor frequência de vasos que muitas vezes podem estar obliterados por tilos. Estas características implicam em maior dificuldade de penetração do licor de cozimento nos cavacos, dificultando assim um cozimento uniforme, que traz como resultado uma polpa com alto teor de rejeitos, contribuindo para redução do rendimento (SILVA JÚNIOR; VALLE; MULLE, 1996).

Geralmente, as folhosas contêm maior porcentagem de celulose e hemiceluloses, enquanto que as coníferas possuem maior teor de lignina. Como consequência, as folhosas fornecem maior rendimento em celulose, enquanto que as coníferas requerem condições mais drásticas de cozimento para se obter uma polpa com determinado grau de deslignificação (IPT, 1988; FENGEL ; WEGENER, 1989; DUEÑAS, 1997). Quanto aos extrativos e minerais, dentro dos teores normais de ocorrência, não chegam a causar problemas graves dentro do processo Kraft, pelo fato da maioria deles serem solúveis no licor de cozimento. Teores elevados são prejudiciais pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação da madeira e podem dificultar a depuração e branqueamento da polpa (FENGEL ; WEGENER, 1989).

A par da preocupação com o rendimento, observa-se um interesse muito grande nos estudos relacionados com a qualidade da celulose, em termos de suas características de resistência. Tratando-se de coníferas utilizadas na produção de celulose Kraft, entre as resistências físico-mecânicas, destacam-se: resistência à tração, expressa em termos de auto-ruptura, em metros, resistência ao arrebentamento, expressa como índice de arrebentamento, e resistência ao rasgo, expressa como índice de rasgo, segundo a norma T220os-71, da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). Em segundo lugar, outras propriedades da celulose são importantes, destacando-se entre elas, o peso específico aparente, volume específico aparente e propriedades superficiais, como lisura e printabilidade (BARRICHELO, 1979).

Neste particular, a influência da massa específica da madeira sobre as

características da celulose é menos controversa do que para o rendimento. Com raras exceções, os autores consultados são unânimes em reconhecer que madeira de mais alta massa específica produz celulose com maior resistência ao rasgo, menor resistência à tração e ao arrebentamento, menor peso específico e menor volume específico (BARRICHELO, 1979).

Madeira de *Pinus taeda*, de diferentes massas específicas, foi utilizada por BYRD (1965), tendo este autor encontrado correlações negativas deste parâmetro com as resistências à tração e ao arrebentamento, e positivas com a resistência ao rasgo e peso específico aparente da celulose.

Resultados semelhantes foram relatados por BUIJTENEN (1969), que observou que a redução da massa específica da madeira se traduziu por um aumento nas resistências à tração e ao arrebentamento e redução na resistência ao rasgo.

UPRICHARD (1970) trabalhando com madeira de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, concluiu que, no geral, a resistência ao rasgo e o volume específico aparente aumentam com a massa específica, enquanto que as resistências à tração e ao arrebentamento diminuem com o aumento da massa específica.

Contrariando estes fatos, COLE, ZOBEL e ROBERTS (1966), observaram que a resistência ao rasgo parecia ser independente da massa específica, quando produziram celulose de madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus palustris*.

WORRAL et al. (1978), observando as propriedades da celulose kraft de *Pinus caribaea* e suas relações com a massa específica da madeira, somente a resistência ao rasgo se mostrou correlacionada.

Em alguns casos, como o relatado por BAREFOOT e HITCHINGS (1971), o rendimento total não pode ser explicado pelas variações da massa específica ou parâmetros relacionados com a mesma, como é o caso da espessura das paredes dos traqueídeos. Para processos de alto rendimento, a porcentagem de lenho tardio responde por cerca de 45% da variação do rendimento.

MITCHELL (1956) concluiu que quanto maior for a proporção de lenho tardio em relação ao lenho inicial, dentro de cada anel de crescimento, maior é o rendimento em celulose.

BYRD (1965), GLADSTONE, BAREFOOT e ZOBEL (1970) e GLADSTONE e IFJU (1974), estudando a celulose produzida a partir da madeira de lenho inicial e

tardio de *Pinus taeda*, observaram um maior rendimento para lenho tardio. Na madeira, o lenho tardio se caracterizou por apresentar menor teor de lignina e maior teor de holocelulose.

Um dos fatores que regem a penetração do licor de cozimento no interior dos cavacos é exatamente a porcentagem de espaços vazios. Segundo FOELKEL (1976b) a madeira do lenho inicial é mais facilmente penetrada que a do lenho tardio, pois possui maior lúmen e maior número de pontuações. O mais importante fator a regular a penetração em coníferas, de acordo com o mesmo autor, é o número e as dimensões das pontuações. Com base nessas observações pode levantar-se a hipótese de que as madeiras de crescimento mais rápido estariam mais aptas a favorecer a penetração dos agentes de deslignificação.

SMITH e BYRD (1972), trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que, embora as fibras do lenho tardio sejam três vezes mais resistentes que aquelas do lenho inicial, elas formam folhas volumosas e fracas, enquanto que fibras do lenho inicial produzem folhas de alta resistência. Esta diferença básica no comportamento das fibras dos diferentes lenhos, responde pela maioria das diferenças nas propriedades da celulose. De fato, devido ao colapso que sofrem e grande flexibilidade, as fibras do lenho inicial tendem a se compactar mais que as fibras do lenho tardio, resultando numa área de maior contato e cruzamento de fibras que aquelas menos flexíveis do lenho tardio.

As dimensões das fibras são características da madeira que apresentam forte correlação tanto com a massa específica básica como com as características da polpa celulósica e/ou papel. Considerando-se as espécies de pinus tradicionalmente utilizadas para produção de celulose no Brasil, a espessura da parede, bem como o diâmetro da fibra, estão entre as características morfológicas que apresentam forte influência sobre a eficiência de produção de papel bem como as características do mesmo (SILVA JÚNIOR; VALLE; MUNER, 1996).

BAREFOOT, HITCHINGS e ELLWOOD (1964), trabalhando com *Pinus taeda*, observaram que com exceção do rendimento, pelo menos 93% da variação das propriedades do papel pode ser atribuída à morfologia das fibras. Sobre as dimensões das fibras, a espessura da parede dos traqueídeos do lenho tardio, foi o melhor parâmetro para se prever as propriedades do papel e responderam por, pelo menos, 74% da variação total. Entre as relações das fibras, o índice de Runkel foi o

melhor parâmetro e respondeu por até 58% da variação total das resistências ensaiadas. Concluíram, ainda, que aquelas características que eram associadas com a massa específica da madeira foram predominantes na determinação das propriedades do papel.

BAREFOOT, HITCHINGS e ELLWOOD (1966), trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que os resultados obtidos mostravam que as propriedades da madeira e papel estavam fortemente correlacionadas com as características morfológicas e físicas da madeira. De 60 a 95% da variação total no tempo de moagem, peso específico aparente, resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, estavam correlacionadas com as dimensões das fibras do lenho tardio. A espessura das paredes das fibras do lenho tardio foi a mais importante delas, mas, algumas vezes, o comprimento das fibras um segundo fator de correlação.

CLARKE e WESSELS (1995), enfatizam a importância de associar as características químicas da madeira com a polpa, considerando que o processo de obtenção da mesma é essencialmente químico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

As amostras de madeira estudadas neste trabalho foram obtidas de árvores de *Pinus taeda*, provenientes de plantios com 12 anos de idade, localizados na Cia Klabin do Paraná de Celulose S/A, em Telêmaco Borba-PR, a 24° 08' latitude sul e 50° 30' longitude oeste, com altitude de 750 a 868 m.

O clima da região segundo a classificação Köppen, é Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional, para temperado propriamente dito, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16° C, com ocorrência de geada, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C. A precipitação média anual é 1490 mm, com excedente hídrico de 557 mm/ano, distribuído em todos os meses do ano.

O material de origem da região é predominantemente relacionado ao intemperismo e retrabalhamento de litologias referentes às formações Rio Bonito, Itararé e Diques de Diabásio.

A cobertura vegetal primitiva era representada pelo contato estepe/floresta, sendo 51% formação florestal e 49% formação campo.

3.2 AMOSTRAGEM

Foram analisados oito sítios, com árvores de 12 anos de idade. Estes sítios foram selecionados pelo tipo de solo (latossolo e cambissolo), pela textura do solo (argilosa e média) e pela vegetação primária (campo e floresta), com base no levantamento e mapeamento de solos existente nas áreas de plantio da Cia Klabin (quad. 1).

Devido à dificuldade de obter medidas fidedignas em relação aos atributos do solo, já que este é apenas um fator no complexo "sítio", todos demais fatores do sítio que influenciam no crescimento (práticas silviculturais, data de plantio, espaçamento, espécie estudada) foram cuidadosamente controlados para se manterem constantes ou aproximadamente constantes.

QUADRO 1 – SÍTIOS SELECIONADOS PARA ESTE ESTUDO

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta

Nenhum dos sítios selecionados foi submetido a qualquer tipo de fertilização, a única intervenção que sofreram foram dois desbastes, com o último acontecendo quando o plantio possuía onze anos de idade.

3.2.1 Amostragem do Solo

Em cada sítio de estudo foram realizadas tradagens com a finalidade de escolher um perfil modal representativo.

Foram realizadas as descrições morfológicas (citadas nos Anexos 1 a 8) e as coletas de amostras de três horizontes: 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, com três repetições, sendo coletadas amostras indeformadas (através de anéis volumétricos) e amostras compostas.

As amostras indeformadas foram utilizadas para determinar os atributos físicos do solo: densidade global, porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água e a curva de retenção de umidade, nas tensões de 0,006; 0,01; 0,1; 0,3 e 1,5 MPa, através da Mesa de Tensão e do Extrator de Richards, seguindo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

As amostras compostas foram utilizadas para determinar os atributos químicos do solo: macronutrientes, capacidade de troca de cátions, matéria-orgânica; e as análises granulométricas, seguindo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

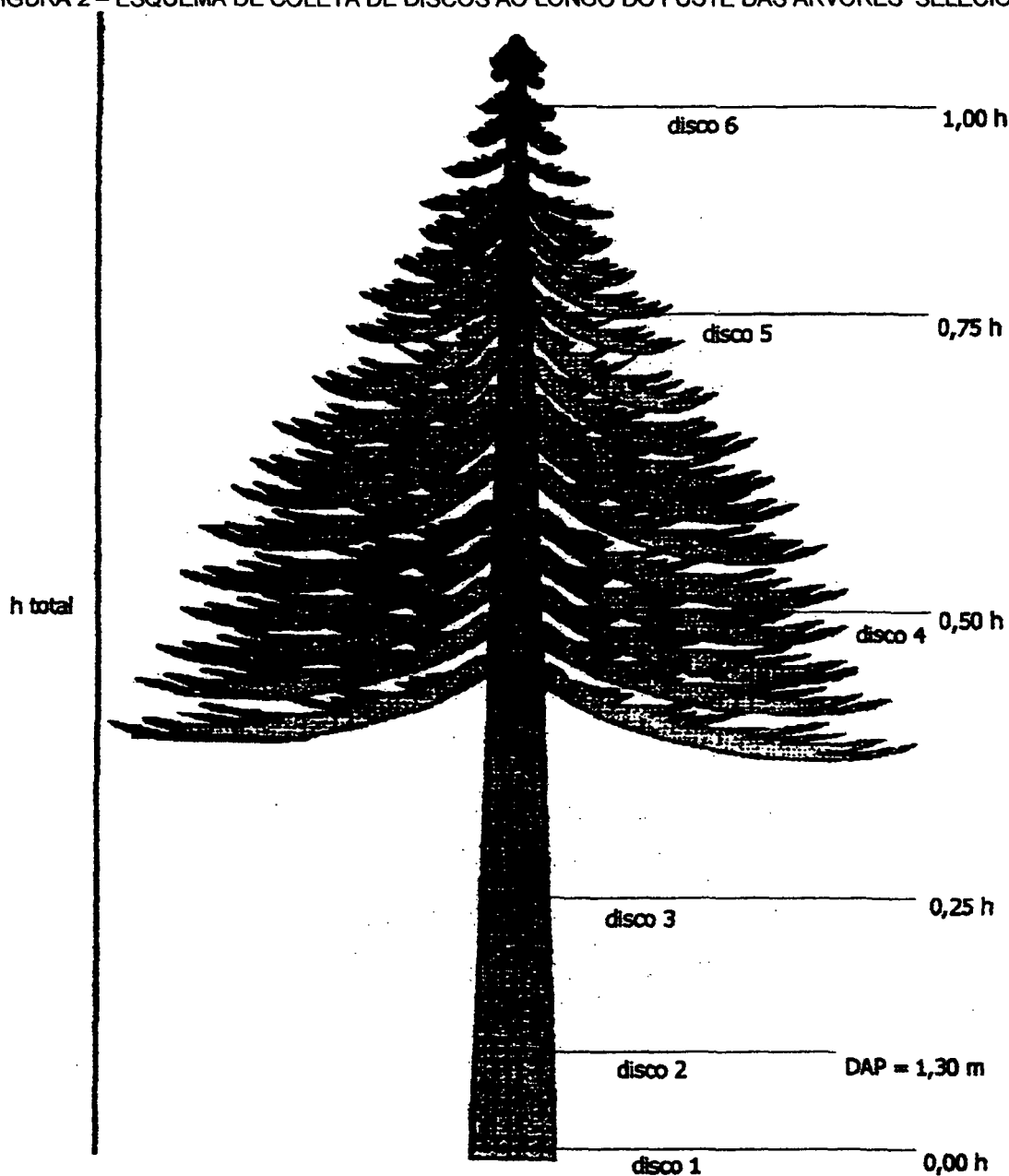
3.2.2 Amostragem das Árvores

Para a seleção das árvores que seriam analisadas em cada sítio, foram realizadas avaliações dendrométricas, altura e DAP de 50 árvores por sítio e, a partir

De cada árvore selecionada foram anotadas altura total, altura comercial e diâmetro à altura do peito (DAP). A partir dessas árvores foram retirados discos de 5 cm nas seguintes posições (fig. 2):

- base (altura do corte);
- diâmetro a altura do peito (1,30 m do solo);
- 25% da altura comercial;
- 50% da altura comercial;
- 75% da altura comercial;
- 100 % da altura comercial (diâmetro de 8 cm).

FIGURA 2 – ESQUEMA DE COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES SELECIONADAS



Também foram coletadas amostras de acículas do terço médio da copa de cada árvore, do lançamento do ano anterior, para realização das análises de estado nutricional.

Em laboratório, foi medido em sentido perpendicular o diâmetro com casca, os dados anotados em fichas próprias, juntamente com o comprimento da respectiva seção, e utilizados para cálculo em planilha eletrônica, do volume com casca por árvore amostrada.

A partir deste material foram analisadas as seguintes variáveis quanto à qualidade da madeira: massa específica básica, características morfológicas dos traqueídeos e composição química; e, quanto à produção de celulose: o rendimento bruto, o rendimento depurado, o número *Kappa* e a porcentagem de rejeitos da celulose Kraft produzida.

A determinação da massa específica básica (relação entre massa seca em estufa e o volume no estado completamente saturado), foi realizada com os discos sem casca, coletados nas posições já mencionadas, ao longo do fuste de cada árvore. A determinação do volume foi feita pelo método de pesagem. Os discos foram colocados em água para saturação, facilitando desta maneira a obtenção do volume. Após a determinação do volume, os discos foram colocados em estufa com temperatura de 103 +/- 2°C para secagem até peso constante, obtendo-se o peso completamente seco.

Sendo calculada utilizando-se a expressão:

$$\rho_b = Ms / Vu$$

Onde:

ρ_b = massa específica básica (g/cm³);

Ms = massa do disco seco em estufa a 103 +/- 2°C (g);

Vu = volume do disco em estado saturado (cm³).

Para o cálculo da massa específica básica média da árvore, ponderou-se a massa específica ao longo do fuste, uma vez que cada disco representa um valor correspondente a uma maior ou menor porção do volume total da árvore, dependendo de sua localização.

Para a determinação das características morfológicas dos traqueídeos, foi feita uma amostra composta de todos os discos, a diferentes alturas, de cada árvore. As amostras compostas foram identificadas e separadas em tubos de ensaios e submetidas a um processo de maceração, em solução constituída por uma mistura de ácido nítrico e ácido acético (1:3), conforme procedimentos descritos por BARRICHELLO e FOELKEL (1983), para a individualização dos elementos anatômicos da madeira. Uma vez individualizados, os traqueídeos foram medidos em câmara clara e mesa digitalizadora, como descrito por SCHAITZA, MATTOS e PEREIRA (1998). Em cada amostra, foram tomadas 50 medidas de comprimento, largura e diâmetro do lúmen. E a espessura da parede foi determinada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmen dos traqueídeos.

Para a determinação da composição química, também foi realizada uma amostra composta de todos os discos, a diferentes alturas, de cada árvore. As amostras foram transformadas em serragem, em moinho tipo Wiley. A serragem utilizada na análise foi classificada em um conjunto de peneiras sob vibração e a fração que atravessou a peneira de malha nº 16 internacional (40 mesh³) e ficou retida na peneira de malha nº 24 internacional (60 mesh³) foi utilizada nos ensaios. Procedeu-se então, o acondicionamento da serragem em frascos plásticos e, em seguida analisada quanto aos teores de extrativos totais, lignina, holocelulose e celulose. Os teores de extrativos totais foram determinados pela norma ABTCP M 3/69 (ABTCP, 1968), os de lignina pela norma ABTCP M 10/71 (ABTCP, 1968), os de holocelulose, pela diferença entre a soma de ambos e o total (100%) e os de celulose Cross & Bevan pela norma ABTCP M 9/71 (ABTCP, 1968). Para a análise dos constituintes químicos da madeira foram realizadas três repetições para cada amostra.

Para a produção de celulose foi empregado o processo sulfato ou Kraft, que se caracteriza pela composição do licor de cozimento, no qual os agentes de deslignificação são o hidróxido e sulfeto de sódio, resultando uma celulose de cor relativamente escura e bastante resistente. Foi realizada uma amostra composta de todos os discos, a diferentes alturas, de cada árvore. As amostras foram transformadas manualmente em cavacos. Os cavacos obtidos foram

³ mesh = número de aberturas por polegada (2,54 cm) linear.

homogeneizados, acondicionados em sacos plásticos e identificados.

Foram empregadas as seguintes condições, comuns a todos os cozimentos (quad. 2):

QUADRO 2 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DE COZIMENTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT DA MADEIRA DE *Pinus taeda*

VARIÁVEIS	CONDIÇÕES DE COZIMENTO
Alcali Ativo ⁽¹⁾ (%)	16
Sulfidez ⁽²⁾ (%)	25
Relação Licor:Madeira	4:1
Temperatura Máxima °C	170
Tempo de Aquecimento até Temperatura Máxima (min)	120
Tempo na Temperatura Máxima (min)	60
Quantidade de Matéria Seca (g)	100
Fator H	1150
Número <i>Kappa</i> (proposto)	30

NOTAS: ⁽¹⁾ Porcentagem total de NaOH + Na₂S em relação ao peso seco dos cavacos, calculados como Na₂O

⁽²⁾ Porcentagem de Na₂S em relação ao álcali ativo, calculado como Na₂O

Estas condições de cozimento foram estabelecidas para se obter celulose com número *Kappa* em torno de 30, para comparação com resultados de celuloses de espécies do gênero *Pinus*. Trata-se de grau de designificação bastante comum para a madeira de coníferas (FOELKEL, 1976a; WRIGHT; JAMEEL; DVORAK, 1996).

Para se obter o número *Kappa* proposto, o cozimento foi controlado para se chegar a um H total de 1150.

Os cozimentos experimentais foram realizados com três repetições.

Para a realização dos cozimentos foi empregado um digestor rotativo de aço inoxidável, com capacidade para 20 litros e com aquecimento elétrico.

Após cada cozimento, o digestor era descarregado e a celulose removida; o desfibramento total era conseguido em desintegrador padrão, a 3000 rpm, e a celulose completamente lavada. A seguir, era espremida manualmente, até uma consistência de aproximadamente 30%. A partir da polpa filtrada e lavada foram determinados:

a) Rendimento bruto:

Rendimento bruto é a porcentagem de celulose absolutamente seca produzida, baseada na quantidade de madeira absolutamente seca utilizada. Foi calculado

através da expressão:

$$RB = (PSC/PSM) \times 100$$

Onde:

RB= rendimento bruto (%);

PSC= peso absolutamente seco de celulose (g);

PSM= peso absolutamente seco de madeira (g).

b) Depuração, porcentagem de rejeitos e rendimento depurado:

Depuração é o termo empregado para a operação, que visa separar da celulose produzida, os rejeitos, que são feixes de fibras não deslignificadas, cavacos não cozidos e nós. Para esta finalidade foi empregado um classificador de fibra Brech-Holl dotado de tela de fenda de 0,5 mm de abertura. Terminada a depuração, os rejeitos eram recolhidos, secos em estufa até peso constante e pesados. A seguir, foi calculada a porcentagem de rejeitos, através da expressão:

$$\%RJ = (PSR/PSM) \times 100$$

Onde:

%RJ= porcentagem de rejeitos (%);

PSR= peso absolutamente seco dos rejeitos (g);

PSM= peso absolutamente seco de madeira (g).

Finalmente, foi calculado o rendimento depurado, através da expressão:

$$RD = RB - \%RJ$$

Onde:

RD= rendimento depurado (%);

RB= rendimento bruto (%);

%RJ= porcentagem de rejeitos (%).

c) Determinação do número *Kappa* da celulose:

Segundo a norma NBR 7537 (ABNT, 1998), o “número *Kappa*”, é definido como o número de milímetros de uma solução de permanganato de potássio (KMnO_4) 0,1 N, consumido por um grama de pasta celulósica, equivalente a seco em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, sob as condições específicas de temperatura, e especificadas no método. Para a determinação do número *Kappa*, obteve-se amostras dos cozimentos, representativas do conjunto de celulose a ser ensaiada e para cada determinação preparou-se amostras de 3 a 4 g de celulose absolutamente seca. O resultado é expresso como valor numérico dado através das equações:

$$V_1 = [(V_2 - V_1) \times N] / (0,02 \times 5)$$

$$K = (V_1 \times d) / M$$

Onde:

V_1 = é o volume da solução de KMnO_4 0,1 N consumido na determinação (ml);

V_2 = é o volume da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido na prova em branco (ml);

V_3 = é o volume da solução $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido na determinação (ml);

N = é a normalidade da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

d = é o fator de correção para o consumo de permanganato a 50% (massa/massa);

é dependente do valor de V_1 ; é baseado em estudo experimental, e obtido pela equação $\log K^+ (V_1 / m) + 0,00093 \times (V_1 - 50)$;

m = é a massa de pasta celulósica equivalente a massa seca em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (g).

Para a determinação do estado nutricional das árvores por compartimento (acícula, alburno e casca), as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas, e levadas à estufa na temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$, até peso constante. Estas amostras foram moídas, em moinho tipo Wiley, procedeu-se o acondicionamento de cada amostra moída em frascos plásticos e, em seguida analisada quanto aos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), seguindo metodologia preconizada por SARRUGE e HAAG (1974).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na análise estatística dos resultados obtidos nas determinações dos atributos físicos e químicos do solo, do estado nutricional das árvores, da produtividade, das propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira e da produção de celulose Kraft da madeira de *Pinus taeda*, as seguintes variáveis estatísticas básicas foram determinadas: média, desvio padrão, variância, intervalo de confiança, valores máximo e mínimo.

Os resultados das variáveis estudadas, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após realizado teste de Bartlett de homogeneidade das variâncias.

Aplicou-se também o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação de médias entre as variáveis estudadas.

Além dos testes mencionados, foi analisado o modelo de regressão linear simples entre as variáveis estudadas e as possíveis relações existentes entre essas variáveis: modelo linear ($y = a + bx$), determinando-se os coeficientes de correlação.

Utilizou-se para os cálculos estatísticos simples, os testes de homogeneidade das variâncias, as análises de variância (ANOVA), a análise de regressão, o programa "Statistica", versão 5.0, licenciado para o Departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS DO SOLO

4.1.1 Análise dos Atributos Químicos do Solo

Os valores dos atributos químicos do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 1).

A tabela 1 apresenta os valores médios, de cada profundidade, para cada sítio estudado, referente aos atributos químicos do solo. Os sítios foram classificados pelo valor do atributo químico do solo considerado na profundidade de 0-10 cm, que nem sempre se mantêm nas demais profundidades do solo.

TABELA 1 – VALORES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
continua						
pH, em CaCl ₂						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	4,2 a	4,4 a	4,4 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	4,2 a	3,9 c	3,9 d
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	4,0 b	4,0 c	3,9 d
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	3,9 b	3,9 c	4,0 c
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	3,9 bc	4,1 b	4,1 b
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	3,8 d	4,0 c	4,0 c
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	3,8 d	3,9 c	4,1 b
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	3,7 e	3,8 d	3,8 e
C.V. ⁽¹⁾ (%)				0,5	0,6	0,3
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
POTÁSSIO, cmol/dm ³						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,51 a	0,45 a	0,54 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,13 b	0,13 b	0,13 c
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,12 b	0,09 c	0,06 e
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,08 c	0,06 d	0,28 b
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,06 c	0,05 dc	0,06 e
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,06 c	0,04 c	0,03 f
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,05 d	0,01 ce	0,06 e
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,03 d	0,02 ce	0,10 d
C.V. ⁽¹⁾ (%)				11,5	8,2	4,1

TABELA 1 – VALORES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				Ca + Mg, cmol/dm ³		
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	4,52 a	5,34 a	6,15 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	3,80 b	2,47 b	2,27 b
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	3,03 c	2,37 b	1,54 d
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	2,43 d	2,40 b	1,53 d
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	1,98 d	1,26 d	0,99 e
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	1,46 e	1,66 c	1,82 c
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	1,28 e	0,67 e	0,72 f
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	1,11 e	0,83 e	1,19 e
C.V. ⁽¹⁾ (%)				12,1	9,5	6,0
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				CTC ⁽²⁾ , cmol/dm ³		
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	13,37 a	12,58 ab	10,70 bc
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	12,99 a	12,83 a	13,56 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	11,23 b	10,40 bc	10,02 cd
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	10,70 bc	9,83 c	9,92 cd
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	10,26 c	10,32 bc	9,56 d
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	7,72 d	5,70 d	6,28 e
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	7,72 d	6,77 d	6,32 e
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	6,34 e	9,91 c	11,44 b
C.V. ⁽¹⁾ (%)				5,0	13,7	5,9
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				SATURAÇÃO DE BASES, %		
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	38,73 a	45,20 a	49,42 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	36,60 a	26,07 b	23,64 b
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	26,07 b	18,97 c	17,42 d
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	24,28 bc	23,83 b	16,72 d
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	23,74 bc	19,94 c	15,74 d
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	21,70 c	8,43 e	8,82 e
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	15,27 d	14,95 d	20,08 c
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	13,54 d	16,46 cd	18,57 d
C.V. ⁽¹⁾ (%)				7,8	10,6	6,3
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO, %		
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	23,65 a	47,27 b	49,72 b
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	24,53 a	18,64 a	16,98 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	47,60 b	48,59 b	62,20 d
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	52,53 bc	62,52 d	65,86 d
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	53,91 c	57,63 c	64,51 d
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	61,18 d	57,14 c	54,56 c
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	66,10 de	65,23 d	58,09 c
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	69,39 e	85,60 e	81,26 e
C.V. ⁽¹⁾ (%)				7,7	5,0	3,9

TABELA 1 – VALORES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	conclusão PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				MATÉRIA ORGÂNICA, g/dm ³		
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	44,78 a	37,18 a	39,13 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	41,18 b	30,66 c	28,32 b
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	38,86 b	34,44 b	30,69 b
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	24,81 d	15,76 e	14,22 d
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	20,81 e	20,03 d	14,11 d
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	20,48 e	18,45 d	14,94 d
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	16,03 f	12,06 f	9,13 e
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	12,46 g	17,34 e	21,44 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)				6,8	6,7	7,5
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				FÓSFORO, mg/dm ³		
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	9,3 a	6,1 b	6,8 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	7,9 b	6,9 a	6,3 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	7,9 b	6,5 ab	5,2 b
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	7,5 b	6,1 b	5,5 b
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	5,8 c	4,8 c	4,4 c
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	3,1 e	1,6 d	4,2 c
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	2,4 e	1,8 d	1,0 d
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	1,4 f	1,2 d	1,1 d
C.V. ⁽¹⁾ (%)				7,3	9,8	7,6

NOTAS: As médias dos atributos químicos do solo, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

⁽²⁾ Capacidade de troca de cátions

Observa-se a partir dos dados obtidos na tabela 1, que todos os sítios incluem-se dentro das categorias de acidez alta (pH 4,4 a 5,0) e acidez muito alta (pH ≤ 4,3), segundo TOMÉ JÚNIOR (1997). Estes valores de pH encontrados estão dentro dos limites aceitáveis para o crescimento de *Pinus taeda*, não havendo nenhuma influência negativa desta variável no crescimento desta espécie.

Já para o K, TOMÉ JÚNIOR (1997), diz que o teor de K ≤ 0,10 cmol/dm³ é baixo, de 0,11 a 0,30 cmol/dm³ é médio e > 0,30 é alto. Com relação a este elemento, observou-se que o sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta, foi o único que apresentou teores altos nas três profundidades estudadas, sendo que, este sítio apresentou até 10 vezes mais K disponível do que o sítio mais pobre (Cambissolo de textura média com vegetação primária de campo). Os demais sítios apresentaram teores médios e, principalmente, teores baixos.

Segundo BARTZ et al. (1995), teor de Ca + Mg ≤ 2,5 cmol/dm³ é considerado baixo, entre 2,6 a 5,0 cmol/dm³ médio e > 5,0 cmol/dm³ alto. Com

bases nesses dados, concluímos que os sítios estudados, com exceção do Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta, geralmente, apresentaram teores baixos e médios destes elementos.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi baixa em todos os sítios (entre 5,70 e 13,56 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$), geralmente, com os menores valores nos solos arenosos e os maiores nos solos argilosos, coincidindo com o observado por SANTOS FILHO (1985) e SANTOS FILHO e ROCHA (1987). A CTC foi, geralmente, maior na profundidade de 0-10 cm, possivelmente, devido a contribuição da matéria orgânica à CTC total.

Os sítios estudados apresentaram teores médio (16 a 35%), alto (35 a 50%) e muito alto (> 50%) de saturação por alumínio, segundo TOMÉ JÚNIOR (1997). Com base no mesmo autor, observou-se teores baixos (< 15 g/dm^3), médios (15 a 25 g/dm^3) e altos (> 25 g/dm^3) de matéria orgânica nos sítios estudados.

Com relação ao P, os sítios estudados apresentaram teores muito variados deste elemento, apresentando teores muito baixo (1,2 a 2,0 mg/dm^3), baixo (2,1 a 4,0 g/dm^3), médio (4,1 a 6,0 g/dm^3), suficiente (6,1 a 8,0 g/dm^3) e alto (> 8,0 g/dm^3), segundo TOMÉ JÚNIOR (1997).

No sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa com vegetação primária de floresta, os atributos químicos do solo demonstraram valores superiores em alguns elementos comparativamente aos demais sítios estudados (tab. 1). Segundo GOOR (1965), existe uma alta correlação entre a produtividade de *Pinus elliotti* e a soma de bases trocáveis, em especial a quantidade de Ca + Mg e o teor total de P. Pode-se observar na tabela 1, que o solo deste sítio apresenta altos teores destes nutrientes, em níveis desejáveis até para o cultivo agrícola (MUZZILLI, 1978).

Os diferentes sítios também se distinguem nos teores de P, Ca + Mg e de matéria orgânica, referenciados como importantes na produtividade do *Pinus taeda*.

Segundo BURESH e TIAN (1997), a magnitude das mudanças nos atributos químicos do solo é maior em solos arenosos do que nos argilosos e mais significativa nas áreas menos férteis.

Apesar de haver diferenças estatísticas significativas entre os sítios, as condições químicas dos solos estudados estão apropriadas ao desenvolvimento desta espécie.

4.1.2 Análise dos Atributos Físicos do Solo

Os valores dos atributos físicos do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 2).

Diferentemente dos atributos químicos, os atributos físicos do solo, encontrados no sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa com vegetação primária de floresta, não apresentaram os melhores valores em relação aos outros sítios estudados. Neste caso, os sítios se alteraram na primeira posição, com nenhum sítio se destacando isoladamente.

A tabela 2 apresenta os valores médios, de cada profundidade, para cada sítio estudado, referente aos atributos físicos do solo. Da mesma forma que na tabela 1, os sítios foram classificados pelo valor do atributo físico do solo considerado na profundidade de 0-10 cm.

TABELA 2 – VALORES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				DENSIDADE GLOBAL, Mg/m ³		
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,941 a	1,177 a	1,204 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,972 ab	1,194 ab	1,201 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	1,005 ab	1,258 bc	1,449 d
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	1,009 ab	1,241 bc	1,254 abc
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	1,081 bc	1,364 d	1,338 bcd
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	1,150 cd	1,141 a	1,209 ab
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	1,218 d	1,348 cd	1,384 cd
Fisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	1,403 e	1,295 c	1,419 cd
C.V. ⁽¹⁾ (%)				6,5	3,0	6,2
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
				ÁGUA DISPONÍVEL, cm ³ /cm ³		
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,059 a	0,030 abc	0,036 bc
Fisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,053 a	0,038 a	0,051 a
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,044 b	0,038 a	0,045 ab
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,043 b	0,036 a	0,035 bc
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,032 c	0,023 c	0,033 c
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,025 cd	0,031 abc	0,031 c
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,023 d	0,033 ab	0,017 d
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,018 d	0,026 bc	0,031 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)				13,3	17,2	19,8

TABELA 2 – VALORES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO O PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)			conclusão
				0 - 10	10 - 20	20 - 30	
				POROSIDADE TOTAL, cm ³ /cm ³			
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,592 a	0,443 de	0,395 c	
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,573 a	0,493 b	0,462 a	
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,565 a	0,464 cd	0,512 a	
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,542 ab	0,373 f	0,456 ab	
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,496 bc	0,490 bc	0,479 a	
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,456 cd	0,525 a	0,508 a	
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,432 d	0,428 e	0,400 bc	
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,373 e	0,424 e	0,388 c	
C.V. ⁽¹⁾ (%)				6,5	3,6	7,7	
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO O PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)			conclusão
				0 - 10	10 - 20	20 - 30	
				MACROPOROSIDADE, cm ³ /cm ³			
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,347 a	0,234 a	0,202 ab	
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,224 b	0,135 c	0,184 bc	
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,205 b	0,067 e	0,147 ce	
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,199 b	0,056 e	0,023 f	
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,182 bc	0,087 de	0,238 a	
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,136 cd	0,188 b	0,157 bce	
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,115 d	0,151 bc	0,122 e	
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,115 d	0,128 cd	0,114 e	
C.V. ⁽¹⁾ (%)				15,3	21,3	21,8	

NOTAS: As médias dos atributos físicos do solo, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

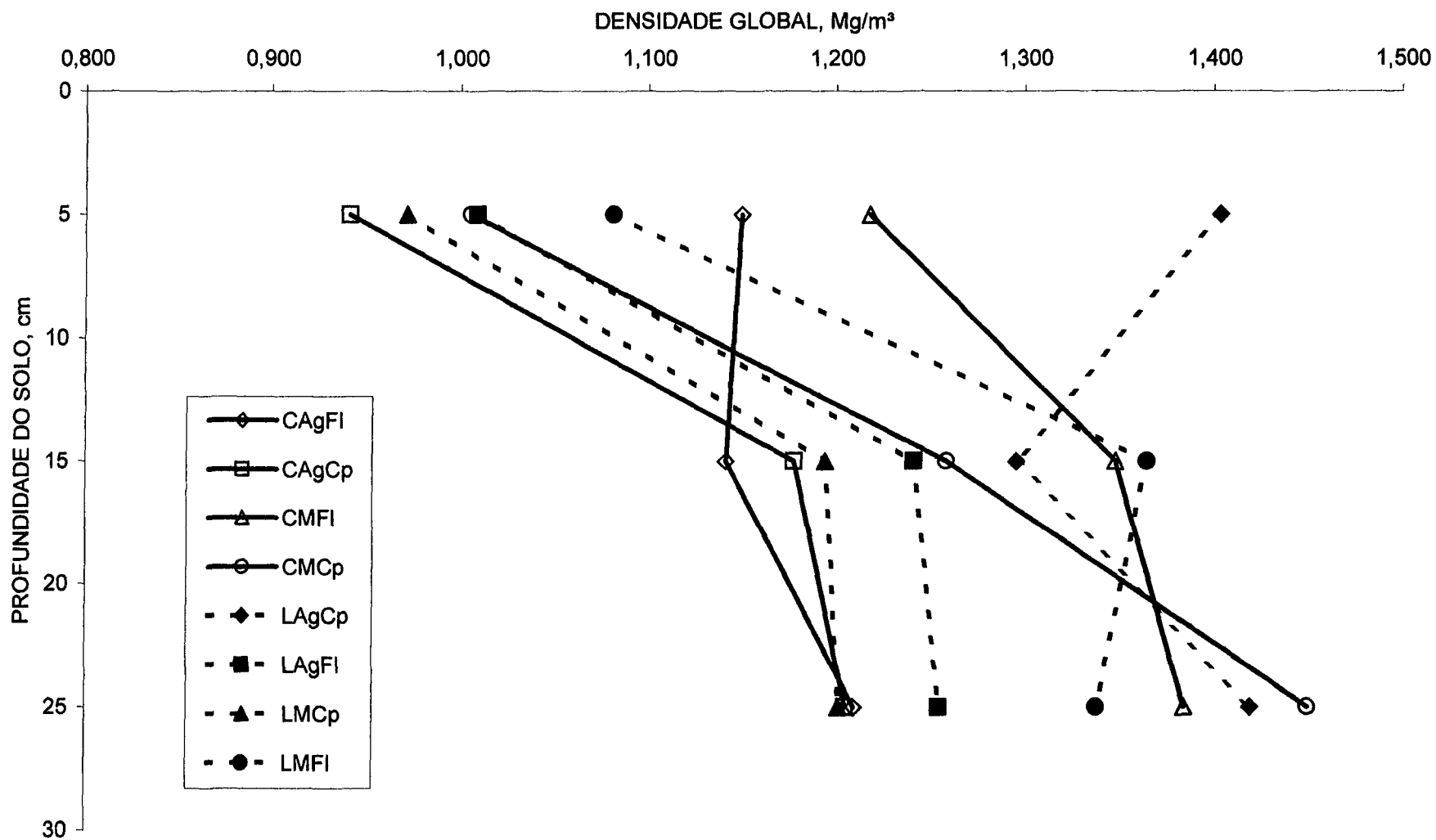
4.1.2.1 Densidade global

Os valores das análises da densidade global do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 2).

Os menores valores de densidade global foram encontrados na profundidade de 0-10 cm, em todos sítios estudados (tab. 2). A explicação para os resultados menores na profundidade de 0-10 cm se deve à manutenção da matéria orgânica do solo, sempre maior na superfície. MELLO et al. (1983), explicam que por ser pouco densa em relação aos minerais do solo e por favorecer a formação de grânulos, a matéria orgânica reduz a densidade global do solo.

A figura 3 mostra a variação da densidade global para os sítios estudados nas três profundidades.

FIGURA 3 - DENSIDADE GLOBAL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO - 2001



NOTAS: L=Latossolo; C= Cambissolo; Ag= Argilosa; M= Média; Cp= Campo; FI= Floresta.

Para a profundidade de 20-30 cm, os valores da análise desta variável para todos os sítios estudados, de maneira geral, foram sempre os maiores, o que pode dificultar a penetração de raízes e, conseqüentemente, restringir o desenvolvimento das plantas (tab. 2).

Nenhum valor de densidade global obtido nos sítios estudados se enquadrou dentro dos níveis críticos, considerados na literatura.

Valores de densidade global superiores a $1,59 \text{ Mg/m}^3$ em solos argilosos começam a apresentar restrições ao desenvolvimento das plantas e, a partir de $1,78 \text{ Mg/m}^3$ tornam-se uma condição limitante para as raízes (FROEHLICH; MILLES; ROBBINS, 1986).

CAMARGO (1997) considera valores críticos para solos de textura franco-argilosa a argilosa valores de $1,55 \text{ Mg/m}^3$, para solos arenosos a franco arenosos, os valores críticos de densidade global estão em torno de $1,85 \text{ Mg/m}^3$, ocorrendo então a restrição ao desenvolvimento radicular quando os solos estiverem na capacidade de campo.

Para espécies florestais de rápido crescimento, GENT et al. (1984), consideram que valores de $1,58 \text{ Mg/m}^3$ em solos de textura argilosa na profundidade de 0-15 cm são limitantes, sendo que, para a profundidade de 10-25 cm quando os valores se aproximam de $1,80 \text{ Mg/m}^3$ o crescimento de raízes cessa.

4.1.2.2 Porosidade total

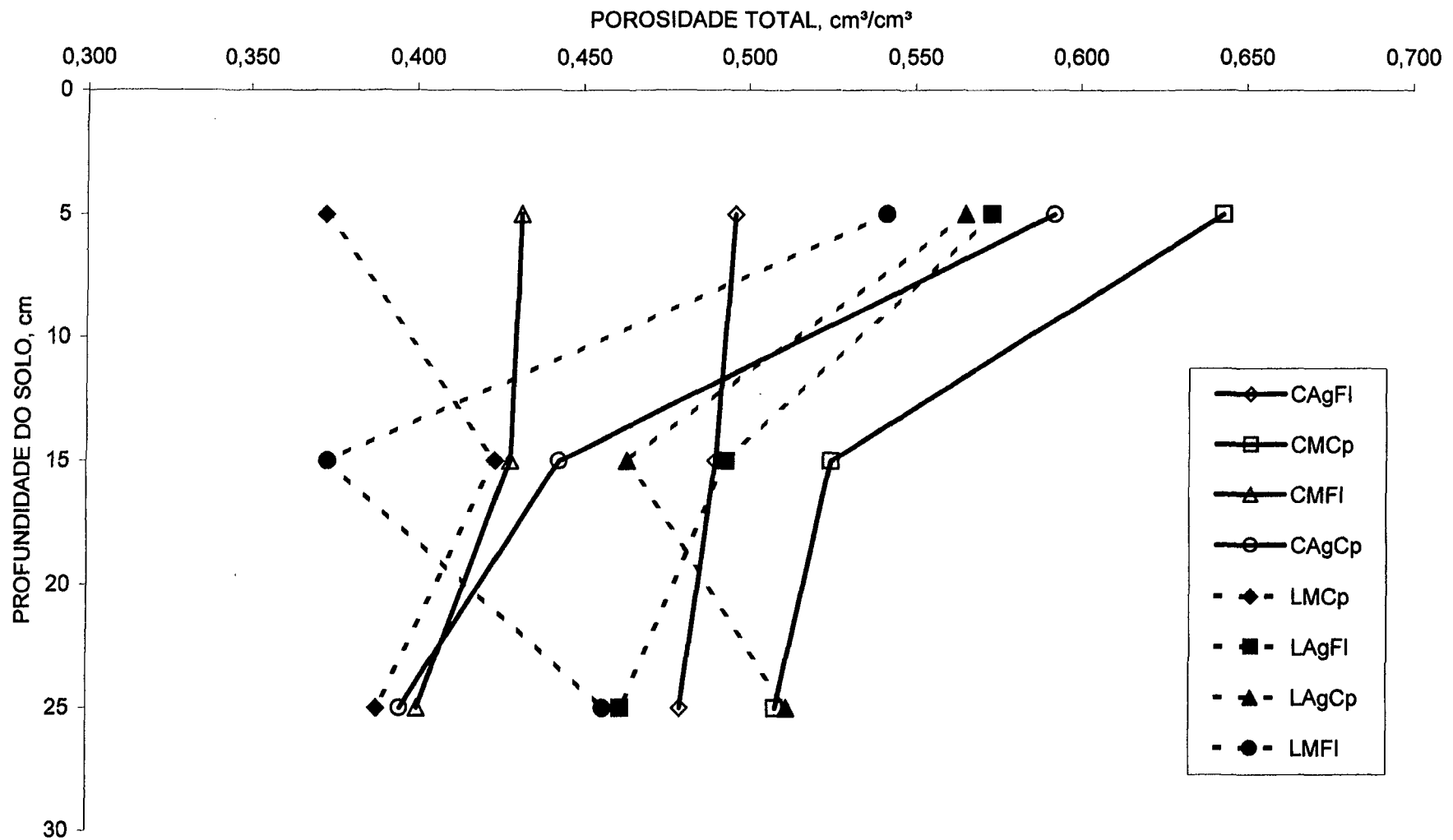
Os valores das análises da porosidade total do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 2).

De maneira geral, os sítios com textura argilosa, apresentaram os maiores valores de porosidade total. E, nos solos com maiores teores de areia, em função do arranjo destas partículas sólidas, a porosidade total apresentou-se menor (tab. 2).

A profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou os maiores valores de porosidade total, pelo fato de ser nesta profundidade que ocorre os menores valores de densidade global.

A figura 4 mostra a variação da porosidade total para os sítios estudados nas três profundidades.

FIGURA 4 - POROSIDADE TOTAL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO - 2001



NOTAS: L= Latossolo; C= Cambissolo; Ag= Argilosa; M= Média; Cp= Campo; FI= Floresta.

De acordo com PREVEDELLO (1996), os solos diferem muito em porosidade total, alguns valores comumente encontrados em solos arenosos variam entre 0,35 a 0,50 cm³/cm³, enquanto que, para solos argilosos oscilam entre 0,40 a 0,65 cm³/cm³.

Os valores de porosidade total encontrados para os diferentes tipos de solos estudados, se enquadraram dentro dos valores descritos na literatura, e conforme esta, a textura determina a magnitude deste parâmetro, e em segundo lugar o tipo de solo, apresentando maiores valores nos latossolos.

4.1.2.3 Macroporosidade

Os valores das análises da macroporosidade apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 2).

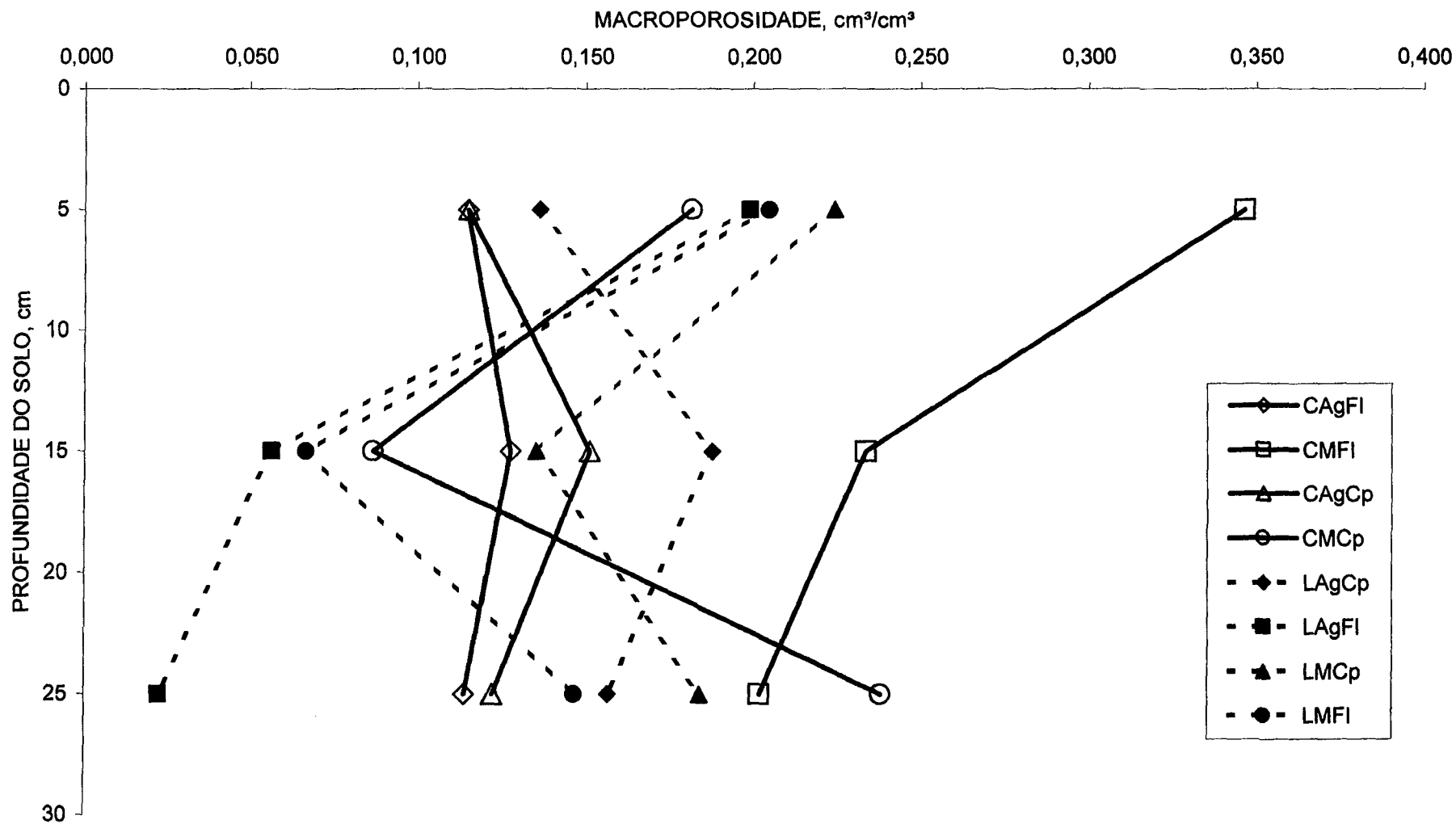
A profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou os maiores valores de macroporosidade (tab. 2).

De maneira geral, os sítios com textura mais arenosa apresentaram maior número de macroporos e, conseqüentemente, maiores valores de macroporosidade.

Para os solos argilosos, os valores de macroporosidade encontram-se em média, em torno de 25% menores do que nos arenosos, naturalmente em função da textura.

A figura 5 mostra a variação da macroporosidade para os sítios estudados nas três profundidades.

FIGURA 5 - MACROPOROSIDADE DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO - 2001



NOTAS: L= Latossolo; C= Cambissolo; Ag= Argilosa; M= Média; Cp= Campo; FI= Floresta.

4.1.2.4 Água disponível

Os valores desta variável apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 2).

De maneira geral, a profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou as maiores porcentagens de água disponível. Este fato pode ser justificado pelos menores valores de densidade global, maior quantidade de macroporos e maior teor de matéria orgânica nesta profundidade (tab. 2).

Em um estudo feito por CORREIA et al. (1996), foi observado que a disponibilidade de água dos solos inter-relacionada com outras, tais como, o relevo, a textura do solo e a quantidade de matéria orgânica, foi um dos principais fatores que limitou o crescimento de *Pinus taeda*, influenciando na capacidade produtiva desta espécie. Assim sendo, o relevo, a textura do solo e a disponibilidade de água para as plantas, contribuíram muito para explicar a variação de crescimento nos diferentes sítios.

LOPES (1977) em uma pesquisa sobre os atributos físicos e químicos de diferentes tipos de solos, observou maior disponibilidade de água em solos com conteúdo de argila que variavam de 35 a 60%.

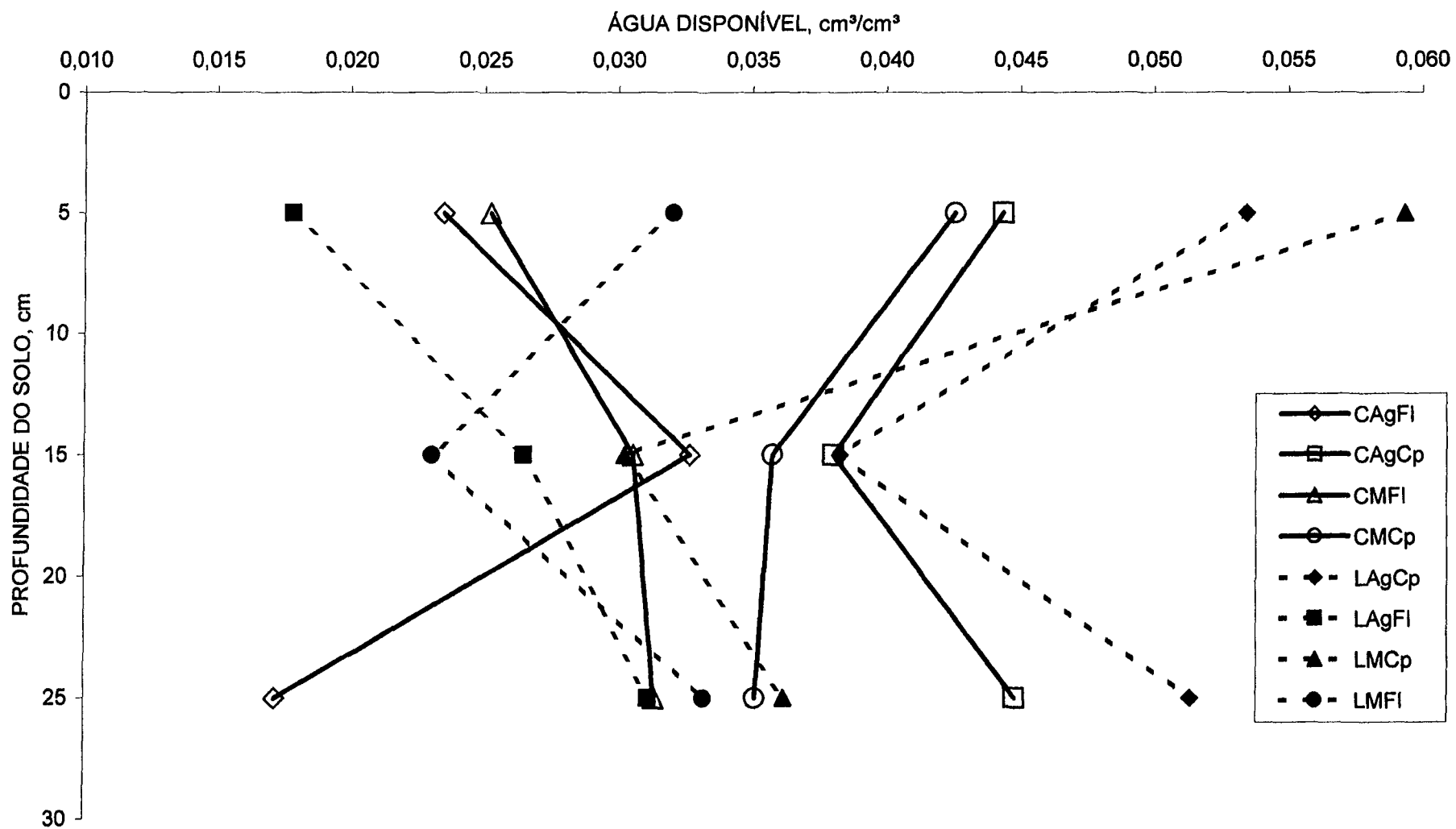
Estudo desenvolvido por PETERSEN (1968), demonstrou que a disponibilidade de água é mínima em solos de textura argilosa, máxima nos solos de textura média com altos teores de silte e intermediária nos de textura mais fina. Os solos argilosos costumam ser mais férteis que os arenosos, embora possam apresentar drenagem insuficiente (ZOBEL; WYK; STAHL, 1987).

SANTOS FILHO e ROCHA (1987), observaram que povoamentos de *Pinus taeda* desenvolvidos em solos de textura arenosa, proporcionaram excelentes crescimentos quando localizados em terraços onde existe disponibilidade de água às árvores durante o ano inteiro.

Nas apresentações em curvas da retenção de água dos sítios, verifica-se que a maior capacidade de retenção dos solos, relaciona-se com a textura dos solos, com maior disponibilidade ocorrendo em solos com maiores porcentagens de areia, em concordância com FREIRE (1975) e MEDINA (1972).

A figura 6 mostra a variação da disponibilidade de água para os sítios estudados nas três profundidades.

FIGURA 6 - ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO, EM 3 PROFUNDIDADES, PARA CADA SÍTIO - 2001



NOTAS: L= Latossolo; C= Cambissolo; Ag= Argilosa; M= Média; Cp= Campo; FI= Floresta.

4.2 ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES

Em relação ao estado nutricional por compartimento das árvores de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, alguns nutrientes quantificados apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados (tab. 3).

A tabela 3 apresenta o teor de nutrientes médios das árvores de cada sítio.

TABELA 3 – TEOR DE NUTRIENTES MÉDIOS DAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	ACÍCULA				
				N	P	K	Ca	Mg
				g/kg				
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	14,77 a	0,83 a	4,03 a	2,04 a	0,67 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	14,75 a	0,90 a	3,47 ab	1,91 a	0,63 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	14,13 ab	0,85 a	3,33 b	1,96 a	0,66 a
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	13,62 ab	0,81 a	4,43 a	1,91 a	0,66 a
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	13,50 ab	0,83 a	3,53 ab	1,75 a	0,64 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	13,40 ab	0,74 b	3,86 ab	2,81 a	0,67 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	12,66 ab	0,66 b	4,43 a	3,19 a	0,61 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	12,20 b	0,70 b	3,58 ab	2,72 a	0,62 a
C.V. ⁽¹⁾ (%)				8,03	10,17	13,23	34,67	22,51
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	ALBURNO				
				N	P	K	Ca	Mg
				g/kg				
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	1,13 a	0,08 b	0,46 b	0,72 b	0,16 b
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	1,02 ab	0,05 c	0,44 b	0,89 a	0,18 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	1,01 ab	0,04 c	0,54 a	0,86 b	0,17 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,99 ab	0,04 c	0,41 b	1,28 a	0,17 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,99 ab	0,11 a	0,48 a	0,59 b	0,15 b
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,95 bc	0,06 b	0,49 a	0,56 b	0,16 b
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,87 bc	0,04 c	0,41 b	1,28 a	0,17 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,86 c	0,06 b	0,52 a	0,58 b	0,16 b
C.V. ⁽¹⁾ (%)				7,39	26,08	8,32	23,04	8,44
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	CASCA				
				N	P	K	Ca	Mg
				g/kg				
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	3,84 a	0,27 a	1,39 ab	1,68 a	0,42 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	3,84 a	0,27 a	1,48 ab	1,45 a	0,40 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	3,66 a	0,26 a	1,44 ab	1,50 a	0,41 a
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	3,37 a	0,27 a	1,21 ab	0,88 a	0,36 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	3,34 a	0,19 a	1,40 ab	1,68 a	0,44 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	3,29 a	0,19 a	1,11 ab	1,05 a	0,33 a
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	3,29 a	0,29 a	1,51 a	1,58 a	0,43 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	3,27 a	0,24 a	0,97 b	1,39 a	0,36 a
C.V. ⁽¹⁾ (%)				11,11	22,00	16,14	26,91	15,65

NOTAS: As médias do teor de nutrientes, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

Segundo FERREIRA et al. (2001), a espécie *Pinus taeda* é considerada de baixa exigência nutricional, sendo ausentes os sintomas de deficiência nutricional,

particularmente nas primeiras rotações. Sendo que, as árvores podem influenciar na quantidade e disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicial, segundo BURESH e TIAN (1997). No entanto, investigações realizadas em plantações de espécies de *Pinus* nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, tem constatado níveis deficientes de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu e Zn em acículas e redução no crescimento em solos bastante depauperados por queimadas constantes e lixiviação (VETTORAZZO, 1994).

Muitos autores têm encontrado uma forte correlação entre os níveis dos nutrientes totais em acículas de *Pinus* e alguns parâmetros de crescimento. Este aspecto, unido ao fato de serem estas as partes mais ativas das árvores no metabolismo de nutrientes, faz com que a concentração foliar de nutrientes seja tomada com muita frequência como parâmetro para o diagnóstico do estado nutricional das árvores (ARMSON, 1973).

Segundo TAMM (1964), a padronização de procedimentos de amostragem não é garantia de que os teores das folhas refletirão realmente o estado nutricional das plantas, porque o teor de nutrientes num certo tecido é resultante de vários processos interrelacionados, como suprimento externo de nutrientes, absorção pela planta, redistribuição e crescimento. Em razão disto, se o crescimento aumenta mais que a absorção, o resultado será teores mais baixos, que é conhecido como efeito de diluição. Portanto, na interpretação dos resultados da análise foliar, é importante fazer associações com crescimento da planta, disponibilidade de nutrientes do solo e índices de pluviosidade e de temperatura.

Alguns trabalhos apresentam teores médios, máximos e mínimos, faixas de bom suprimento, níveis críticos aproximados e relações entre nutrientes para *Pinus taeda* (MENEGOL, 1991; LASO GARICOITS, 1990; LA TORRACA, 1984; REISSMANN ; WISNIEWSKI, 2000). Sendo que, os teores foliares de N, Mg, Cu, K e Zn foram os mais correlacionados com a altura dominante aos 15 anos de idade.

Em relação aos valores existentes na literatura consultada (quad. 3), pode-se dizer que os níveis foliares de N, P e K nos sítios estudados são relativamente baixos e são indícios de que estes nutrientes podem tornar-se limitantes nestes sítios, enquanto que, os níveis foliares de Ca e Mg, são aparentemente adequados para permitir um bom crescimento.

QUADRO 3 – CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES FOLIARES ADEQUADAS PARA *Pinus taeda*

NUTRIENTES	CONCENTRAÇÕES ADEQUADAS
	(g/kg)
Nitrogênio	18,5
Fósforo	1,9
Potássio	6,0
Cálcio	1,4
Magnésio	0,6

Fonte: REISSMANN e WISNIEWSKI (2000).

De maneira geral, pode-se dizer que a deficiência constatada quanto aos níveis foliares de N, P e K, pode ser atribuída à estação do ano em que foram coletadas as acículas (verão), a coleta foi realizada nos meses de fevereiro e março. Pois, diversos trabalhos com coníferas observaram teores máximos de N, P e K durante o inverno (WELLS ; METZ, 1963; MEAD ; PRITCHETT, 1974; MEAD ; WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN ; CLOUGH, 1987).

No verão, as árvores estão sob grande estresse nutricional, devido à diminuição dos teores de nutrientes. A razão para essa queda dos teores de nutrientes, provavelmente, relaciona-se com a redistribuição dos elementos mais móveis, como o N, P e K, das acículas maduras para as partes novas em crescimento. Segundo SANDS e MULLIGAN (1990), a ciclagem interna de nutrientes é primariamente governada pela taxa de crescimento das árvores. Conseqüentemente, teores mais baixos de N, P e K encontrados durante as estações de maior crescimento, provavelmente, devem-se ao efeito de diluição. Enquanto que, no inverno, o aumento dos teores de N, P e K pode ser explicado pelo menor crescimento das árvores, causando uma “concentração do nutriente”.

Para ZÖTTL (1973), os teores de N, P e K das acículas do 2^o lançamento do 2^o verticilo superior apresentados como sendo níveis bons, para *Pinus taeda* com 8 anos de idade, estão compreendidos entre 18 a 23 g/kg, 1,3 a 1,4 g/kg e 7,0 a 11,0 g/kg, respectivamente. Sendo que, os teores N, P e K inferiores a 12 g/kg, 0,9 g/kg e 4,0 g/kg, respectivamente, são considerados deficientes para esta espécie.

Os teores foliares de Ca e Mg não apresentaram deficiência, sendo aparentemente adequados para permitir um bom crescimento. Com relação à estação do ano em que foi coletada as acículas (verão), o Ca tende a apresentar valores máximos nesta estação, fato este comprovado por WELLS e METZ (1963), MEAD (1984) e PAYN e CLOUGH (1987). Sendo que, no caso do Ca, isto, possivelmente, relaciona-se com a baixa mobilidade deste elemento, que é pouco

redistribuído no início da estação de crescimento e, assim, é acumulado. No caso do Mg, geralmente, não há diferenças significativas nos teores médios entre as estações do ano. No entanto, WELLS e METZ (1963), verificaram que os teores foliares de Mg em *Pinus taeda* aumentam no verão. Para *Pinus elliottii* var. *elliottii*, MEAD e PRITCHETT (1974), encontraram teores máximos de Mg no inverno e mínimos no verão, o que, relaciona-se provavelmente, com a redistribuição deste nutriente dos tecidos mais velhos para as partes mais novas, principalmente durante o verão, devido ao maior crescimento nesta estação.

Para ZÖTTL (1973), os teores de Ca e Mg das acículas do 2^o lançamento do 2^o verticilo superior apresentados como sendo níveis bons, para *Pinus taeda* com 8 anos de idade, estão compreendidos entre 0,8 a 3,0 g/kg e 0,8 a 1,5 g/kg, respectivamente. Sendo que, os teores Ca e Mg inferiores a 0,5 g/kg e 0,5 g/kg, respectivamente, são considerados deficientes para esta espécie.

REISSMANN⁴ citado por LASO GARICOITS (1990), encontrou problemas nutricionais em *Pinus taeda* de 8 anos de idade, na mesma região do estado (Telêmaco Borba-PR) em relação ao Zn, K, Ca e Mg.

REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), estudando os aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*, observaram relações entre os teores de N/K e P/Zn nas acículas de *Pinus taeda* e sua relação com a produtividade da espécie.

Apesar das limitações bastante conhecidas que as interpretações de concentrações foliares apresentam, diversos autores relatam tendências consistentes de aumento dos teores foliares dos nutrientes com a melhoria da qualidade do sítio. Inclusive chamam a atenção para as concentrações extremamente baixas de K, Mg e Zn nos sítios menos produtivos (REISSMANN; KOEHLER; SOUZA, 1990; LASO GARICOITS, 1990; MENEGOL, 1991).

Não foram encontrados na literatura disponível, trabalhos sobre estado nutricional do alburno e casca de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, para serem comparados aos valores obtidos.

⁴ REISSMANN, C. B. *Nahrelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Sudbrasilien*. Freiburg, 1981. 159 f. Dissertation. Universitaet Freiburg.

4.3 PRODUTIVIDADE

Houve diferenças estatísticas significativas para as variáveis dendrométricas avaliadas nos diferentes sítios (tab. 4).

As alturas total e comercial, variáveis medidas, apresentaram para os diferentes sítios, coeficientes de variação relativamente baixos (tab. 4), o que se esperava pela alta correlação que a altura apresenta com o diâmetro em coníferas. Porém, verifica-se entre os sítios, grande diferença na altura total e comercial média, que é estatisticamente significativa. Em termos porcentuais, a altura total e comercial média é cerca de 20% superior no sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta em relação ao sítio menos produtivo (Latossolo de textura média e vegetação primária de floresta).

A tabela 4 apresenta os valores médios para cada sítio referente à altura total e comercial, DAP e volume total.

TABELA 4 – VALORES DENDROMÉTRICOS MÉDIOS DAS ÁRVORES DE CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL
m					
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	23,53 a	18,23 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	22,24 ab	16,88 b
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	21,69 ab	16,29 b
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	21,60 b	16,34 b
Fisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	21,60 b	16,36 b
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	21,15 b	15,71 c
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	20,72 bc	15,50 c
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	19,02 c	14,12 d
C.V. ⁽¹⁾ (%)				4,25	4,14
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	DAP ⁽²⁾	VOLUME TOTAL c/c ⁽³⁾
				cm	m ³
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	27,80 a	0,838 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	24,00 b	0,680 c
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	23,60 b	0,637 d
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	23,40 b	0,567 f
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	23,40 b	0,716 b
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	22,80 c	0,599 e
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	22,70 c	0,629 d
Fisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	22,60 c	0,575 f
C.V. ⁽¹⁾ (%)				1,69	10,89

NOTAS: As médias dos valores dendrométricos das árvores, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

⁽²⁾ Diâmetro a altura do peito (1,30 m)

⁽³⁾ com casca

O sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta, foi o melhor sítio na questão de produtividade, sendo o melhor nas variáveis, altura total e comercial, DAP e volume total.

Isto pode ser decorrente da maior fertilidade deste sítio, onde os atributos químicos do solo foram muito mais importantes que os físicos. Segundo REISSMANN e WISNIEWSKI (2000), a ausência de sintomas de deficiência reforçaram a expectativa de que as plantações de *Pinus* dispensariam o uso de fertilizações. No entanto, os mesmos autores citam vários trabalhos (LASO GARICOITS, 1990; MENEGOL, 1991) que mostraram que há limitações de crescimento de *Pinus taeda*, relacionados aos níveis de alguns nutrientes do solo, dentre os mais citados estão K, Ca + Mg e Zn. E, são principalmente, K e Ca + Mg, os nutrientes que estão presentes em maior quantidade no sítio mais produtivo deste estudo.

De maneira geral, os solos de textura argilosa, independentemente da classe a que pertencem, propiciaram maiores crescimentos do *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, estes solos superaram em aproximadamente 2 m a altura obtida nos solos de textura média, na mesma idade. Já em DAP, os maiores valores ocorreram em solos de textura argilosa, independente da vegetação primária e classe de solo. O maior volume por árvore ocorreu em solos da classe cambissolo, independente da classe textural ou vegetação primária. Uma vez que o espaçamento e o sistema de plantio adotados foram os mesmos, torna-se necessário analisar todos os atributos químicos e físicos do solo separadamente na sua correlação com cada variável da planta medida, tanto de produtividade como de qualidade da madeira para celulose.

O fato dos solos arenosos do presente trabalho, geralmente, produzirem os piores crescimentos coincide com o observado na distribuição natural da espécie (LASO GARICOITS, 1990). SANTOS FILHO e ROCHA (1987), constataram que os piores crescimentos do *Pinus taeda* estavam associados a solos arenosos em posições da paisagem que favoreciam alta lixiviação e baixa capacidade de retenção de água.

4.4 PROPRIEDADES DA MADEIRA

4.4.1 Massa Específica Básica

Os valores médios da massa específica básica da madeira, não apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 5).

Os valores médios obtidos para cada sítio referente à massa específica básica da madeira de *Pinus taeda*, são apresentados na tabela 5.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA g/cm ³
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,394 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,391 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,386 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,384 a
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,381 a
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,379 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,376 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,373 a
C.V. ⁽¹⁾ (%)				4,02

NOTAS: As médias da massa específica básica, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

Os valores médios de massa específica básica determinados nesse estudo (tab. 5), situam-se dentro da faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas e plantadas no sul do Brasil, como MORESCHI (1976) e TOMASELLI (1980).

KLOCK (2000) em um estudo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, observou que as árvores apresentaram variação na massa específica básica entre 0,370 a 0,440 g/cm³. Nota-se que nominalmente as diferenças são consideráveis, embora, estejam dentro da variação esperada para espécies de rápido crescimento do gênero *Pinus*.

Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados, de maneira geral, a madeira proveniente de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com textura mais argilosa, mostrou-se com tendência a ter menores valores de massa específica básica (tab. 5).

Este fato foi comprovado por TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980), estudando o efeito das condições de crescimento nas características da madeira de *Pinus nigra*, quando observaram que as madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com textura mais argilosa, apresentavam menores valores de massa específica básica.

4.4.2 Composição Química

Os valores médios da composição química da madeira, apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 6).

Os valores médios obtidos para cada sítio referentes à composição química da madeira de *Pinus taeda*, são apresentados na tabela 6.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	EXTRATIVOS	LIGNINA
				%	
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	2,93 a	27,22 ab
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	2,95 a	28,16 bc
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	2,97 a	26,29 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	3,00 a	27,71 abc
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	3,01 a	28,91 c
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	3,03 ab	28,31 c
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	3,03 ab	28,81 c
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	3,06 b	29,73 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)				4,76	2,03
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	HOLOCELULOSE	CELULOSE
				%	
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	70,34 a	55,82 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	69,85 a	55,80 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	69,29 a	55,28 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	68,89 b	55,23 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	68,66 b	54,81 b
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	68,16 b	53,92 c
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	68,08 b	53,81 c
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	67,21 c	53,69 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)				0,75	0,80

NOTAS: As médias da composição química, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

Os valores médios obtidos nesse estudo para a composição química da madeira (tab. 6), situam-se na faixa de variação dos resultados apresentados por

IPT (1988), para as espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, e também aos apresentados por RYDHOLM (1965), para *Pinus elliottii*, do sul dos Estados Unidos.

Comparando-se os resultados obtidos nas análises químicas realizadas nesse estudo, com outras espécies do gênero *Pinus*, observa-se por exemplo, os resultados apresentados por FOELKEL (1976a), para algumas espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada, *Pinus elliottii* com 8 anos, *Pinus taeda* com 11 anos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos, todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos, cujos resultados variaram em média para a solubilidade em água fria de 1,3 a 1,8%, em água quente de 1,8 a 2,9%, em NaOH a 1% de 7,1 a 11,0%, em álcool benzeno de 1,7 a 4,8%; o teor de lignina de 27,2 a 29,8%. Isoladamente a madeira de *Pinus taeda*, apresentou 1,8% e 2,7% de solubilidade em água fria e quente, 8,0% de solubilidade em NaOH 1% e 2,1% em álcool benzeno; e o teor de lignina de 28,8%.

KLOCK (2000) em um estudo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, obteve os seguintes resultados médios quanto a composição química, solubilidade em água fria de 1,8%, em água quente de 2,44%, em NaOH a 1% de 8,9%, em álcool benzeno de 1,65%, em extrativos totais de 3,03%; o teor de lignina de 28,76%; o teor de holocelulose de 68,0%.

IPT (1988) apresenta os valores da solubilidade da madeira de *Pinus elliottii*, plantado em São Paulo, *Pinus elliottii* plantado nos Estados Unidos e de *Araucaria angustifolia*, que foram em água fria 1,7% para as duas procedências de *Pinus* sp., não determinada para a *Araucaria angustifolia*; em água quente as três espécies apresentaram igual solubilidade, 2,5%; em álcool benzeno, os valores variaram de 0,9 a 2,6% e em solubilidade em NaOH a 1% de 8,4% a 10,6%. E, relaciona valores médios do teor de lignina determinado para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de várias idades, numa variação entre 26,1 a 33,4%.

MUÑIZ (1993) obteve valores médios de solubilidade em água quente e em álcool benzeno superiores (4,71% e 4,65%) para a madeira juvenil de *Pinus taeda*, separados da madeira adulta, de 10 árvores com 30 anos de idade, da região de Irati-PR, que por sua vez apresentaram valores médios de 2,25% e 2,22% para as respectivas solubilidades. A autora determinou no mesmo estudo valores semelhantes para a madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*.

Observa-se que os valores médios determinados nesse trabalho são inferiores aos obtidos por MUÑIZ (1993), em razão da madeira de *Pinus taeda* aos 12 anos não apresentar cerne.

BORTOLETTO JÚNIOR (1999) determinou para a madeira adulta de *Pinus taeda*, 10 árvores (tratamento testemunha) com 23 anos de idade, da região de Guarapuava-PR, solubilidade média de extrativos em água fria de 2,1%, solubilidade em NaOH a 1% de 12,2%, teor de extrativos totais de 3,3%, teor de lignina de 27,1% e teor de holocelulose de 69,6%.

Dos resultados obtidos e comparados na literatura, pode-se verificar que a composição química da madeira de *Pinus taeda*, encontra-se dentro da variação observada para espécies do gênero, sendo que apresentam os teores de extrativos totais, lignina e holocelulose semelhantes.

De maneira geral, a madeira proveniente de sítios cujo ritmo de crescimento foi elevado, sítios com textura mais argilosa, apresentou-se com menores teores de holocelulose (tab. 6), resultando em menores rendimentos durante o processo de deslignificação (ZOBEL; THORJORSEN; HENSON, 1960; RYDHOLM, 1965; WAKELEY, 1969; MOORE ; EFFLAND, 1974).

TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980), no estudo citado acima, observaram que mesmo não havendo diferenças estatísticas significativas, os teores de extrativos e lignina eram maiores, em sítios com maior ritmo de crescimento, sítios com textura mais argilosa e, conseqüentemente, o rendimento do processo era menor.

4.4.3 Características Morfológicas dos Traqueídeos

Os valores médios das características morfológicas dos traqueídeos, apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 7).

Os valores médios determinados nesse estudo (tab. 7), situam-se dentro da faixa de variação dos resultados encontrados por pesquisadores que trabalharam com árvores de idades próximas, como MORESCHI (1976), TOMASELLI (1980) e MENDONÇA (1982). No entanto, quando comparados aos resultados apresentados por MUÑIZ (1993), os resultados médios desse estudo são inferiores, o que deve estar relacionado ao fato das árvores analisadas pela autora serem de maior idade, no caso foram estudadas árvores de *Pinus taeda* de 30 anos.

Os valores médios obtidos para cada sítio referentes às características morfológicas dos traqueídeos, são apresentados na tabela 7.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	COMPRIMENTO	LARGURA
				mm	µm
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	3,47 a	42,61 ab
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	3,45 ab	41,99 c
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	3,45 ab	42,24 b
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	3,43 ab	41,94 c
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	3,43 ab	42,84 ab
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	3,43 ab	43,02 ab
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	3,38 b	43,08 a
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	3,38 b	42,99 ab
C.V. ⁽¹⁾ (%)				1,23	0,65
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	DIÂMETRO DO LÚMEN	ESPESSURA DA PAREDE
				µm	
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	34,16 a	4,30 b
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	34,11 ab	4,50 a
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	33,09 ab	4,20 b
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	32,08 b	4,60 a
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	31,95 bc	4,20 b
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	31,90 bc	4,70 a
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	31,08 c	4,80 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	31,00 c	4,80 a
C.V. ⁽¹⁾ (%)				0,47	2,02

NOTAS: As médias das características morfológicas dos traqueídeos, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

KLOCK (2000) estudando a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, obteve os seguintes resultados médios para as características morfológicas dos traqueídeos: o comprimento dos traqueídeos foi de 2,93 mm; a largura foi de 42,4 µm; o diâmetro do lúmen foi de 33,0 µm; e as paredes celulares tiveram 4,7 µm de espessura.

Ao se comparar os valores médios das características morfológicas dos traqueídeos de *Pinus taeda*, com os apresentados por FOELKEL (1976a), para espécies de coníferas: *Araucaria angustifolia* de idade indeterminada, *Pinus elliottii* com 8 anos, *Pinus taeda* com 11 anos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 8 anos, todas plantadas no Brasil, e ainda com *Pinus elliottii* de 18 anos e *Pinus taeda* de 16 anos, essas plantadas nos Estados Unidos, verifica-se que, para o comprimento médio dos traqueídeos, com exceção da *Araucaria angustifolia* (5,15 mm), os resultados assemelham-se, embora as médias apresentadas para *Pinus taeda* nas

duas idades (2,78 e 2,87 mm respectivamente) tenham sido ligeiramente inferiores aos desse estudo. As dimensões relativas à largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular são de comparação difícil em função da diferença na amostragem, já que o autor distingue os tipos de lenho, mesmo assim, as larguras e os diâmetros do lúmen médios obtidos nesse estudo, parecem ser ligeiramente inferiores, e as espessuras das paredes celulares superiores aos das espécies estudadas por FOELKEL (1976a).

Comparando-se os resultados médios obtidos nesse estudo com os apresentados por KLOCK (1989) para *Pinus oocarpa* (18 anos) e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (20 anos), verifica-se que o comprimento dos traqueídeos são semelhantes aos de *Pinus oocarpa* (3,86 mm) e ligeiramente inferiores aos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que atingiram em média pouco mais de 4 mm. Por outro lado, ao se comparar o diâmetro do lúmen e espessura da parede celular, verifica-se que o *Pinus taeda* apresenta traqueídeos mais estreitos que os de *Pinus oocarpa* (53 μm) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (54 μm).

As madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com textura mais argilosa mostraram-se com tendência a terem menores valores de massa específica (tab. 5), traqueídeos mais largos, mais curtos, com paredes mais finas e com maiores valores para diâmetro do lúmen (tab. 7). Esses dados possibilitam afirmar que essas madeiras tendem a ser mais permeáveis ao licor de cozimento. Os reagentes químicos penetram, mais facilmente, nos cavacos menos densos e com traqueídeos de lúmen maior (FOELKEL, 1976b). Em se tratando de condições de cozimento semelhantes para todos os tratamentos, esses cavacos sofrem maior ataque do licor de cozimento, simplesmente em função de sua maior área de exposição.

Em síntese, o que se pode constatar é que o ritmo de crescimento mais elevado, imposto pelos "sítios mais férteis", implicou em produção de traqueídeos mais largos, mais curtos, com paredes mais finas e com maiores diâmetros do lúmen.

COWN (1974a) determinou os efeitos de diferentes condições ambientais na taxa de crescimento e propriedades da madeira, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, porém as árvores provenientes dos povoamentos que sofreram um ritmo de crescimento mais elevado, apresentaram seus

traqueídeos reduzidos em comprimento em até 10%. Apesar deste autor não ter apresentado valores relativos à largura dos traqueídeos, observam-se nas demais citações que este é o parâmetro mais fortemente afetado pelo ritmo de crescimento.

No estudo feito por TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980), observou-se também que os traqueídeos provenientes de sítios com maior ritmo de crescimento, geralmente sítios mais argilosos, são mais curtos, mais largos, com paredes mais finas e diâmetros do lúmen maiores.

4.4.4 Produção de Celulose Kraft

Os valores médios das características da celulose produzida em laboratório pelo processo Kraft, apresentaram diferenças estatísticas significativas, entre os sítios estudados (tab. 8).

Os valores médios obtidos para cada sítio referente às características da celulose produzida pelo processo Kraft, são apresentados na tabela 8.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DA CELULOSE KRAFT PRODUZIDA COM A MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA CADA SÍTIO – 2001

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	RENDIMENTO BRUTO	RENDIMENTO DEPURADO
				%	
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	50,97 a	50,69 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	50,93 a	50,65 a
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	50,88 a	50,61 a
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	49,11 b	48,83 b
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	49,07 b	48,79 b
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	49,04 b	48,76 b
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	48,97 b	48,69 b
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	48,83 b	48,56 b
C.V. ⁽¹⁾ (%)				0,35	0,36
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PORCENTAGEM DE REJEITOS	NÚMERO <i>Kappa</i> ⁽²⁾
				%	
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	0,264 a	31,04 ab
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	0,268 a	30,85 a
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	0,280 a	31,13 b
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	0,280 a	31,06 ab
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	0,280 a	31,05 ab
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	0,280 a	31,41 c
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	0,280 a	31,05 ab
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	0,284 a	31,47 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)				11,47	20,91

NOTAS: As médias das características da celulose kraft produzida, acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si a 95% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação

⁽²⁾ Adimensional

Observa-se que os rendimentos médios obtidos nos cozimentos experimentais foram semelhantes entre os sítios estudados, e com valores normais para coníferas quando tratadas pelo processo Kraft, cuja faixa de variação em rendimento, dependendo das condições varia entre 40 e 50% (SMOOK, 1989).

Os números *Kappa* médios foram ligeiramente superiores ao proposto, porém, variaram dentro dos limites aceitáveis na experimentação e, os teores de rejeitos foram bastante baixos, demonstrando que a espécie respondeu bem as condições de cozimento.

KLOCK (2000) em um estudo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, obteve os seguintes resultados quanto às características da celulose Kraft produzida: rendimento bruto de 45,76%, porcentagem de rejeitos de 0,81% e número *Kappa* de 32,56.

De maneira geral, pode-se observar que as madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, geralmente sítios mais argilosos, propiciaram menores rendimentos em celulose (tab. 8), em função de apresentarem menores valores de massa específica (tab. 5), maiores teores de extrativos e lignina e menores de holocelulose (tab. 6), traqueídeos mais curtos, mais largos, com paredes mais finas e diâmetros do lúmen maiores (tab. 7).

4.5 CORRELAÇÕES OBTIDAS NOS SÍTIOS ESTUDADOS

4.5.1 Correlações Obtidas entre os Atributos Químicos do Solo e a Produtividade de *Pinus taeda*

Percebeu-se, de maneira geral, que a produtividade do *Pinus taeda* é afetada pelas alterações geradas nos atributos químicos do solo. Contrariando vários estudos que confirmavam que os atributos químicos do solo só apresentavam efeitos sobre a produtividade desta espécie quando considerados em conjunto.

A tabela 9 apresenta os coeficientes de correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade de *Pinus taeda*.

TABELA 9 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE *Pinus taeda* – 2001

PROFUNDIDADE (cm)	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	DAP	VOLUME TOTAL
		r			
10 - 20	pH	0,727**	0,818**		
20 - 30	pH			0,848**	
0 - 10	K			0,943**	
10 - 20	K	0,534**	0,640**	0,942**	0,671**
10 - 20	Ca+Mg	0,643**	0,710**		
20 - 30	Ca+Mg			0,922**	0,680**
0 - 10	CTC	0,506*			
20 - 30	CTC				0,628**
0 - 10	Sat. bases			0,660**	
10 - 20	Sat. bases	0,702**	0,758**	0,828**	0,719**
20 - 30	Sat. bases	0,627**	0,712**	0,898**	0,686**
0 - 10	Sat. Al			-0,616**	-0,539**
10 - 20	Sat. Al	-0,728**	-0,768**	-0,735**	-0,649**
20 - 30	Sat. Al	-0,647**	-0,712**	-0,831**	-0,663**
0 - 10	M.O.			0,536**	
10 - 20	M.O.			0,536**	
20 - 30	M.O.			0,648**	

NOTAS: * = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Dos atributos químicos do solo analisados, as maiores correlações com as variáveis da produtividade foram obtidas entre o pH, K, Ca + Mg, saturação de bases e saturação por alumínio, esta última correlacionando-se negativamente. Mas, vários outros têm sido correlacionados significativamente com parâmetros de produtividade por outros autores no Segundo Planalto Paranaense, como o Cu e o Zn do horizonte A (QUINTEROS DOLDAN, 1987). Se estes resultados forem confirmados por pesquisas posteriores, algumas destas variáveis podem chegar a contribuir para determinar a aptidão florestal dos solos para pinus.

Em concordância com os resultados obtidos no presente estudo (tab. 9), COCHRAN (1984) também encontrou correlações positivas entre o pH e o crescimento em altura de *Pinus taeda*. O que deve ter acontecido, pelo fato do pH não ter apresentado valores críticos nestes sítios, o que favoreceu o crescimento em altura desta espécie. GOOR (1965) observou correlação positiva entre a produtividade do sítio e a soma de bases trocáveis do solo, em especial a quantidade de Ca + Mg e o teor de P.

LASO GARICOITS (1990) e MENEGOL (1991), observaram que há limitações do crescimento de *Pinus taeda* relacionadas aos níveis de alguns nutrientes do solo, sendo que, entre os mais citados estão K e Ca + Mg, o que deixa claro as

correlações positivas encontradas neste trabalho, entre estes nutrientes e a produtividade desta espécie.

Apesar de ser muito mais freqüente em trabalho desta natureza encontrar melhores correlações da produtividade com as concentrações foliares do que com as variáveis do solo, foram detectadas neste trabalho boas correlações desta ordem. Isto indica que uma seleção mais cuidadosa das variáveis do solo a serem analisadas e das técnicas analíticas utilizadas, pode conduzir a resultados que melhorem a capacidade de prognose das análises de solo para fins florestais, permitindo a seleção antecipada dos melhores solos para o estabelecimento das plantações.

Os demais atributos químicos do solo apresentaram coeficientes de correlação muito baixos, não permitindo explicar variações na produtividade através destas variáveis.

4.5.2 Correlações Obtidas entre os Atributos Físicos do Solo e a Produtividade de *Pinus taeda*

A tabela 10 apresenta os coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo e a produtividade de *Pinus taeda*.

TABELA 10 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE *Pinus taeda* – 2001

PROFUNDIDADE (cm)	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	ALTURA TOTAL	DAP
		r	
10 - 20	Densidade global	-0,516**	
20 - 30	Água disponível	0,789**	
10 - 20	Porosidade total	0,507*	0,785**

NOTAS: * = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

De maneira geral, são os atributos físicos do solo que mais influenciam na produtividade do *Pinus taeda* (CORREIA et al., 1996; BROWN ; LOEWENSTEIN, 1978).

A densidade global na profundidade de 10-20 cm correlacionou-se negativamente com o crescimento em altura (tab. 10), demonstrando que o aumento dos resultados desta variável reduz o crescimento em altura.

Muitos estudos relatam a redução no crescimento com o grau de densidade global do solo, por exemplo, COCHRAN e BROCK (1985), observaram que o crescimento de *Pinus ponderosa* correlacionava-se negativamente com o aumento da densidade global do solo.

SABATÉ, GRACIA e SÁNCHEZ (2002), em um estudo sobre os prováveis efeitos das mudanças climáticas e atributos do solo no crescimento de algumas espécies típicas da região Mediterrânea, observaram que valores de densidade global menores, abaixo dos níveis críticos descritos na literatura, promoveram um maior rendimento de madeira final.

A porosidade total na profundidade de 10-20 cm foi responsável por um maior crescimento em altura (tab. 10). Deve-se considerar que nos oito sítios estudados, esta foi a profundidade que apresentou as maiores porcentagens de poros e uma distribuição bastante equilibrada entre eles.

Correlações entre crescimento reduzido, aumento de densidade global e/ou redução da aeração foram registradas, mas a contribuição de cada fator geralmente não é bem entendida. SHISHIUCHI e ADACHI (1982), em um estudo com *Japanese larch*, a altura das árvores estava reduzida em função da diminuição da porosidade total, que se correlacionava negativamente com o crescimento em altura.

A água ainda parece ser a variável mais importante entre os fatores determinantes da produção de muitas espécies de árvores. Neste estudo, a disponibilidade de água correlacionou-se positivamente com o crescimento em altura, fato este já comprovado no estudo feito por CORREIA et al., 1996.

STAPE e GOMES (1996), concluíram que há uma clara tendência entre o aumento do déficit hídrico e a redução no crescimento.

No estudo efetuado por QUINTEROS DOLDAN (1987), ficou evidente que os fatores do solo que restringem o crescimento do *Pinus taeda* estão ligados à capacidade de retenção de água, profundidade efetiva do horizonte A e grau de desenvolvimento do perfil do solo.

Os demais atributos físicos do solo apresentaram coeficientes de correlação muito baixos, não permitindo explicar variações no crescimento através destas variáveis.

4.5.3 Correlações Obtidas entre os Nutrientes no Solo e o Estado Nutricional das Árvores de *Pinus taeda*

A tabela 11 apresenta os coeficientes de correlação entre os nutrientes no solo e o estado nutricional das árvores de *Pinus taeda*.

TABELA 11 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS NUTRIENTES NO SOLO E O ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda* – 2001

PROFUNDIDADE (cm)	NUTRIENTES NO SOLO	ACÍCULA	ALBURNO		CASCA
		N	N	K	K
r					
0 - 10	K		0,520**		
10 - 20	K		0,636**		
20 - 30	K		0,759**		
20 - 30	Ca + Mg		0,516**		
10 - 20	P	-0,519**		-0,533**	
20 - 30	P				0,605**

NOTA: ** = significativo a 99% de probabilidade

As maiores correlações encontradas entre os nutrientes no solo e o estado nutricional de *Pinus taeda*, foram obtidas entre o K, Ca + Mg e P. Fato confirmado por LASO GARICOITS (1990) e MENEGOL (1991), que mostraram que há correlações entre os nutrientes no solo e o estado nutricional de *Pinus taeda*, relacionados aos níveis de alguns nutrientes, dentre os mais citados estão K, Ca + Mg e Zn.

GALLO (1972) e LEYTON e ARMSON (1965), afirmaram que existe uma alta correlação entre o teor de nutrientes no solo e a concentração do mesmo nas folhas, e que sobre certas limitações esta relação é linear.

Em um estudo sobre a influência dos fatores de sítio no conteúdo de nutrientes foliares de *Eucalyptus grandis*, HERBERT (1991), concluiu que os nutrientes do solo correlacionam-se fortemente com o conteúdo de nutrientes foliares desta espécie, sendo que os nutrientes do solo que mais se correlacionam com o estado nutricional das plantas são o N e o P.

PLOTNIKOFF, BULMER e SCHMIDT (2001), estudando as influências dos atributos do solo no crescimento de várias espécies, encontraram correlações baixas ou não significativas entre os nutrientes no solo e a concentração de nutrientes foliares.

4.5.4 Correlações Obtidas entre o Estado Nutricional das Árvores e a Produtividade de *Pinus taeda*

Não foi encontrada nenhuma correlação entre a produtividade de *Pinus taeda* e o estado nutricional das árvores.

No entanto, MENEGOL (1991), selecionou variáveis nutricionais que podem servir de base para o estudo do crescimento em altura do *Pinus elliottii*, e concluiu que os teores de Mg e Zn são os fatores mais limitantes ao crescimento em altura desta espécie.

QUINTEROS DOLDAN (1987) encontrou forte correlação do crescimento em altura de *Pinus taeda* com os teores de N, Zn e Cu foliares e profundidade do horizonte superficial do solo, considerando estas variáveis como as mais limitantes para o crescimento dessa espécie no Segundo Planalto Paranaense.

TRUMAN (1983) relacionando o crescimento com a concentração de nutrientes foliares, especificamente para o *Pinus radiata* na Austrália, recomendou para solos com baixos teores de P que a relação Ca/Al do solo pode ser importante para conhecer a condição "status" do P, pois o Al diretamente por antagonismo, ou indiretamente reduzindo o crescimento das raízes, reduz a absorção e/ou transporte, tanto do Ca como do P.

Um fato interessante foi publicado por HOYLE e MADER (1964), em seus estudos de relações de nutrientes foliares com o crescimento de *Pinus resinosa* Ait., nos Estados Unidos. Eles verificaram que as várias partes de crescimento das árvores, parecem estar relacionadas diferentemente com a nutrição. O crescimento em altura correlacionou-se fortemente com níveis de Ca, o crescimento da área basal com níveis de K, e o crescimento em volume correlacionou-se principalmente à reserva de umidade do solo.

KIM e HAN (1997), estudando a variação nas características de crescimento de *Pinus densiflora*, encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura e os conteúdos foliares de P, K e Ca.

LASO GARICOITS (1990) encontrou correlações entre os valores médios de crescimento em volume e altura total com as variáveis foliares, mostrando que o crescimento no referido ano esteve altamente correlacionado com o K, Zn, Cu e o Mg. O que confirma a interpretação dos resultados das análises foliares de que a

4.5.6 Correlações Obtidas entre os Atributos Físicos do Solo e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft

A tabela 13 apresenta os coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft.

TABELA 13 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT – 2001

PROF. (cm)	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	LIGNINA	EXTRATIVOS	HOLOCELULOSE	CELULOSE
r					
0 - 10	Densidade global	-0,591**	-0,500*	0,570**	
0 - 10	Porosidade total	0,548**	0,540**	-0,582**	
20 - 30	Porosidade total		0,605**		
0 - 10	Macroporosidade		0,742**	-0,620**	-0,641**
PROF. (cm)	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	LARGURA DO TRAQUEÍDEO	DIÂMETRO DO LÚMEN	RENDIMENTO BRUTO	RENDIMENTO DEPURADO
r					
10 - 20	Densidade global	-0,513*			
10 - 20	Porosidade total	0,557**	-0,508*	-0,613**	
20 - 30	Macroporosidade				-0,732**
0 - 10	Água disponível				-0,746**
20 - 30	Água disponível				-0,544**

NOTAS: * = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Foram encontradas algumas correlações entre os atributos físicos do solo e a qualidade da madeira. Mas, como na literatura disponível, existem poucos trabalhos que expliquem estas correlações, fica nesta questão um ponto a ser explorado em pesquisas futuras.

Embora os resultados obtidos não tenham encontrado nenhuma correlação entre os atributos físicos do solo e a massa específica da madeira, TSOUMIS e PANAGIOTIDIS (1980), estudando os efeitos das condições de crescimento nas características da qualidade da madeira de *Pinus nigra*, verificaram que a massa específica da madeira é altamente correlacionada com a qualidade do sítio, principalmente quanto aos seus atributos físicos. SCHULTZ, CHRISTIE e HERMAN (1991), estudando as relações de sítio para as propriedades da madeira de pinus plantadas na África do Sul (*Pinus patula*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), concluíram que a massa específica da madeira foi influenciada pelos atributos físicos do solo.

4.5.7 Correlações Obtidas entre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft

A tabela 14 apresenta os coeficientes de correlação entre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft.

TABELA 14 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT – 2001

PRODUTIVIDADE	LARGURA DO TRAQUEÍDEO	DIÂMETRO DO LÚMEN DO TRAQUEÍDEO
r		
Altura total		0,512**
Altura comercial	0,522**	0,500*
PRODUTIVIDADE	ESPESSURA DA PAREDE DO TRAQUEÍDEO	RENDIMENTO BRUTO
r		
Altura total	-0,513**	-0,500*
Altura comercial	-0,534**	-0,508*

NOTAS: * = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

Foram encontradas algumas correlações entre a produtividade e a qualidade da madeira. Mas, como na literatura disponível, existem poucos trabalhos que expliquem estas correlações, fica nesta questão um ponto a ser explorado em pesquisas futuras.

Embora, não tenha sido encontrada nenhuma correlação entre o crescimento diametral e a qualidade da madeira nesse estudo, FUJIWARA e YANG (2000), por exemplo, observaram em *Pinus banksiana*, *Picea Mariana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*, correlação entre o comprimento e a espessura da parede celular dos traqueídeos com a taxa de crescimento em circunferência, sendo a relação negativa.

4.5.8 Correlações Obtidas entre o Estado Nutricional das Árvores e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft

Não foi encontrada nenhuma correlação entre o estado nutricional das árvores e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft.

5 CONCLUSÕES

- ✓ Os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertencem, propiciaram maiores produtividades do *Pinus taeda*.
- ✓ Percebeu-se, de maneira geral, que a produtividade do *Pinus taeda* é afetada pelos atributos físicos e químicos do solo. Contrariando vários estudos que confirmavam que os atributos químicos do solo só apresentavam efeitos sobre a produtividade quando considerados em conjunto.
- ✓ Com relação às propriedades da madeira, embora os atributos químicos do solo tenham influenciado, os atributos físicos do solo demonstraram ter maior influência nestas propriedades e, conseqüentemente, no rendimento em celulose.
- ✓ De maneira geral, as madeiras provenientes de sítios com ritmo de crescimento elevado, sítios com texturas mais argilosas, apresentaram menores valores de massa específica básica, maiores teores de extrativos e lignina e, conseqüentemente, menor teor de holocelulose e celulose, traqueídeos mais curtos, mais largos, com paredes mais finas e diâmetros do lúmen maiores e, em conseqüência disso, maior deslignificação e menor rendimento em celulose.
- ✓ A partir dos resultados obtidos neste trabalho, concluiu-se ser possível, a previsão de determinadas propriedades da polpa celulósica através da análise das características da madeira, que são resultantes das condições edáficas reinantes.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7537**: Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1998.

ABTCP. **ABTCP M 3/69, ABTCP M 10/71, ABTCP M 9/71**: Normas de ensaio. São Paulo, 1968. Não paginado.

ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. São Paulo: Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 1961. 667 p.

ARIMA, T. Effects of simulated growth by fertilization and thinning on fibril angle and chemical composition of young Douglas Fir. **Forest Products Journal**, Madison, v. 16, n. 11, p. 57, 1966.

ARMSON, K. A. Soil and plant analysis techniques as diagnostic criteria for evaluating fertilizer needs and treatment response. **USDA Forest Service**, General Technical Report (NE-3), [S.l.], p. 155-166, 1973.

ASSIS, R. L.; BAHIA, V. G. Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 71-78, 1998.

BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BAKER, R. T.; SMITH, H. G. Wood fibers of some Australian timbers. **Journal Councill Science Industry Research**, Melbourne, v. 14, n. 4, p. 266-280, 1924.

BAREFOOT, A. C.; HITCHINGS, R. G. The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties. **Forestry Abstracts**, Oxford, v. 32, n. 4, 1971.

BAREFOOT, A. C.; HITCHINGS, R. G.; ELLWOOD, E. L. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines: I. Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 46, n. 6, p. 343-355, 1964.

BAREFOOT, A. C.; HITCHINGS, R. G.; ELLWOOD, E. L. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines: III. Effect of fiber morphology on pulps examined at a constant permanganate number. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 49, n. 4, p. 137-147, 1966.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari para a produção de celulose kraft.** Piracicaba, 1979. 167 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica e características da fibra de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, [S.I.]. **Anais...** [S.I.: s.n.], 1983.

BARRICHELO, L. E.G.; BRITO, J. O. A madeira de *Pinus taeda* como matéria-prima para celulose Kraft: I. Influência dos teores de lenho. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1978, Manaus. **Anais...** Manaus: [s.n.], 1978. p. 1-18.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1983, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p. 732-733.

BARROS, N. F. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus alba*, na região de Santa Bárbara - MG.** Viçosa, 1974. 183 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

BARTZ, H. R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3 ed. Passo Fundo. SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 224 p.

BAULE, H.; FRICKER, C. **The fertilizer treatment of forest trees.** Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1970. 259 p.

BELLOTE, A. F. J. et al. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função de idade: I. Macronutrientes. **Boletim Técnico do IPEF**, Piracicaba, v. 20, p. 1-23, 1980.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. Proc.: Impact of the changing quality of timber resources. **Forest Products Journal**, Madison, v. 78, n. 21, p. 26-38, 1978.

BENDTSEN, B. A.; 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.

BETHUME, J. E. Distribution of slash pine as related to certain climatic factor. **Forest Science**, Lawrence, v. 6, n. 1, p. 11-17, 1960.

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, (S.I.). **Proceedings...** [S.I.: s.n.], 1990. p. 139-147.

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

BLAIR, B. L.; ZOBEL, B. J.; BARKER, J. A. Predictions of gain in pulp yield and tear strength in Young loblolly pine through genetic increases in wood density. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 58, n. 1, p. 89-91, 1975.

BORGES, E. N. **Resposta da soja e do eucalipto a camadas compactadas de solo**. Viçosa, 1986. 54 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Indicações para a utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus na construção civil**. São Carlos, 1993. 119 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura – Tecnologia do Ambiente Construído) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. Curitiba, 1999. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 11. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.

BRAZIER, J. D. The effect of forest practices on quality of the harvest crop. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 16., 1976, Oslo. **Proceedings...** Oslo: Norwegian Forest Research Institute, 1976. p. 83-89.

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *P. caribaea* var. *bahamensis***. Piracicaba, 1983. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BROWN, H. G.; LOEWESTEIN, H. Predicting site productivity of mixed conifer stands in Northern Idaho from soil and topographic variables. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 42, n. 6, p. 967-971, 1978.

BUIJTENEN, J. P. van. Controlling wood properties by Forest management. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 52, n. 2, p. 257-259, 1969.

BURESHI, R. J.; TIAN, G. Soil improvement by agroforestry In sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, n.13, p. 51-76, 1997.

BURLEY, J. Tracheid length variation in a single tree of *Pinus kessiya* Royle ex Gord. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 3, p. 109-116, 1969.

BYRD, V. L. Wood characteristics and Kraft paper properties of four selected loblolly pines: II. Wood chemical constituents and their relationship to fiber morphology. **Forest Products Journal**, Madison, v. 15, n. 8, p. 313-320, 1965.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Abril, 1997. 132 p.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies in xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.

CARVALHO, A. P. et al. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, jul./dez. 1999.

CLARKE, C. R. E.; WESSELS, A. M. Variation and measurements of pulp properties in eucalyptus. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: (s.n.), 1995. p. 42-44.

CLARKE, C. R. E. et al. Effect of differences in climate on grown, wood and pulp properties of nine eucalyptus species at two sites. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 82, n. 7, p. 89-99, 1999.

CLEVELAND, M .K.; WOOTEN, T. E.; SAUCIER, J. K. Annotated bibliography on the effects of fertilization on wood quality. **Forest Research Series**, Clemson, 53 p., 1974.

COCHRAN, P. H. Soils and productivity of *Pinus taeda*. In: BAUMGARTNER, D. M. (Ed.), **Proceedings... SYMPOSIUM ON *Pinus taeda*: Management**, may 1984, Spokane: [s.n.], 1984, p. 52-54.

COCHRAN, P. H.; BROCK, T. **Bulk density and initial height growth of planted ponderosa pine**. Research Note PNW-434. Pacific North West Forest and Range Experiment Station. 4 p., 1985.

COILE, T. S. Soil and the growth of forest. **Advances in Agronomy**, New York, v. 4, p. 329-398, 1952.

COLE, D. E.; ZOBEL, B. J.; ROBERTS, J. H. Slash, loblolly and longleaf pine in a mixed natural stand: a comparison of their wood properties, pulp yields and paper properties. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 49, n. 4, p. 161-166, 1966.

CORREIA, J. R. et al. Estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do gênero *Pinus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 161-169, 1996.

COWN, D. J. Comparison of the effect of two thinnings regimes on some wood properties. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 4, n. 3, p. 540-551, 1974a.

COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 19, p. 84-94, 1974b.

COWN, D. J. Radiata pine: wood age and wood property concepts. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 10, n. 3, p. 504-507, 1980.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: [s.n.], 1993. 90 p.

DADSWELL, H. E. The role of wood anatomy in forest botany. **Journal Council Science and Industry Research**, Melbourne, v. 12, n. 2, p. 137-143, 1939.

DASWELL, H. E. Wood structure variation occurring during tree growth and their influence on properties. **Wood Science**, Madison, v. 1, p. 11-32, 1958.

DADSWELL, H. E.; NICHOLLS, J. W. P. Assessment of wood qualities for tree breeding: I. *Pinus elliottii* var. *Elliottii* from Queensland. **Division Forestry Products Tech.**, v. 4, 16 p., 1960.

DAVIDE, A. C. Seleção de espécies vegetais para a recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1994, Foz de Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 111-122.

DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 48, n. 8, p. 440-446, 1965.

DUEÑAS, R. S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel**. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 1997. 293 p.

DUFFIELD, J. W. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**, Madison, v. 11, n. 5, p. 211-213, 1961.

DURLO, M. A. Determinação de variáveis para a caracterização de *Pinus elliotti* com finalidade estrutural. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO ESTADUAL, 6., 1988. **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal, 1988, v. 2, p. 1097-1113.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ELLIOTT, K. G. **Wood density in conifers**. Oxford: Commonwealth Forestry Bureau, 1970 (Technical Communication).

FARIA, J. M. R. **Comportamento de espécies florestais em diferentes sítios e adubações de plantio**. Lavras, 1996. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry: ultrastructure, reactions**. Walter de Gruyter. Berlin, 1989.

FENNER, P. T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita de madeira**. Botucatu, 1999. 135 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63 p.

FERREIRA, C. A. et al. Nutrição de *Pinus* no Sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 60, 23 p., 2001.

FIELDING, J. M. The influence of silvicultural practices on wood properties. **International Review of Forestry Research**, New York, v. 2, p. 95-126, 1967.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FOELKEL, C. E. B. Celulose Kraft de *Pinus* spp. **O Papel**, São Paulo, v. 18, p. 49-67, 1976a.

FOELKEL, C. E. B. Celulose Kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, v. 12, p. 127-142, 1976b.

FOELKEL, C. E. B.; BARICHELLO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **Boletim Técnico ABTCP**, São Paulo, v. 13, p. 28-33, 1975.

FREIRE, J. C. **Retenção de umidade em perfil oxissol do município de Lavras, Minas Gerais**. Piracicaba, 1975. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FROEHLICH, H. A. et al. **Predicting soil compaction on forested land**. Oregon: Forest Service, 1980. 50 p. (Final Projekt Report to U.S.).

FROEHLICH, H. A.; MILES, D. W. R.; ROBBINS, R. W. Soil bulk density recovery on compacted skid trails in Central Idaho. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 49, p. 1015-1017, 1985.

FROEHLICH, H. A.; MILES, D. W. R.; ROBBINS, R. W. Growth of young *Pinus ponderosa* and *Pinus contorta* on compacted soil in Central Washington. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.15, p. 285-293, 1986.

FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 21, n. 3, p. 335-346, 2000.

GALLO, J. R. Análise foliar como meio de caracterização de propriedades químicas do solo. In: MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972.

GAISER, R. N. Relation between soil characteristics and site index of Loblolly pine in the Coastal Plain Region of Virginia and the Carolinas. **Journal of Forestry**, (S.I.), p. 271-275, 1950.

GENT, J. A. et al. Impact of site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 173-177, 1984.

GESSEL, S. P. Concepts of forest productivity. In: IUFRO CONGRESS, 14., 1967, Miinchen. **Proceedings...** Miinchen, 1967. p. 36-50.

GLADSTONE, W. T.; BAREFOOT, A. C.; ZOBEL, B. J. Kraft pulping of earlywood and latewood from loblolly pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 20, n. 20, p. 17-24, 1970.

GLADSTONE, W. T.; IFJU, G. Some influences of wood morphology on kraft pulping of loblolly pine. **TAPPI Journal**, Atlanta, p. 13-19, 1974.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para o reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico IBDF**, Brasília, v. 1, p. 3-71, 1974.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24-39, 1990.

GOODWIN-BALEY, C. J. **Relationship between anatomical and end use properties of the wood of selected tropical pines**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1989.

GOOR, C. P. van. **Reflorestamento com coníferas no Brasil**: aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. [S.l.]: Ministério da Agricultura, D.R.N.R., Divisão Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais, 1965. Não paginado (Boletim 9).

GOOR, C. P. van. Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliottii* Eng. Var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 4, p. 349-366, 1966.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Bulk density of forest soils. A review. **Australian Journal Soil Research**, Callingwood, v. 18, p. 163-189, 1980.

HÄGLUND, B.; LUNDMARK, J. E. Site index estimation by means of site properties. Scots pine and Norway spruce in Sweden. **Studia Forestalia**, Uppsala, v. 138, p. 5-37, 1977.

HALVERSON, H. G.; ZISA, R. P. **Measuring the response of conifer seedlings to soil compaction stress**. Broomall, USDA Forest Service, 1982. 65 p. (Pap NE-599).

HARRIS, J. M. Phosphate deficiency and wood density in radiata pine: examination with a beta ray densitometer. **Forest Research Institute**, Rotorua, n. 187, 11 p., 1966.

HARRIS, J. M. Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub tropical conditions. In: IUFRO WORKSHOP, 1977, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: [s.n.], 1977, p. 112-115.

HERBERT, M. A. The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. **South African Forestry Journal**, Petroria, n. 156, p. 28-34, 1991.

HICKS, R. R.; FRANK JÚNIOR, P. S. Relationship of aspects to soil nutrients, species importance and biomass in a forested watershed in West Virginia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 8, p. 281-289, 1984.

HILDEBRAND, E. E. Medium to root growth. In: IUFRO/ECE INTERACTIVE WORKSHOP AND SEMINAR: SOIL, TREE, MACHINE INTERACTIONS, 1994, Germany. **Proceedings...** Germany, 1994.

HOCKER JÚNIOR, H. W. Certain aspects of climate as related to the distribution of Loblolly pine. **Ecology**, Washington, v. 37, n. 4, p. 824-834, 1956.

HOYLE, M. C.; MADER, D. L. Relationships of foliar nutrients to growth of red pine in Western Massachusetts. **Forest Science**, Bethesda, v. 10, n. 3, p. 337-347, 1964.

HUGHES, J. F. The wood structure of *Pinus caribaea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J.; NIKKLES, D. G. **Selection and breeding to improve some tropical conifers**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1973, p. 13-22.

INCERTI, M.; CLINNCK, P. F.; WILLATT, S. T. Changes in the physical properties of a forest soil following logging. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.17, p. 91-97, 1987.

IPT. **Celulose e papel**. 2. ed. São Paulo. 1988, v. 1.

IWARIKI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. Curitiba, 1989. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JACKSON, L. W. R.; MORSE, W. E. Tracheid length variation in single rings loblolly, slash shortleaf pine. **Journal of Forestry**, [S.l.], v. 63, p. 110-112, 1965.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 81, 18 p., 1979.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n.41/42, p. 83-93, 1989.

KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kioto. **Proceedings...** Kioto, 1981, p. 77-87.

KIM, K. S.; HAN, Y. C. Variation in growth characteristics of *Pinus densiflora* S. et Z. at eight experimental plantations in Korea. **Journal of Korean Forestry Society**, Seoul, v. 86, n. 2, p. 119-127, 1997.

KLEM, G. S. Quality of wood from fertilized trees. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 51, n. 11, p. 99A-103A, 1968.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morlet var. *hondurensis* Barr. e Golf.** Curitiba, 1989. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 2000. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer, 1968.

KRAMER, P.; KOZLOWSK, T. T. **Fisiologia das árvores.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 74 p.

LAL, R. The role of physical properties in maintaining productivity of soils in the tropics. In: LAL, R.; Greenland, D. J. (Ed.). **Soil physical properties and crop production in the tropics.** Chichester: J. Wiley & Sons, 1979. p. 3-6.

LARA PALMA, H. A. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LASO GARICOITS, L. S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba.** Curitiba, 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LA TORRACA, S. M. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em latossolo vermelho escuro, na região de Agudos, SP. **Boletim Técnico do IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.

LEYTON, L.; ARMSON, K. A. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 1, n. 3, p. 210-218, 1965.

LIPIEC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 149, p. 175-184, 1993.

LOPES, A. S. **Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soil in relation to their physical, chemical, and mineralogical properties**. Raleigh, 1977. 189 f. Thesis (PhD) - North Carolina State University.

LOWERY, R. F. et al. Vegetation management in tropical forest plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 23, p. 2006-2014, 1993.

LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARCHI, S. R. Efeito de períodos de conveniência do controle de plantas daninhas na cultura de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO EM FLORESTAS, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba. CNPFloresta, 1995. p. 122-123.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATSUNAGA, D. K. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada (CEN), á construção de vigas laminadas coladas.** Curitiba, 1995. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

MEAD, D. J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (Eds). **Nutrition of plantations forests**. London: Academic, 1984. p. 259-291.

MEAD, D. J.; PRITCHETT, W. L. Variation of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn and Al in slash pine foliage. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 5, p. 291-301, 1974.

MEAD, D. J.; WILL, G. M. Seasonal and between-tree variation in the nutrient levels in *Pinus radiata* foliage. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 6, p. 3-13, 1976.

MEDINA, G. P. Água no solo. In: MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. p. 45-57.

MELLO, F. A .F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba, 1982. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. Curitiba, 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MITCHELL, H. L. Breeding for high-quality wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 20, p. 1-13, 1956.

MOORE, W. E.; EFFLAND, M. Chemical composition of fast growth juvenil wood and slow-growth mature sycamore and cotton-wood. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 57, n. 8, p. 96-98, 1974.

MORESCHI, J. C. **Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil**. Curitiba, 1976. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

MUZILLI, O. **Análise de solos**. Londrina: Fundação IAPAR, 1978. 49 p. (Circular 9).

NAMBIAR, E. K. S.; SANDS, R. Competition for water and nutrients in forests. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 23, p. 1955-1968, 1993.

NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 60, p. 1629-1642, 1996.

NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. Towards sustained productivity of tropical plantations: science and practice. In: NAMBIAR, E. K. S (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Australia: 1997, p. 527-553.

NICHOLLS, J. W. P. The effect of environment on wood characteristics. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 20, n. 3, p. 67-73, 1971.

OHTA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densitometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. **Moduzai Gakaishi**, [S.I.], v. 27, p. 157-162, 1981.

OLIVEIRA, C. V.; BAHIA, V. G.; PAULA, M. B. de. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 46-48, 1998.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. **Ecologia**, Madrid, n. 2, p. 155-184, 1988.

PALMER, E. R.; GIBBS, J. A. Pulping characteristics of three trees of *Pinus caribaea* with different densities grown in Jamaica. **Tropical Products Institute Report**, London, v. 30, p. 1-24, 1973.

PANSHIN, A. J.; ZEEW, C. de. **Text book of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 905 p.

PAULA, M. B. de; ASSIS, R. L.; BAHIA, V. G. Efeitos do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 66-70, 1998.

PAYN, T.W.; CLOUGH, M. E. Seasonal variation of foliar concentrations in *Pinus radiata* in the Southern Cape. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 143, p. 37-41, 1987.

PEREIRA, J. C. D. **A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. Piracicaba, 1982. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PEREIRA, J. C. D. **Formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii***. Curitiba, 1992. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PETERSEN, G. W. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: I Moisture retention as related to texture. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 32, p. 271-275, 1968.

PLOTNIKOFF, M. R.; BULMER, C. E.; SCHMIDT, M. G. Soil properties and tree growth on rehabilitated forest landings in the interior cedar hemlock biogeoclimatic zone: British Columbia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 1-17, 2001.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500 p.

QUINTEROS DOLDAN, M. E. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa**. Curitiba, 1987. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RAB, M. A. Changes in physical properties of a soil associated with logging of *Eucalyptus regnans* forest in Southern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 70, n. 13, p. 215-229, 1994.

RANEY, W. A.; EDMINSTER, T. W. Approaches to soil compaction research. **Transaction of the ASAE**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 246-250, 1961.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, p. 1-15, 1987.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; SOUZA, M. L. de P. **Classificação de sítio para *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* no Segundo Planalto do Paraná**: Subprojeto I. Nutrição. Curitiba: UFPR/FUNPAR/FINEP, 1990, p. 1-286.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.

RUDMAN, P.; MCKINNELL, F. H. Effect of fertilizers on wood density of young radiata pine. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 34, p.170-178, 1975.

RYDHOLM, S. A. **Pulping processes**. London: Interscience. 1965. 1269 p.

SABATÉ, S.; GRACIA, C. A.; SÁNCHEZ, A. Likely effects of climate change and soil properties on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 156, p. 1-15, 2002.

SANDS, R.; MULLIGAN, D. R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 91-111, 1990.

SANSÍGOLO, C. A. **Seleção de árvores matrizes para a produção de polpa Kraft-AQ**. Botucatu, 2000. 157 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SANTOS FILHO, A. Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos do Estado do Paraná. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 7, p. 43-46, 1985.

SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. da. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, p. 107-111, 1987.

SANTOS, C. F. O.; MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. The effect of concentrations of the majors nutrients N, P na K on the increase in thickness of the tracheid walls of *Pinus elliottii* (pot plants). **Boletim Técnico IPF**, Piracicaba, v. 24, p. 317-322, 1967.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.

SCHAITZA, E. G.; MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D. Metodologías sencillas y baratas para análisis de imagem en laboratorios de calidad de madera. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO IUFRO, 1., 1998, Valdivia. **El manejo sustentable de los recursos forestales, desafio del siglo XXI**: acta. Valdivia, 1998. 1 CD Rom.

SCHÖUNAU, A. P. G.; ALDWORTH, W. J. K. Site evaluation in Black Wattle with special reference to soil factors. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 156, p. 35-43, 1991.

SCHUTZ, C. J.; CHRISTIE, S. I.; HERMAN, B. Site relationships for some wood properties of pine species in plantation forests of Southern Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 156, p.1-6, 1991.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELLO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 24., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1991. p. 23-26.

SHISHIUCHI, M.; ADACHI, K. Influence of bulk density on soil surface condition: I. Effect of bulk density on the growth of planted Japanese larch seedlings. **Journal Japanese Forest Society**, [S.l.], v. 64, n. 4, p. 136-142, 1982.

SIDDIQUI, K. M. **Some effects of potassium fertilization on the properties of wood and pulp from red pine**. Syracuse, 1970. 102 f. Thesis (M.S.) - State University College of Forestry at Syracuse, University of Syracuse.

SIDDIQUI, K. M. **influence of fertilization on the ultra structure and chemical composition of wood**. Syracuse: [s.n.], 1972. 151 p.

SILVA JÚNIOR, F. G. da; VALLE, C. F.; MUNER, J. C. G. Programa de qualidade da madeira da VCP. **O Papel**, São Paulo, v. 1, p. 35-43, 1996.

SILVA JÚNIOR, F. G. da; BRAGA, E. do P. Potencial da seleção precoce do *Pinus taeda* em função da qualidade da madeira destinada a produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1997.

SMELTZER, D. L. K.; BERGDAHL, D. R.; DONELLY, J. R. Forest ecosystem responses to artificially induced soil compaction. II. Selected soil microorganism populations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 16, p. 870-872, 1986.

SMITH, D. M.; WISLIE, M. C. Some anatomical responses of loblolly pine to soil-water deficiencies. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 44, p. 179-189, 1961.

SMITH, W. E.; BYRD, V. L. Fiber bonding and tensile stress-strain properties of early-wood and latewood handsheets. **Forest Products Journal**, Madison, v. 193, p. 1-9, 1972.

SMITH, C. T. The effect of forest practices on bulk density. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, august, p. 19-21, 1994.

SMITH, C. W. Assessing compaction susceptibility of forestry soils. **Bulletin Series [of] Institute for Commercial Forestry Research**, South Africa, n. 8, p. 1-16, 1995.

SMOOK, G. A. Handbook for pulp and paper technologists. Joint Textbook. Committee of the Paper Industry. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 72, n. 7, 1989.

SPURR, S. H. **Forest ecology**. New York: Ronald, 1964. 352p.

STAPE, J. L.; GOMES, A. N. Influência dos estresses hídrico e nutricional no crescimento de plantios de eucaliptos no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SBCP, 1996. p. 122-132.

STUMP, E. Valores físico-mecânicos de *Pinus* spp. em comparação com *Araucaria angustifolia*. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata, **Anais...** Nova Prata: [s.n.], 1992. p. 1413-1420.

TAMM, C. O. Nutrient requirements of forest stands. **International Review of Forest Research**, [S.l.], v. 1, p. 115-170, 1964.

THEODOROU, C.; CAMERON, J. N.; BOWEN, G. D. Growth of roots of different *Pinus radiata* genotypes at different strength and aeration. **Australian Forestry Resources**, Canberra, v. 54, n. 12, p. 52-59, 1991.

TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* spp. produzida em reflorestamento. In: PESQUISAS em recursos florestais do Estado do Paraná. **Relatório Final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMASELLI, I.; CASTRO, N. S. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel. In: PESQUISAS em recursos florestais do Estado do Paraná. **Relatório Final**. Curitiba: FINEP/UFPR, 1980.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TRUMAN, R. Prediction of the site index for *Pinus radiata* at Millions Range State Forest, new South Wales. **Australian Forestry Research**, Canberra, v. 13, p. 207-215, 1983.

TSOUMIS, G.; PANAGIOTIDIS, N. Effect of growth condition on quality characteristics of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.). **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 14, p. 301-310, 1980.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

UPRICHARD, J. M. Pulps from: New Zealand grown *Pinus patula* and *Pinus taeda*. **Appita**, Melbourne, v. 24, n. 1, p. 52-59, 1970.

USDA FOREST SERVICE - Technology transfer, *Pinus taeda*. Disponível em <<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/SoftwoodNA/htmlDocs/pinustaeda.html>> Acesso em: 25/02/2000.

VETTORAZZO, S. C. **Intensidade e local de amostragem para avaliação nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* L.** Piracicaba, 1994. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

WAKELEY, P. C. Single commercial thinnings in variously spaced slash and loblolly pine plantations. **Forestry Service Research Paper**, [S.I.], n. 50, 12 p., 1969.

WARDROP, A. B. Cell wall organization and properties of the xylem. I. Cell wall organization and the variation of breaking load in tension of the xylem in conifer stems. **Australian Journal Science Research**, [S.I.], p. 391-414, 1951.

WELLS, C. G.; METZ, L. J. Variation in nutrient content of loblolly pine needles with season, age, soil, and position on the crown. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 27, p. 90-93, 1963.

WENGER, K. F. The sprouting of sweetgum in relation to season of cutting and Carbohydrat. **Plant Physiology**, Belmont, v. 28, p. 35-49, 1953.

WOLKOWSKI, R. P. Relationship between soil properties, nutrient availability and crop growth: a review. **Journal Prod. Agric.**, [S.I.], v. 3, n. 4, p. 464-469, 1990.

WORRAL, J. et al. Properties of some Caribbean Pine (kraft) pulps and their relationship to wood specific gravity variables. **Forestry Abstracts**, Oxford, v. 49, n. 3, 1978.

WORRELL, R.; HAMPSON, A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – a review. **Forestry**, (S.I.), v. 70, n. 1, p. 61-84, 1997.

WRIGHT, J. A.; JAMEEL, H.; DVORAK, W. Laboratory kraft pulping of juvenile tropical pines: *Pinus patula*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* and *P. chiapensis*. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 79, n. 4, p. 187-190, 1996.

ZOBEL, B. J.; RHODES, R. R. Relationship of wood specific gravity in Loblolly pine to growth and environmental factor. Texas Forest Service. **Technical Reprint**, v. 11, p. 1-32, 1965.

ZOBEL, B. J.; JETT, B. J.; HUTTO, R. Improving wood density of short-rotation southern pines. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 61, n. 3, p. 41-44, 1978.

ZOBEL, B. J.; THORJORSEN, E.; HENSON, F. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 9, n. 6, p. 149-158, 1960.

ZOBEL, B. J.; WEBB, C.; HENSON, F. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 42, n. 5, p. 345-356, 1959.

ZOBEL, B. J.; WYK, G. V.; STAHL, P. **Growing exotic forest.** New York: J. Wiley & Sons. 1987. 508 p.

ZÖTTL, H. M. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In: **FAO/IUFRO INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST FERTILIZATION, 1973, Paris. Proceedings....** Paris: Ministère de l'Agriculture, 1973. p. 75-95.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES	103
APÊNDICE 2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES	104
APÊNDICE 3 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> ...	105
APÊNDICE 4 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA PRODUTIVIDADE DE <i>Pinus taeda</i>	106
APÊNDICE 5 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i>	107
APÊNDICE 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i>	108
APÊNDICE 7 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i>	109
APÊNDICE 8 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT DA MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i>	110
APÊNDICE 9 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SÍTIOS ESTUDADOS NESTE TRABALHO	111

APÊNDICE 1 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES

CARACTERÍSTICA ⁽¹⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
pH	0,07095	0,00034	210,22220**
Potássio	0,07335	0,00022	332,15090**
Cálcio + Magnésio	4,61837	0,08855	52,15798**
Capacidade de troca de cátions	19,78137	0,25253	78,33432**
Saturação de bases	241,33170	3,77727	63,89058**
Saturação por alumínio	912,98750	14,82933	61,56632**
Matéria orgânica	460,25490	3,48931	131,90420**
Fósforo	26,14280	0,17000	153,78120**
CARACTERÍSTICA ⁽²⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
pH	0,08660	0,00054	161,11180**
Potássio	0,06114	7,50E-05	815,20630**
Cálcio + Magnésio	6,58514	0,04116	159,97920**
Capacidade de troca de cátions	18,64815	1,80604	10,32544**
Saturação de bases	358,01970	5,29936	67,55902**
Saturação por alumínio	1084,84100	7,80384	139,01380**
Matéria orgânica	267,37920	2,39423	111,67670**
Fósforo	17,73565	0,18375	96,52057**
CARACTERÍSTICA ⁽³⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
pH	0,08655	0,00014	610,95800**
Potássio	0,09047	4,17E-05	217,20000**
Cálcio + Magnésio	9,01370	0,01487	606,13300**
Capacidade de troca de cátions	18,06205	0,33214	54,38126**
Saturação de bases	440,56150	1,79287	245,73000**
Saturação por alumínio	1033,48100	4,78926	215,79130**
Matéria orgânica	391,45010	2,62885	121,51690**
Fósforo	14,44548	0,10792	133,85770**

NOTAS: $F_{05}(7,16) = 2,66$

$F_{01}(7,16) = 4,03$

** = significativo a 99% de probabilidade

⁽¹⁾ Profundidade de 0–10cm

⁽²⁾ Profundidade de 10–20 cm

⁽³⁾ Profundidade de 20–30 cm

APÊNDICE 2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES

CARACTERÍSTICA ⁽¹⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
Densidade global	0,07186	0,00515	13,96536**
Água disponível	0,00067	2,44E-05	27,51416**
Porosidade total	0,01827	0,00108	16,96640**
Macroporosidade	0,01728	0,00085	20,21918**
CARACTERÍSTICA ⁽²⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
Densidade global	0,01930	0,00141	13,65712**
Água disponível	8,85E-05	3,01E-05	2,93870*
Porosidade total	0,00693	0,00027	25,37550**
Macroporosidade	0,01108	0,00077	14,34445**
CARACTERÍSTICA ⁽³⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,16)
Densidade global	0,03164	0,00664	4,76645**
Água disponível	0,00031	4,81E-05	6,36485**
Porosidade total	0,00752	0,00121	6,21722**
Macroporosidade	0,01287	0,00105	12,28045**

NOTAS: $F_{05} (7, 16) = 2,66$

$F_{01} (7, 16) = 4,03$

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

⁽¹⁾ Profundidade de 0–10 cm

⁽²⁾ Profundidade de 10–20 cm

⁽³⁾ Profundidade de 20–30 cm

APÊNDICE 3 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA ⁽¹⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Nitrogênio	4,19646	1,19687	3,50621**
Fósforo	0,03291	0,00644	5,11201**
Potássio	0,92973	0,25723	3,61360**
Cálcio	1,44879	0,62798	2,30707 ^{ns}
Magnésio	0,01508	0,01435	1,05074 ^{ns}
CARACTERÍSTICA ⁽²⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Nitrogênio	0,03626	0,00521	6,95414**
Fósforo	0,00276	0,00024	11,38650**
Potássio	0,01130	0,00151	7,49301**
Cálcio	0,44231	0,03783	11,69115**
Magnésio	0,00051	0,00019	2,65438*
CARACTERÍSTICA ⁽³⁾	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Nitrogênio	0,31412	0,15023	2,09100 ^{ns}
Fósforo	0,00792	0,00399	1,98496 ^{ns}
Potássio	0,18660	0,04507	4,13994**
Cálcio	0,42343	0,19227	2,20227 ^{ns}
Magnésio	0,00773	0,00381	2,03124 ^{ns}

NOTAS: $F_{05} (7,32) = 2,31$

$F_{01} (7,32) = 3,26$

^{ns} = não significativo

* = significativo a 95% de probabilidade

** = significativo a 99% de probabilidade

⁽¹⁾ Acículas

⁽²⁾ Alburno

⁽³⁾ Casca

APÊNDICE 4 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA
PRODUTIVIDADE DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Altura total	8,26609	0,83074	9,95027**
Altura comercial	6,92106	0,44772	15,45850**
DAP ⁽¹⁾	14,32054	0,16250	88,12637**
Volume total c/c ⁽²⁾	0,03999	0,00508	7,86491**

NOTAS: $F_{05} (7,32) = 2,31$

$F_{01} (7,32) = 3,26$

** = significativo a 99% de probabilidade

(1) Diâmetro a altura do peito (1,30 m)

(2) com casca

APÊNDICE 5 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Massa específica básica	0,000263	0,000237	1,10717 ^{ns}

NOTAS: $F_{05}(7,32) = 2,31$ $F_{01}(7,32) = 3,26$ ^{ns} = não significativo

APÊNDICE 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÍDEOS DA MADEIRA DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Comprimento	0,00895	0,00177	5,05549**
Largura	1,10867	0,07719	14,36260**
Diâmetro do lúmen	1,43776	0,01807	79,57146**
Espessura da parede	0,38334	0,01833	20,91769**

NOTAS: $F_{05}(7,32) = 2,31$

$F_{01}(7,32) = 3,26$

** = significativo a 99% de probabilidade

APÊNDICE 7 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Extrativos	1,01501	0,05243	19,36120**
Lignina	2,63294	0,28722	9,16689**
Holocelulose	5,13801	0,26325	19,51762**
Celulose	3,89493	0,19415	20,06147**

NOTAS: $F_{05}(7,32) = 2,31$

$F_{01}(7,32) = 3,26$

** = significativo a 99% de probabilidade

APÊNDICE 8 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES MÉDIOS DA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT DA MADEIRA DE *Pinus taeda*

CARACTERÍSTICA	QUADRADO MÉDIO TRATAMENTO	QUADRADO MÉDIO RESÍDUO	F (7,32)
Rendimento bruto	4,97683	0,03084	161,38870**
Rendimento depurado	4,98114	0,03205	155,40560**
Teor de rejeitos	0,00025	0,00101	0,24328 ^{ns}
Número <i>Kappa</i>	3,97113	0,05101	77,85003**

NOTAS: $F_{05}(7,32) = 2,31$

$F_{01}(7,32) = 3,26$

** = significativo a 99% de probabilidade

^{ns} = não significativo

APÊNDICE 9 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SÍTIOS ESTUDADOS NESTE TRABALHO

SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
AREIA, g/100g						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	29	24	26
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	52	49	46
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	38	36	33
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	43	42	39
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	21	20	18
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	54	51	57
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	67	63	69
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	47	51	44
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
AREIA GROSSA, g/100g						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	7	6	6
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	24	20	17
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	11	10	9
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	15	15	14
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	5	4	4
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	27	24	25
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	4	3	3
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	12	11	10
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
AREIA FINA, g/100g						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	22	18	20
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	28	29	28
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	28	26	23
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	28	26	26
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	16	16	14
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	27	27	32
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	63	59	66
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	35	40	34
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
SILTE, g/100g						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	32	35	32
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	22	19	20
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	31	33	33
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	22	23	24
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	30	29	33
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	19	21	15
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	18	22	13
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	24	22	25
SÍTIO	SOLO	TEXTURA	VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	PROFUNDIDADE (cm)		
				0 - 10	10 - 20	20 - 30
ARGILA, g/100g						
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta	39	41	42
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo	25	31	34
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta	30	31	34
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta	35	36	37
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo	49	51	49
Faisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo	26	28	28
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta	16	16	18
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo	29	27	31

ANEXOS

ANEXO 1 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
CERRADINHO	113
ANEXO 2 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
FAISQUEIRA.....	114
ANEXO 3 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
MANDAÇAIA I	115
ANEXO 4 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
SETE RINCÕES	116
ANEXO 5 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
MANDAÇAIA II	117
ANEXO 6 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
RESTINGÃO	118
ANEXO 7 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
CAMPINA ALTA	119
ANEXO 8 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO	
CIROL	120

ANEXO 1 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO CERRADINHO

Classificação: Latossolo vermelho escuro; com A moderado; textura média; fase campo; relevo ondulado 1;

Localização: guarda florestal Cerradinho, Talhão 60 A;

Declividade: 8 - 13%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: ondulado 1;

Profundidade efetiva: 80 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 35	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); moderado, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.
B	35 – 120+	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); moderado, grande, blocos subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição plana e clara.

ANEXO 2 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO FAISQUEIRA

Classificação: Latossolo vermelho escuro; com A moderado; textura argilosa; fase campo; relevo suave ondulado;

Localização: guarda florestal Faisqueira, Talhão 81 A;

Declividade: até 8%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 300 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 30	Bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4, úmido); moderado, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.
AB	30 – 35	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); fraca, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.
B1	75 – 130	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); moderado, grande, blocos subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição plana e clara.
B2	130 – 210+	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); moderado, grande, blocos subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição plana e clara.
BA	55 – 75	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); fraca, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.

ANEXO 3 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO MANDAÇAIA I

Classificação: Latossolo vermelho escuro; com A moderado; textura média; fase floresta; relevo suave ondulado;

Localização: guarda florestal Mandaçaia, Talhão 342;

Declividade: ate 8%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 80 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 30	Bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4, úmido); moderado, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.
B	30 – 120+	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); moderado, grande, blocos subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição plana e clara.

ANEXO 4 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO SETE RINCÕES

Classificação: Latossolo vermelho escuro; com A moderado; textura argilosa; fase floresta; relevo suave ondulado;

Localização: guarda florestal Sete Rincões, Talhão 60;

Declividade: ate 8%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 80 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 30	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); moderado, blocos subangulares/granular, poros muito pequenos, muitos poros, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição plana e clara.
B	30 – 120+	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); moderado, grande, blocos subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição plana e clara.

ANEXO 5 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO MANDAÇAIA II

Classificação: Cambissolo vermelho amarelo profundo; com A moderado; textura média; fase campo; relevo ondulado;

Localização: guarda florestal Mandaçaia, Talhão 337;

Declividade: 8 - 20%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 170 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 30	Bruno avermelhado escuro (10 YR 3/4, úmido); moderado, pequena/média, blocos angulares, poros muito pequenos, poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.
B	30 – 170	Vermelho amarelado (5 YR 5/8, úmido); fraco/moderado, pequena/média, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.
C	170+	Vermelho amarelado (5 YR 5/8, úmido); fraco/moderado, pequena/média, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.

ANEXO 6 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO RESTINGÃO

Classificação: Cambissolo vermelho amarelo; com A moderado; textura argilosa; fase campo; relevo ondulado 2;

Localização: guarda florestal Restingão, Talhão 56 B;

Declividade: 13 - 20%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: ondulado 2;

Profundidade efetiva: 80 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 30	Bruno avermelhado escuro (3 YR 3/4, úmido); moderado, pequena/média, blocos angulares, poros muito pequenos, poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.
B	30 – 100+	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3,5/4,5, úmido); moderado, pequena/média, blocos angulares, poros muito pequenos, poros comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso, transição clara e plana.

ANEXO 7 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO CAMPINA ALTA

Classificação: Cambissolo vermelho amarelo; com A moderado; textura média; fase floresta; relevo ondulado;

Localização: guarda florestal Campina Alta, Talhão 41;

Declividade: 8 - 20%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 60 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 20	Bruno escuro (10 YR 3,5/3, úmido); moderado, pequeno, blocos subangulares, poros muito pequenos, poucos poros, muito duro, firme, plástico, pegajoso, transição clara e plana.
B	20 – 80	Bruno forte (7,5 YR 5/8, úmido); moderado, pequeno, blocos subangulares, poros muito pequenos, poucos poros, muito duro, firme, plástico, pegajoso, transição clara e plana.
C	80+	Bruno forte (7,5 YR 5/8, úmido); moderado, pequeno, blocos subangulares, poros muito pequenos, poucos poros, muito duro, firme, plástico, pegajoso, transição clara e plana.

ANEXO 8 - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DO SÍTIO CIROL

Classificação: Cambissolo vermelho amarelo; com A moderado; textura argilosa; fase floresta; relevo suave ondulado;

Localização: guarda florestal Cirol, Talhão 84;

Declividade: até 8%;

Pedregosidade: não pedregoso;

Roschosidade: não rochoso;

Relevo: suave ondulado;

Profundidade efetiva: 80 cm;

Uso atual: reflorestamento com *Pinus taeda*.

Descrição do perfil:

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	0 – 20	Bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); moderado, pequeno, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, duro, muito friável, plástico, pegajoso, transição clara e plana.
AB	20 – 30	Bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); moderado, pequeno, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, duro, muito friável, plástico, pegajoso, transição clara e plana.
B	50 – 80+	Vermelho amarelado (4 YR 4/6, úmido); fraco/moderado, pequeno, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, duro, muito friável, plástico, pegajoso, transição clara e plana.
BA	30 – 50	Vermelo amarelado (4 YR 4/6, úmido); fraco/moderado, pequeno, blocos angulares/subangulares, poros muito pequenos, poros comuns, duro, muito friável, plástico, pegajoso, transição clara e plana.