

ROBSON SCHAFF CORRÊA

**EFEITO DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA
MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Área de Concentração em Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Pesq. Dr. Antonio F. J. Bellote

CURITIBA

2007

Aos meus pais
NORMA (in memoriam) e LUÍZ
Ofereço

Ao comprometimento de minha esposa, MELINA.
Dedico

AGRADECIMENTOS

A

ANTONIO FRANCISCO JURADO BELLOTE, pesquisador, pela aceitação de orientação e pela proposta de trabalho, assim como todo o auxílio e presteza na execução do mesmo.

DURATEX S/A, por permitir a coleta de todo o material e disponibilização dos alojamentos, nas pessoas de: RAUL CHAVES, engenheiro florestal com quem inicialmente fizemos contato e prontamente atendeu a nossos pedidos; VANESSA SUZANA CAVAGLIERI, engenheira florestal que disponibilizou dados de sua pesquisa e outras informações do decorrer do estudo; JOÃO AIRTON, técnico responsável pelo apoio nas atividades de campo e sua equipe.

EMBRAPA FLORESTAS pelo financiamento do projeto.

PROFESSORES E COLABORADORES DO PPG CIÊNCIA DO SOLO pela atenção ao longo do Curso.

CARLOS BRUNO REISSMANN, professor do PPGCS, que nunca negou auxílio, sempre com muitos ensinamentos.

FUNCIÓNÁRIOS DA EMBRAPA FLORESTAS pelo empenho, mesmo quando o trabalho não era de sua responsabilidade.

Funcionários do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, CLAUDIA MARA PEREIRA, JOSÉ CARLOS ROBERTO DIAS, ONÉCIMO NUNES DA VEIGA E PAULA S. BITTENCOURT PUCCI e ao técnico JACIR FABER, que auxiliaram na coleta e execução das análises.

HELTON DAMIN DA SILVA, pesquisador e coordenador do Laboratório na maior parte do tempo, pelas orientações e pela permissão incondicional no uso.

RENATO ANTONIO DEDECEK, pesquisador, por todo o auxílio na coleta, análise física do solo e discussões envolvendo tais análises.

MARIO TOMAZELLO FILHO, professor, por propiciar as análises de densidade da madeira.

COLEGAS DO CURSO do PPGCS, pelo convívio.

CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

MELINA COUTINHO FERREIRA, pelo auxílio em diversos momentos.

Todos aqueles que não foram citados diretamente e aos que não foram lembrados, mas que deram sua contribuição na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A ESPÉCIE	4
2.2 FORMAÇÃO DO LENHO	5
2.3 PRODUÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL	8
2.4 ACÚMULO DE NUTRIENTES MINERAIS NAS ÁRVORES	9
2.5 EFEITO DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA QUALIDADE DA MADEIRA E PRODUTIVIDADE	12
2.6 DIMENSÕES DOS TRAQUEÍDEOS E DENSIDADE DA MADEIRA	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.2 COLETA DE AMOSTRAS	21
3.2.1 Seleção de Sítios e Árvores	21
3.2.2 Amostragem das Árvores e do Solo	22
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	25
3.3.1 Determinação dos Nutrientes na Biomassa	25
3.3.2 Análise Química de Solo	26
3.3.3 Análises Físicas do Solo	26
3.3.3.1 Granulometria	26
3.3.3.2 Densidade	26
3.3.3.3 Capacidade de retenção de água	27
3.3.3.4 Porosidade	27
3.3.3.5 Conteúdo de água disponível	28
3.4 PESO SECO TOTAL DOS COMPARTIMENTOS	28
3.5 CONTEÚDO DE NUTRIENTES	29
3.6 VARIAÇÃO RADIAL DA DENSIDADE	29
3.7 MACERAÇÃO E DIMENSÕES DOS TRAQUEÍDEOS	30
3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	32
4.2 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO	34
4.3 PRODUÇÃO DE BIOMASSA NOS COMPARTIMENTOS	36
4.3.1 Madeira	36
4.3.2 Casca	37
4.3.3 Galhos	39
4.3.4 Acículas	40
4.3.5 Correlação entre Atributos do Solo e Produção	41
4.4 TEORES DOS NUTRIENTES MINERAIS NOS COMPARTIMENTOS	45
4.4.1 Madeira	45
4.4.1.1 Teor médio longitudinal	45
4.4.1.2 Teor médio dos nutrientes nos anéis de crescimento ao DAP	46

4.4.2	Casca	50
4.4.3	Galho.....	51
4.4.4	Acículas.....	52
4.4.4.1	Correlações entre os atributos do solo e o teor dos nutrientes minerais nas acículas	55
4.4.5	Abordagem Geral sobre Teores dos Nutrientes nos Compartimentos	59
4.5	CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTOS	59
4.5.1	Madeira	59
4.5.2	Casca	61
4.5.3	Galhos.....	63
4.5.4	Acículas.....	64
4.6	TECNOLOGIA DA MADEIRA.....	66
4.6.1	Densidade Específica da Madeira ao DAP	66
4.6.2	Dimensões dos Traqueídeos ao DAP	69
4.6.2.1	Comprimento dos traqueídeos.....	69
4.6.2.2	Diâmetro total dos traqueídeos	71
4.6.2.3	Diâmetro de lúmen.....	73
4.6.2.4	Espessura de parede.....	74
4.6.2.5	Generalidades sobre as dimensões das fibras	76
4.6.3	Correlações entre os Atributos do Solo e as Características Tecnológicas da Madeira	76
5	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO EM PROFUNDIDADE EM CADA UM DOS SÍTIOS.....	32
TABELA 2	- ANÁLISE FÍSICA DE SOLO EM PROFUNDIDADE EM CADA UM DOS SÍTIOS.....	34
TABELA 3	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $p \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 0-5 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H).....	41
TABELA 4	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 5-10 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H).....	42
TABELA 5	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 10-20 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H).....	42
TABELA 6	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 20-30 cm E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H).....	43
TABELA 7	- ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO MADEIRA.....	45
TABELA 8	- ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO CASCA.....	50
TABELA 9	- ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO GALHO.....	52
TABELA 10	- ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO ACÍCULAS.....	53
TABELA 11	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 0-5 CM E TEOR NAS ACÍCULAS.....	55
TABELA 12	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 5-10 CM E TEOR NAS ACÍCULAS.....	56
TABELA 13	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 10-20 CM E TEOR NAS ACÍCULAS.....	56
TABELA 14	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 20-30 CM E TEOR NAS ACÍCULAS.....	57
TABELA 15	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 E $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 0-5 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP.....	76
TABELA 16	- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 5-10 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP.....	77

TABELA 17-	CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 10-20 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP	77
TABELA 18-	CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 20-30 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL E ANUAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1993 A 2005.....	20
QUADRO 2 - DÉFICIT HÍDRICO MENSAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1995 A 2005	20
QUADRO 3 - TEMPERATURA MÉDIA DO AR MENSAL E ANUAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1995 A 2005	20
QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS DOS POVOAMENTOS.....	21
QUADRO 5 - ATRIBUTOS DO SOLO.	22
QUADRO 6 - PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE DE SOLO.....	26
QUADRO 7 - COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO MADEIRA.....	45
QUADRO 8 - COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO CASCA.....	50
QUADRO 9 - COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO GALHO.....	52
QUADRO 10- COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES EM ACÍCULAS ..	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MAPA DO ESTADO DE SÃO PAULO	18
FIGURA 2 - REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ/JACARÉ	19
FIGURA 3 - CORTE DA ÁRVORE AO NÍVEL DO SOLO	22
FIGURA 4 - PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS COPAS	23
FIGURA 5 - SECCIONAMENTO DO TRONCO EM DISCOS	24
FIGURA 6 - AMOSTRAGEM PARA COLETA DE SOLO PARA ANÁLISES QUÍMICAS (ACIMA) E FÍSICAS (ABAIXO)	25
FIGURA 7 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO POR ÁRVORE NO COMPARTIMENTO MADEIRA	36
FIGURA 8 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA VOLUME TOTAL MÉDIO DE MADEIRA POR ÁRVORE	37
FIGURA 9 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO DE CASCA POR ÁRVORE	38
FIGURA 10 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA VOLUME TOTAL MÉDIO DE CASCA POR ÁRVORE	38
FIGURA 11 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO DE GALHOS POR ÁRVORE	39
FIGURA 12 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA BIOMASSA MÉDIA DE ACÍCULAS POR ÁRVORE	40
FIGURA 13 - TESTE DE TUKEY PARA AS VARIÁVEIS: TEOR DE K E DE Mn AO DAP	46
FIGURA 14 - REGRESSÕES AJUSTADAS PARA OS TEORES DE NUTRIENTES AO NÍVEL DO DAP	47
FIGURA 15 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (ACIMA) E MICRONUTRIENTES (ABAIXO) NO COMPARTIMENTO MADEIRA	60
FIGURA 16 - TESTE DE TUKEY A 5% DE SIGNIFICÂNCIA PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO CASCA	62
FIGURA 17 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO GALHOS	Erro! Indicador não definido.
FIGURA 18 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO ACÍCULAS	65
FIGURA 19 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA DENSIDADE ESPECÍFICA MÁXIMA (▲), DENSIDADE ESPECÍFICA MÉDIA (◆) E DENSIDADE ESPECÍFICA MÍNIMA (■) EM CADA ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DOS 3 AOS 11 ANOS NOS DIFERENTES SÍTIOS PARA O DISCO COLETADO AO DAP	67
FIGURA 20 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS (mm) NOS LENHOS INICIAL (LI) E TARDIO (LT) ..	70
FIGURA 21 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS (mm) NOS LENHOS INICIAL (A) E TARDIO (B) ...	70
FIGURA 22 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (µm) NO LENHO INICIAL DOS DIFERENTES SÍTIOS	71

FIGURA 23 - LINHA DE TENDÊNCIA PARA DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR IDADE	72
FIGURA 24 - TESTE DE TUKEY (5%) PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR SÍTIO.....	73
FIGURA 25 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO DE LÚMEN DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NOS LENHOS INICIAL (LI) E TARDIO (LT)	74
FIGURA 26 - LINHA DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO DE LÚMEN DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR IDADE	74
FIGURA 27 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DE PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO INICIAL (A) E NO LENHO TARDIO (B)	75
FIGURA 28 - TESTE DE TUKEY (5%) PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DE PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS (μm) NO LENHO INICIAL PARA O FATOR SÍTIO.....	75

RESUMO

Para a realização deste trabalho foi utilizada a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que é originária da América Central e adapta-se muito bem a regiões tropicais com clima sazonal. No Estado de São Paulo é a segunda espécie tropical de *Pinus* mais plantada e apresenta potencial para produção em diversas regiões do país. Neste trabalho foram selecionadas árvores de idades semelhantes e próximas ao corte (12 anos), plantadas em sítios com capacidade de produção de biomassa potencialmente diferentes entre si, localizados no Município de Agudos – SP. Realizaram-se coletas e análises para identificar a variação da produção de biomassa dos diferentes compartimentos das árvores: acículas, galhos, madeira e casca; assim como os teores e os acúmulos de nutrientes em cada compartimento. Nos discos de madeira coletados ao diâmetro à altura do peito (DAP) foram analisadas a densidade específica da madeira e as dimensões dos elementos anatômicos da madeira, ou seja, dos traqueídeos. Na projeção de copa das árvores amostradas foram coletados amostras de solo para análises físicas e químicas em diferentes profundidades. De posse de todos estes dados foram feitas correlações com o objetivo de indicar quais os atributos do solo que efetivamente podem afetar a nutrição das árvores, a produtividade e a qualidade da madeira. Constatou-se que os atributos do solo que influenciam as produções de biomassa e os acúmulos de nutrientes são aqueles ligados à disponibilidade hídrica e potencial hidrogeniônico. Os atributos do solo não se correlacionaram com as dimensões dos traqueídeos e com a densidade da madeira.

ABSTRACT

In this work was used the *Pinus caribaea* var. *hondurensis* specie, that is originary of Central America and hat very well adaptation in tropical regions with seasonal climate. In São Paulo State is the second tropical species of *Pinus* more planted and presents potential for production in diverse regions of the country. Thus were chosed trees with similar an next ages to the cut (12 years), planted in sites with potentially different capacity of biomass production, located in the City of Agudos - SP. Samples were analyzed aiming at to identify to the variation of the biomass production in the compartments: needles, branches, wood and bark; as well as concentration and accumulation of nutrients in each compartment. Were collected in diameter at breast height (DBH) wood discs for wood specific gravity and dimensions of the anatomical elements (tracheids) analyze. In the canopy projection of samples trees, soil had been collected for physical and chemical analyses in different depths. With data had been made correlations aiming to indicate which soil attributes that effectively can affect the nutrition, the productivity and the wood. The main influences in biomass production and nutrients accumulation were related on hydric availability and hidrogenionic potential. Soil attributes were not correlated with tracheids dimensions and wood density.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial brasileiro de base florestal é um dos mais competitivos no cenário internacional e tem, basicamente, nas florestas plantadas com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* a matéria prima necessária para impulsionar o setor. A preocupação de se desenvolver sistemas de produção florestal sustentáveis é uma necessidade prática e política que ganha importância desde o final do século XX.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2005) – existiam no país aproximadamente 4,8 milhões de hectares de florestas plantadas com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, no ano 2000. Deste total, 1,8 milhões de hectares são plantados com *Pinus*. Mais da metade desta área está localizado na região sul (58%), seguida da região sudeste (20%) e demais regiões (22%). Entre as espécies utilizadas destacam-se *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* e em menor escala *Pinus caribaea*.

Um dos grandes problemas enfrentados atualmente por este setor é a falta de informação sobre o potencial dos diferentes tipos de solos utilizados em reflorestamento para produzir madeira em quantidade e com a qualidade exigida pelos diferentes segmentos a que a madeira se destina. O ambiente é tão importante quanto a espécie utilizada, mas a interação entre ambos deve ser considerada na instalação de plantios. Devido a essa interação, denominada interação genótipo-ambiente, as espécies podem apresentar comportamentos diferentes quando plantadas em ambientes distintos.

Objetivando maior produção e qualidade da madeira produzida é importante saber como e de que forma as plantas se desenvolvem e acumulam biomassa de lenho. O conhecimento dessa acumulação e a influência dos nutrientes minerais são fundamentais para que possam ser definidos os melhores tipos de solos para produção, ou qual ou quais os nutrientes são necessários para que a planta produza madeira na quantidade e qualidade esperadas.

Estes conhecimentos possibilitam estimar as reais necessidades nutricionais das plantas, as quantidades extraídas e acumuladas no lenho durante o ciclo e que são exportadas pela colheita e, conseqüentemente, orientar práticas silviculturais e

de nutrição que mantenham a produtividade do sítio (BEVEGE, 1981; MAIA et al., 1998).

O solo, por sua vez, é a característica do ambiente que mais influencia o crescimento das plantas, as ofertas de nutrientes minerais e a qualidade dos produtos que são gerados. Entre os atributos do solo, aqueles relacionados à física e à química são os que efetivamente interferem qualiquantitativamente.

A oportunidade de gerar tecnologia que permita entender esta relação e, com isso, identificar os fatores do solo que diretamente interferem na produção e na qualidade da madeira, é uma necessidade reclamada pelo setor florestal brasileiro. Isso permitirá além da seleção de sítios de acordo com o tipo de madeira que se pretenda produzir, também corrigir as possíveis deficiências dos atributos físicos e químicos do solo de determinados sítios que se mostrem inadequadas para com os objetivos da produção.

A crescente demanda de madeira para os diferentes segmentos de mercado consumidor atua como importante fator de estímulo à busca de matérias-primas mais adequadas. O aumento da capacidade produtiva do setor industrial e a crescente exigência do mercado consumidor, principalmente o externo, quanto à qualidade da madeira produzida, conduzem a um novo conceito de seleção de sítios para plantios florestais, na busca por maior homogeneidade da matéria-prima a ser utilizada. No Brasil, a madeira de *Pinus* é um exemplo típico dessa tendência, com exigência de aprimoramento de práticas silviculturais como a fertilização, e como estas se relacionam com a produtividade e a qualidade da madeira produzida.

Para o *Pinus*, são poucos os trabalhos realizados no sentido de verificar a influência do ambiente na produtividade florestal; e ainda muito mais escassos são os trabalhos realizados no sentido de elucidar os efeitos do ambiente na qualidade da madeira produzida em reflorestamentos.

Para aumentar o conhecimento nesta área, além de possibilitar a ampliação de linhas de investigação na área florestal, BELLOTE (2005) começou a pesquisar os mesmos parâmetros aqui relacionados, porém com *Pinus taeda*, que é a espécie mais utilizada em reflorestamentos na Região Sul do Brasil. Com o objetivo de aumentar o conhecimento na área, além de ampliar a gama de espécies e ambientes pesquisados, o estudo aqui apresentado se utiliza do conhecimento gerado neste trabalho, além dos conceitos já utilizados e apresentados.

Deste modo o objetivo deste trabalho é indicar qual ou quais os atributos do solo que afetam a produção e a qualidade da madeira dos povoamentos. Para isto foi necessário avaliar: os atributos físicos e químicos do solo; a biomassa produzida pelos diferentes compartimentos (madeira do tronco, casca, galhos e acículas) das árvores; os nutrientes acumulados nos compartimentos das árvores; a dimensão das células lenhosas; e a densidade da madeira nos povoamentos estudados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ESPÉCIE

Até meados da década de 50 a espécie *Pinus caribaea* englobava as espécies *P. elliottii* e as três variedades de *P. caribaea*, que até então não eram separadas. Segundo MIROV (1967), *P. caribaea* foi primeiramente separado em duas espécies pelas consideráveis diferenças morfológicas existentes entre uma que vegetava no sudeste dos EUA e outra que vegetava na costa da América Central. Esta separação foi feita na década de 1950, através da denominação da espécie da América Central de *P. hondurensis*, enquanto a espécie norte-americana passou a ser chamada *P. elliottii*.

Nesta época não havia objeções em chamar a espécie da América Central de *P. caribaea*. Surgiam também sugestões em chamar apenas a forma montana de *P. hondurensis*, porém a área de dispersão natural era muito ampla e dispersa em muitas ilhas, o que punha dúvidas na classificação (MIROV, 1967).

Posteriormente Barret & Golfari dividiram *P. caribaea* em 3 variedades e *Pinus caribaea* Morellet var. *hondurensis* Barr. & Golf. passou a ser considerada a forma ou variedade montana de *P. caribaea* e no seu habitat natural, na América Central, cresce desde o nível do mar até aproximadamente 850 m de altitude (MIROV, 1967).

A espécie *Pinus caribaea* Morellet var. *hondurensis* Barr. & Golf. é caracterizada por fascículos com 3 acículas (às vezes também com 4, 5 ou até 6 acículas em árvores jovens), cones longos de 6 a 14 cm e sementes com asa articulada (MIROV, 1967).

No estado de São Paulo a área ocupada por *P. caribaea* var. *hondurensis* era de 9637 hectares no ano de 2000, o que correspondia a aproximadamente 6,1% da área plantada com *Pinus* no estado. Considerando-se somente as espécies tropicais de *Pinus* no estado de São Paulo, seria a segunda espécie em área plantada e perderia apenas para *P. oocarpa* com 7,7% da área plantada com *Pinus* (KRONKA et al., 2002).

2.2 FORMAÇÃO DO LENHO

A parede celular é formada durante o processo de divisão celular, na qual é gradualmente produzida uma placa na posição equatorial do fuso durante a divisão nuclear. Esta placa constituirá a lamela média e mantém unidas as paredes primárias adjacentes (NORTHCOTE, 1972).

A parede celular não é um sistema vivo, é como uma carcaça não viva em relação ao protoplasto que a formou, entretanto não é de maneira alguma independente do citoplasma. A parede é formada durante o crescimento da célula e o ambiente, a nutrição e o estágio de diferenciação da célula afetam suas propriedades (CUTTER, 1986).

A parede celular secundária é formada e depositada junto ao lúmen celular, no lado interno da parede existente e consiste de três camadas. As paredes secundárias estão normalmente presentes em células que na maturidade são mortas (NORTHCOTE, 1972).

No último estágio de formação da parede pode ser criada uma parede terciária, que difere da primária e secundária, por ser provavelmente não celulósica. Nas gimnospermas, as quais pertencem o gênero *Pinus*, esta pode ser coberta com excrescências (NORTHCOTE, 1972).

Em plantas com crescimento secundário, o câmbio vascular origina o xilema secundário. O xilema é um tecido complexo, composto de elementos condutores ou traqueais, fibras e parênquima (ESAU, 1965).

Os elementos traqueais podem ser os traqueídeos e os elementos de vaso. Nas gimnospermas e pteridófitas os elementos traqueais consistem exclusivamente de traqueídeos. Os traqueídeos originam-se de células únicas, normalmente são alongados e pontiagudos em ambas as extremidades e não perfurados, ou seja, a parede primária é contínua, somente com presença de membranas de pontuações (ESAU, 1965).

A principal característica do material biológico madeira é a variabilidade, pois ao contrário da maioria dos materiais de origem não biológica, proporciona uma grande diversidade de utilização e torna possível escolher entre as várias espécies aquela que melhor satisfaz as exigências de cada uso final (BIRKLAND, 1990).

São poucos os estudos realizados que relacionam diretamente a interferência dos atributos físicos e químicos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira produzida. O que existe são trabalhos que mencionam taxas de crescimento; efeito da densidade do solo na produtividade (RAB, 1994; FENNER, 1999); umidade do solo (BELLOTE et al., 1980; REIS, BARROS e KIMMINS, 1987) e a textura do solo (GONÇALVES, DEMATTÊ e COUTO, 1990; CARVALHO et al., 1999).

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 (COWN, 1974).

As características da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e os fatores ambientais. Em relação ao ambiente, a influência de alguns de seus fatores sobre as propriedades da madeira tem sido alvo de muitas avaliações, principalmente em estudos que envolvem massa específica, características das fibras, composição química e teores de madeira juvenil e adulta (COWN, 1974; HARRIS, 1977; BRITO, 1983).

A influência das técnicas silviculturais na qualidade da madeira foi estudada por pesquisadores, tais como FIELDING (1965 e 1967); RUDMAN e MCKINNELL (1975). Entre os fatores estudados, estão a desrama, desbaste, fertilização, irrigação e espaçamento. Há consenso entre esses autores de que as técnicas silviculturais intensivas afetam a qualidade da madeira.

RIGATTO (2002) trabalhou com o efeito dos atributos do solo na qualidade da madeira produzida para celulose, e observou que a produtividade de *Pinus taeda* é afetada tanto pelos atributos físicos quanto pelos químicos. Observou, também, o efeito do solo na densidade básica da madeira; nos teores de extrativos e lignina; nos teores de holocelulose e rendimento em celulose pelo processo Kraft.

São observados na literatura trabalhos básicos conduzidos por LARSON (1968 e 1969), sobre a influência da adubação e conseqüentemente dos nutrientes minerais na formação da madeira. Os resultados mostram que a maior oferta de nutrientes aumentou a fotossíntese e a espessura dos anéis de crescimento das árvores.

Individualmente, os nutrientes têm funções relacionadas aos compostos orgânicos envolvidos na formação da madeira. Na análise da influência dos macronutrientes, N é o componente essencial de aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos e, com isso, toma parte nos processos de síntese nas árvores (cloroplastos e mitose). Além disso, o N na forma reduzida aparece em diferentes coenzimas (MARSCHNER, 1995). O N orgânico está ligado com a biossíntese da lignina, por exemplo a L-fenilalanina (FREUDENBERG e NEISH, 1968). Experimentalmente, a oferta de N no solo está intimamente ligada com o crescimento das árvores e com a produção de biomassa (INGESTAD, 1987).

O P pode estar presente nos nucleotídeos constituintes do material genético, nos fosfolipídios presentes nas membranas celulares, nos fosfatos de adenosina e em ésteres de carboidratos (ARAÚJO e MACHADO, 2006). O P também aparece na forma de UDP-Glucose, que é um composto precursor da síntese da hemicelulose e outros açúcares (ZRENNER et. al, KLECZKOWSKI; e GIBEAUT citados por JOHANSSON, 2003).

Compostos de S desempenham papel bastante importante na estrutura das proteínas, através das ligações de dissulfeto que formam a estrutura secundária. Além desta função estrutural, ésteres de SO_4^{2-} com polissacarídeos são importantes na composição das membranas celulares. Outra importante função do S é na composição do acetil-CoA, composto que atua no ciclo de Krebs, e deste modo influencia todo o metabolismo de glicídios e lipídios (VITTI; LIMA e CICARONE, 2006).

Os caules das plantas deficientes em K podem ser delgados e fracos, com regiões internodais anormalmente curtas. O K participa ou ativa processos em diversos tecidos na planta (MEURER, 2006). Além disso, o K está diretamente envolvido no transporte pelo floema de sintetizados da fotossíntese.

Uma importante função do Ca está no aumento da rigidez da parede celular. Além disto, o Ca está envolvido no processo de lignificação, principalmente durante a formação da lignina, a qual tem uma forte dependência do conteúdo de Ca (WESTERMARK, 1982).

Já com relação ao significado do Mg na formação da madeira, este está intimamente ligado na sua participação na molécula de clorofila e, com isso, na fotossíntese.

2.3 PRODUÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL

A produtividade das plantas é definida como o aumento do peso ou volume por unidade de área. Muitos fatores contribuem para a produtividade, por isso ela é uma integração de peculiaridades bioquímicas, fisiológicas, genéticas e morfológicas, mais a influência do ambiente e das práticas silviculturais (SCHRANDER, 1975). Entender e controlar os possíveis padrões de crescimento e desenvolvimento são problemas cruciais na melhoria da produtividade. Isso é verdadeiro em ambientes onde o solo é o principal fator limitante para a produtividade e, intensificado, quando nutrientes e água também são fatores limitantes (LOOMIS; NG e HUNT, 1976).

Entre os diferentes compartimentos das árvores, ocorre no tronco o maior acúmulo de biomassa ao final da rotação. Este compartimento, por exemplo, para *Eucalyptus* spp. na idade de colheita, representa aproximadamente 86% da biomassa total produzida (SILVA, 1996; BELLOTE et al., 2001). Ainda, segundo estes autores, 6% da biomassa total produzida representa a biomassa de casca; 5% a dos galhos e 3% a das folhas. Trabalhos sobre a produção de biomassa de *Pinus* e *Eucalyptus* são descritos por VALERI (1988), KADEBA (1994), MUNSON; MARGOLIS e BRAND (1995), VAN LEAR e KAPELUCK (1995); MAIA et al. (1998) e SILVA; FERREIRA e BELLOTE (2001).

De todas as práticas silviculturais utilizadas, a colheita florestal é a operação mais agressiva em termos de prejuízos ao sítio, e é a principal fonte de exportação de nutrientes, que culmina no esgotamento do solo, após sucessivas rotações. Este fato tem levado a recomendar que apenas o tronco das árvores seja extraído do sítio, por reconhecer a importância das folhas, galhos e casca para a proteção do solo e manutenção de nutrientes no sistema (SILVA, 1996; BELLOTE e SILVA, 2000).

Na colheita florestal geralmente são retirados do sítio o tronco e a casca, isto representa uma exportação de 92% de toda a biomassa produzida, e contribui para o esgotamento de nutrientes do sítio (BELLOTE et al., 2001). O problema da exportação de nutrientes é agravado pelas rotações curtas e exploração de árvores jovens. Esta situação remove mais nutrientes do que o corte em idades mais avançadas (LIMA, 1993), e pode representar um efeito negativo para a

sustentabilidade da produção (POGGIANI, 1985; PEREIRA, 1990). Soma-se a isso, a prática da queima dos restos da colheita anterior, que contribui ainda mais para um empobrecimento do sítio (POMIANOSK et al., 2003).

De todos os compartimentos da árvore, a casca merece um maior destaque. Ela acumula altas quantidades de Ca e Mg (BELLOTE et al., 2001). A quantidade de Ca presente na casca é maior do que em qualquer outro compartimento da árvore. Este resultado é confirmado por BELLOTE (1979), POGGIANI; COUTO e SUITER FILHO (1983), PEREIRA et al. (1984), POGGIANI (1985), SILVA (1983 e 1996) e SILVA; FERREIRA e BELLOTE (2001).

Normalmente, a casca é utilizada para a produção de energia. Sua manutenção no campo, como resíduo da exploração, tem grande importância na sustentabilidade da produção. A exportação intensiva da casca, através de rotações sucessivas, contribui para a diminuição da produtividade florestal.

2.4 ACÚMULO DE NUTRIENTES MINERAIS NAS ÁRVORES

As preocupações com o possível esgotamento dos nutrientes do solo, resultante das explorações intensivas das florestas, tornaram-se mais evidentes a partir do século XIX, quando pesquisadores alemães já demonstravam preocupações com a concentração de nutrientes das árvores (EBERMAYER citado por MILLER, 1981). Nesta época, apesar do conhecimento sobre a nutrição mineral das plantas ser bastante incompleto, já se recomendavam sistemas de exploração conservacionistas, baseados apenas na extração do tronco. Neste período, já se reconhecia a importância das folhas, galhos e outros resíduos da madeira para a proteção do solo e conservação de nutrientes, principalmente nos solos mais pobres em nutrientes.

Atualmente, sabe-se que o ciclo de nutrientes em uma floresta é de importância fundamental. As espécies florestais apresentam diferentes exigências nutricionais, estratégias de ciclagem próprias e um ritmo de ciclagem que varia em função da região e das espécies em uma mesma região (COLE, 1986). Estes processos são importantes para a adaptação de espécies a sítios de baixa fertilidade, e contribuem para a manutenção da produtividade dos mesmos (LIMA,

1987). No caso de florestas plantadas, esses processos são vitais para a produção contínua e equilibrada.

Além disso, o seu conhecimento possibilita a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade como em relação às características do solo. Com esse conhecimento, pode-se recomendar o uso de práticas de manejo que favoreçam a manutenção da produtividade do sítio.

A distribuição interna de nutrientes na fitomassa florestal varia com o compartimento considerado, com o estágio fisiológico da planta e com a dinâmica do ecossistema. A absorção, acúmulo e liberação de nutrientes dependem, em parte, da idade e do estágio de desenvolvimento das árvores (BELLOTE et al., 2001).

A quantidade total presente na parte aérea é representada pelo somatório dos nutrientes contidos nos ramos, folhas, casca e tronco. Cada um destes compartimentos possui uma determinada concentração de nutrientes, de acordo com a função fisiológica desempenhada. Geralmente, há um gradiente decrescente de concentrações que apresenta a seqüência seguinte: folhas > cascas > ramos > lenho (BELLOTE, 1979; SILVA, 1983 e 1996). Variações na concentração de nutrientes, dentro de um mesmo compartimento, são às vezes muito significativas, principalmente devido às diferenças de idade e atividades desses compartimentos (FERREIRA; BELLOTE e SILVA, 1993; SILVA; FERREIRA e BELLOTE, 2001).

Diversos autores têm recomendado que a oferta de nutrientes pelo solo seja analisada pela quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas; e as acículas têm sido as partes preferidas para este tipo de análise. Alguns trabalhos apresentam teores médios, teores máximos e mínimos, faixas de suprimento adequado, níveis críticos aproximados, relações entre nutrientes para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (MENEGOL, 1991; GARICOITS, 1990; LA TORRACA, 1984; REISSMANN e WISNIEWSKI, 2005). Teores foliares baixos de Mg e Zn foram associados com baixo crescimento de *P. elliottii* var. *elliottii* no Estado do Paraná (MENEGOL, 1991).

A quantidade de nutrientes nas folhas, nos ramos e na casca de *Pinus* é bastante expressiva. O resíduo da exploração, quando mantido no campo, diminui o impacto da exportação de nutrientes. KADEBA (1994) estimou a alocação de nutrientes na biomassa total produzida acima do solo por hectare em povoamentos de *P. caribaea* nas savanas africanas e observou que aproximadamente 16% da

biomassa são representada por acículas, 12% pelos galhos e 13% pela casca do tronco e 59% pela madeira do tronco. Porém, ao se considerar uma média de todos os nutrientes, aproximadamente 42% dos nutrientes está nas folhas, 12% nos galhos, 11% na casca do tronco e 34% na madeira do tronco.

Diversos fatores podem influir nos resultados da análise foliar, e torna-se necessário que sejam identificados. Os principais fatores são: efeito de pragas e doenças (EVANS, 1979); idade do material amostrado (LAMB, 1976); a posição das folhas na copa (EVANS, 1979); a época de coleta (LAMB, 1976); parâmetros físicos e químicos do solo (BATAGLIA e DECHEN, 1986).

As considerações feitas para as acículas, em relação às variações dos teores de nutrientes minerais, são válidas também para lenho, ramos e casca das árvores. Além destas, somam-se ainda aquelas inerentes ao estágio de desenvolvimento das árvores (jovem, maduro e senescente), que estão relacionadas às diferenciações fisiológicas que ocorrem com a idade (MADGWICK e MEAD, 1990).

Na casca, distinguem-se dois tipos de tecido: a casca externa morta (ritidoma) e a interna viva, na qual está incluído o floema funcional. O floema é ativo na translocação de solutos orgânicos dos pontos de produção para os de consumo. A exemplo do que acontece no caule, os teores de nutrientes na casca variam de acordo com a posição que esta ocupa no fuste, e cresce no sentido base-ápice (ZEN; POGGIANI e COUTO, 1981; LEMOINE; RANGER e GELPE, 1990).

Embora existam referências sobre o acúmulo de nutrientes nos ramos, pouco se conhece a respeito da variação dos seus teores ao longo dos mesmos. Para o caso do *E. obliqua*, ATTIWILL (1979) estudou e comparou resultados obtidos em ramos ativos com diâmetros superiores e inferiores a 2,5 cm e observou que os ramos de menor diâmetro continham 65% mais P, K, Ca e Mg do que os de maior diâmetro.

2.5 EFEITO DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA QUALIDADE DA MADEIRA E PRODUTIVIDADE

O solo é um material heterogêneo que é constituído de três principais componentes: fase sólida, fase líquida e fase gasosa. Ambas as fases influem no suprimento de nutrientes às raízes. A fase sólida pode ser conceituada como o principal reservatório de nutrientes, e contém partículas inorgânicas e orgânicas. A fase líquida é o principal responsável pelo transporte de nutrientes as raízes, e contém além de formas iônicas de nutrientes, gases como oxigênio e gás carbônico dissolvidos. A fase gasosa media as trocas gasosas entre os organismos do solo e a atmosfera, supre raízes, animais, fungos e demais microorganismos com oxigênio e remove o gás carbônico da respiração (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Sob condições de fertilidade natural, KABEBA (1994) verificou nas savanas africanas que a espécie *P. caribaea* var. *hondurensis* teve crescimento e biomassa que variaram de acordo com o sítio. Nestas condições, altos incrementos ocorreram em sítios com solos de textura fina, ricos em matéria orgânica e nutrientes; e baixos incrementos, em sítios com baixa precipitação e solos altamente intemperizados. Apesar da influência dos sítios estudados por KADEBA (1994) no incremento, a alocação de biomassa nos compartimentos foi similar entre sítios. O autor comunicou que quando esta espécie é plantada como exótica, é pouco adaptada a solos inférteis e exibe sintomas de desordem no desenvolvimento como a estagnação do crescimento em idades jovens, além de apresentarem copas esparsas devido à abscisão de acículas. Segundo os dados de KADEBA (1994), K e P merecem especial atenção devido aos altos conteúdos exportados pela colheita, e podem comprometer futuras rotações.

Na comparação da produção de duas variedades de *P. caribaea*, REZENDE e FERRAZ (1992b) não encontraram diferenças significativas entre massa específica e taxa de crescimento para a variedade *hondurensis*. O mesmo não ocorreu para a variedade *caribaea*, ou seja, mostra que no gênero *Pinus* as correlações entre taxa de crescimento e massa específica apresentam resultados variáveis.

RIGATTO; DEDECEK e MATTOS (2004) analisaram a influência dos atributos do solo nas propriedades da madeira de árvores de *P. taeda* aos 12 anos, cultivados em 8 sítios em Telêmaco Borba - PR. Os atributos físicos do solo,

densidade global e porosidade total, mostraram ter maior influência nas propriedades da madeira. De modo geral, as madeiras provenientes de sítios com texturas mais argilosas apresentaram menores valores de densidade básica; maiores teores de extrativos e lignina; menores teores de holocelulose e celulose; traqueídeos mais curtos e largos, com paredes mais finas e com diâmetros do lúmen maiores; e menor rendimento em celulose. Com relação à produção de madeira, os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertenciam, propiciaram maiores produtividades em *Pinus taeda* (RIGATTO; DEDECEK e MATTOS, 2005).

Com o objetivo de estudar a variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes sítios florestais, por meio da técnica da densitometria de raios-X, SIQUEIRA (2004) utilizou povoamentos voltados à produção de chapas de madeira, madeira serrada e energia, localizados em municípios do Estado do Paraná. As árvores plantadas em sítios de menor produtividade apresentam tendência a ter valores de massa específica básica superiores aos dos sítios de maior produtividade. A tendência de variação de massa específica na madeira confirmou o padrão de variação no sentido radial, em espécies de rápido crescimento do gênero *Pinus* aumentam da medula para a casca.

Outro fator que pode interferir nas propriedades da madeira e no crescimento das árvores é a procedência. MOURA; PARCA e SILVA (1991) avaliaram diversas espécies tropicais de *Pinus* quanto à densidade básica da madeira, e parâmetros de crescimento em municípios do Centro Oeste do Brasil. Os resultados indicaram que o local de crescimento e a procedência têm efeito significativo na densidade básica da madeira. Nos diversos locais analisados por estes autores, a altitude influenciou positiva ou negativamente a densidade básica da madeira na dependência da espécie. Ainda conforme MOURA; PARCA e SILVA (1991), a densidade básica pode estar mais ou menos controlada por fatores hereditários de acordo com a procedência e a espécie. Assim, a seleção de indivíduos baseada na densidade básica é dependente do local do plantio definitivo, da espécie/procedência e independente da taxa de crescimento.

Embora existam trabalhos realizados com espécies do gênero *Pinus*, a falta de repetitividade nos resultados ou métodos de análise não descarta a procura por

resultados em trabalhos realizados com outras espécies. Neste sentido, podem-se citar os trabalhos de GONÇALVES; DEMATTÊ e COUTO (1990) e ROQUE (2005).

GONÇALVES; DEMATTÊ e COUTO (1990) trabalharam com diversos povoamentos comerciais no Estado de São Paulo para relacionar a produtividade de sítios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *E. saligna* Smith com algumas propriedades físicas e químicas de solos de baixo potencial produtivo. Os atributos: pH em CaCl₂, teor de silte, teor de P assimilável, teor de SiO₂ da argila e teor de matéria orgânica foram os que apresentaram melhores relações com a produtividade do sítio.

Com relação a *Gmelina arborea*, as características anatômicas e a densidade da madeira foram descritas para duas regiões ecológicas e três intensidades de manejo florestal na Costa Rica por ROQUE (2005). Este autor, após um abrangente trabalho, concluiu que a uniformidade da densidade no anel de crescimento aumentou com a idade, por diminuir as variações na composição anatômica do lenho. Nestas condições, a densidade média foi diminuída pelo aumento da taxa de crescimento, ou seja, as árvores que vegetavam em clima tropical seco produziram madeira de maior densidade em qualquer condição de manejo em relação às de clima úmido. Quanto às características anatômicas, ROQUE (2005) notou que os vasos, o parênquima paratraqueal e radial foram os responsáveis pelas alterações da anatomia do lenho, e que os vasos mostraram maior flexibilidade de adaptação as variáveis ecológicas. As condições ecológicas e dasométricas, que se referem ao povoamento, mostraram relações com os elementos anatômicos.

Embora existam trabalhos com condições de fertilidade natural inadequada em muitos sítios, o setor florestal busca aumentar a produção com a prática da fertilização. Assim, não se podem ignorar os muitos trabalhos realizados com o intuito de melhorar ou caracterizar o efeito da melhoria do ambiente solo através da fertilização. A fertilização objetiva o incremento econômico da produção da parte utilizável da planta, e deve-se determinar seus efeitos nas propriedades e biomassa do tronco. Embora muitas características da produção de madeira estejam sobre controle genético, as condições ambientais e práticas silviculturais também influenciam as propriedades da madeira. As propriedades mais influenciadas pela

fertilização são a proporção de lenho tardio, características das fibras, densidade e lenho juvenil (BEVEGE, 1984).

É difícil generalizar o efeito da fertilização na qualidade da madeira por causa do grande número de fatores influentes e o fato de que não existem estudos repetidos sob condições similares. Os efeitos da fertilização são de certa forma, semelhantes aos observados após o desbaste. Há assim um incremento em lenho primaveril e formação de traqueídeos de transição e decréscimo na densidade específica no caso da promoção do crescimento em altura provocado pela fertilização. Se por outro lado, massa foliar e eficiência fotossintética são promovidas, podem ocorrer outros efeitos ao invés de incrementos na espessura de anéis de crescimento. Notadamente tais efeitos são mais pronunciados em árvores jovens (LARSON, 1969).

BRITO et al. (1986) averiguaram as influências da adubação mineral sobre caracteres dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. Entre outros resultados, a adubação mineral induziu a uma maior produção volumétrica de madeira no lenho inicial até o sexto ano de vida da árvore, e não foi observado nenhum efeito sobre o volume de madeira do lenho tardio. Além disto, houve aumento na produção volumétrica de cada anel de crescimento até o quinto ano de vida da árvore. Com relação à densidade da madeira, a adubação proporcionou redução nos valores de modo mais acentuado sobre o lenho tardio, acompanhado por uma redução na densidade da madeira dos anéis de crescimento em praticamente todos os anos de vida das árvores.

2.6 DIMENSÕES DOS TRAQUEÍDEOS E DENSIDADE DA MADEIRA

O peso da matéria-prima madeira depende de dois aspectos fundamentais, a densidade da estrutura básica da madeira e da variação no teor de umidade do material; além destes dois principais fatores, para uma minoria de espécies existem uma terceira fonte de variação que se refere às substâncias minerais e extrativos presentes na madeira. Com estes pressupostos, a densidade da madeira pode ser definida pela comparação entre a densidade do material madeira com a densidade da água (1 g cm^{-3}); geralmente esta determinação da densidade da madeira é feita

pela razão entre o peso seco e volume de uma amostra de madeira em determinado teor de umidade (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987).

A densidade da madeira é um dos principais fatores que podem ser relacionados às propriedades da madeira e assim, ao direcionamento de uso. Como exemplo cita-se o trabalho de REZENDE (2003) que verificou que de acordo com o aumento da densidade básica e a densidade a 0% de umidade havia também um crescimento linear na retratibilidade volumétrica máxima em *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Assim, diversos trabalhos visam verificar a influência do ambiente na densidade da madeira. MONTAGNA et al. (1983) estudaram a relação entre o espaçamento de plantio e a densidade da madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* com 17 anos no município de Mogi Mirim, sem no entanto verificar variações na densidade de acordo com os tratamentos aplicados. RIGATTO; DEDECEK e MATTOS (2004) não encontraram relações entre os atributos do solo e a densidade da madeira, somente notaram uma tendência de menores densidades em sítios com maior crescimento.

Juntamente com a densidade da madeira, as dimensões dos traqueídeos representam outra importante fonte de variação que pode afetar o desdobro do material madeira. Alguns estudos visam caracterizar as fibras do lenho juntamente com a densidade da madeira (OLESEN, 1977; CORRÊA, 1995).

Com relação aos padrões para densidade de madeira em coníferas, podem-se citar os dados de RIGATTO; DEDECEK e MATTOS (2004) que encontraram densidades básicas para *P. taeda* com variação de $0,373 \text{ g cm}^{-3}$ até $0,394 \text{ g cm}^{-3}$, conforme o sítio de crescimento. Mais especificamente com relação a espécie tratada no presente estudo, *P. caribaea* var. *hondurensis*, NOGUEIRA e VALE (1997) descreveram que a densidade decresce no sentido base-topo e aumenta no sentido medula-casca, além de encontrarem uma densidade média de $0,40 \text{ g cm}^{-3}$. MONTAGNA et al. (1983) não encontraram variação na densidade da madeira quando considerados diferentes espaçamentos de plantio, deste modo, a densidade básica média encontrada foi de $0,371 \text{ g cm}^{-3}$.

Para as dimensões dos traqueídeos, MONTAGNA et al. (1983) reportaram que as dimensões destes elementos anatômicos não variaram com os espaçamentos; o comprimento, diâmetro total, diâmetro de lúmen e espessura de

parede dos traqueídeos apresentaram valores de 3,95 mm, 59 μ m, 45 μ m e 7 μ m, respectivamente.

Apesar destes valores médios, trabalhos mais detalhados com separação dos anéis nos lenhos inicial e tardio já foram conduzidos. Por exemplo, CORRÊA (1995) verificou aumento na dimensão do lenho inicial de 2,62 mm no terceiro anel de crescimento para 4,71 mm no décimo-sexto ano para o lenho inicial e de 2,91 mm para 4,71 mm no lenho tardio. Ainda segundo CORRÊA (1995) a largura dos traqueídeos aumentou de 47 para 58 μ m no lenho inicial e de 38 para 42 μ m no lenho tardio; o diâmetro de lume foi de 35 para 42 μ m no lenho inicial e de 20 para 14 μ m no lenho tardio e; a espessura de parede foi de 6 para 8 μ m no lenho inicial e de 9 para 14 μ m no lenho tardio, sempre nos anéis referentes ao terceiro e décimo-sexto ano de idade das árvores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

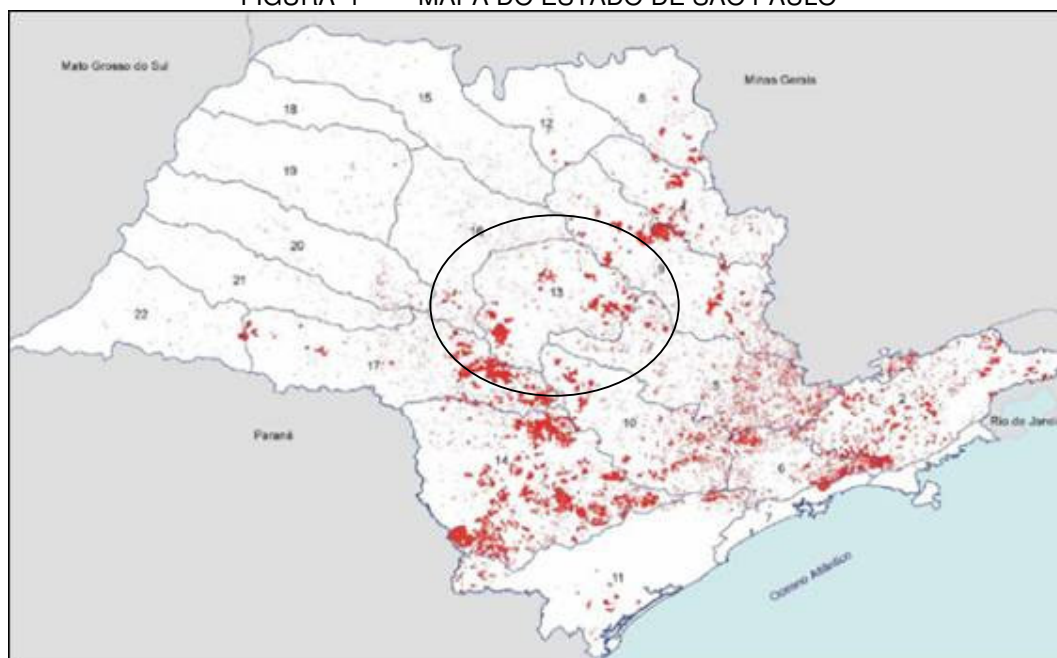
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O material foi coletado na Fazenda Monte Alegre, de propriedade da empresa Duratex S/A, que se localiza ao leste do município de Agudos – SP, com pequena porção no oeste do município de Pederneiras – SP. A área ocupada pela fazenda é de 13.952,85 ha e suas coordenadas são de aproximadamente 22° 20' a 22° 29' de latitude sul e 48° 51' a 48° 59' de longitude oeste de Greenwich.

Uma das essências florestais cultivadas na fazenda é o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a qual foi objeto deste estudo. Os povoamentos com esta espécie sofreram os mesmos tratos culturais e foram originados a partir de sementes, as quais têm apenas variabilidade natural e não acarretam diferenças intrínsecas de produção.

Segundo KRONKA et al. (2002), Agudos localiza-se na região administrativa de Bauru e na Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (figuras 1 e 2).

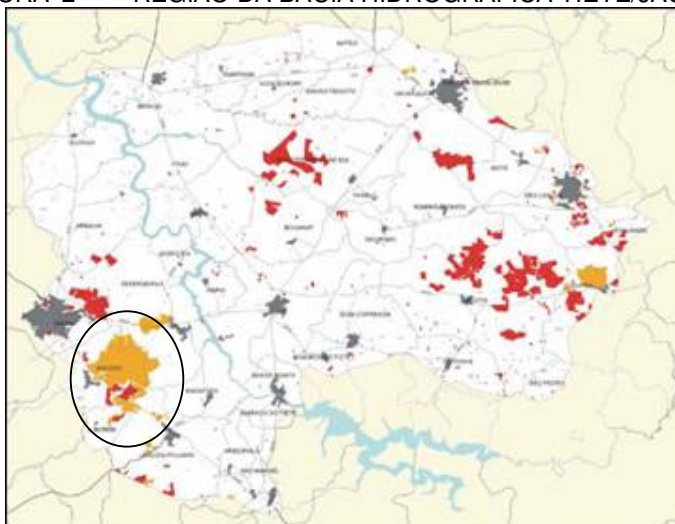
FIGURA 1 - MAPA DO ESTADO DE SÃO PAULO



FONTE: KRONKA et al. (2002)

NOTA: bacia hidrográfica Tietê/Jacaré em evidência

FIGURA 2 - REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ/JACARÉ



FONTE: KRONKA et al. (2002)

NOTAS: cinza - aglomerados urbanos, laranja - plantios de *Pinus* e vermelho - plantios de *Eucalyptus* município de Agudos em evidência

Na região o relevo é predominantemente plano, com altitude aproximada de 550 m e os solos¹ onde foram coletadas as árvores pertencem às unidades taxonômicas Latossolo Vermelho distrófico psamítico, A moderado, álico, relevo plano a suavemente ondulado (tratamentos 1, 2 e 3) e Neossolo Quartzarênico órtico glêico, textura areia ou areia franca, A fraco ou moderado, distrófico, relevo plano a suavemente ondulado, localizado em áreas de baixada (tratamento 4); ambas as unidades taxonômicas possuem solos profundos e não apresentam impedimentos físicos ao crescimento radicular.

O clima regional é caracterizado como mesotérmico de inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 21,9° C e precipitação média anual de 1230 mm (CWA, conforme a classificação de Köppen). Embora não existam os dados climatológicos para o município de Agudos desde a época de instalação do experimento, apresentam-se aqui os dados de Bauru², município vizinho que fica distante aproximadamente 20 km e que também pertence à mesma bacia hidrográfica/região administrativa (quadros 1, 2 e 3).

A vegetação natural da região consiste na predominância de cerrado, com ocorrência de floresta latifoliada tropical.

¹ Dados fornecidos pela empresa Duratex S.A. segundo levantamento de solos realizado nas áreas da fazenda.

² Conforme informação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e da Universidade Estadual Paulista (UNESP), via e-mail.

QUADRO 1 - PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL E ANUAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1993 A 2005

ANO	MÊS												TOTAL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
93	357	463	141	206	74	102	10	83	145	95	54	253	1983
94	405	164	197	92	92	28	23	0	3	96	130	175	1405
95	326	414	157	97	61	26	47	0	71	171	110	280	1760
96	276	99	163	120	44	24	2	23	86	91	214	168	1310
97	415	152	34	63	142	187	29	3	58	206	170	99	1558
98	98	228	226	55	72	17	4	52	167	217	37	274	1447
99	291	264	111	102	58	80	3	0	61	60	29	186	1245
00	277	204	86	8	11	20	58	54	163	21	206	100	1208
01	235	142	138	9	88	46	40	44	29	126	184	286	1367
02	341	233	47	6	90	0	26	20	36	39	202	195	1235
03	384	170	135	194	19	31	8	25	10	90	106	192	1364
04	173	188	83	86	138	39	47	21	3	120	80	259	1237
05	304	67	131	23	72	27	2	12	43	108	56	210	1055

FONTE: anos 1993 e 1994 – UNESP; anos 1995 a 2005 – IAC

QUADRO 2 - DÉFICIT HÍDRICO MENSAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1995 A 2005

ANO	MÊS												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5,3	4,5	41,8	12,4	0,0	3,7	0,0	
96	0,0	1,8	0,0	0,0	1,6	7,4	24,2	30,3	0,0	13,9	0,0	0,0	
97	0,0	0,0	21,5	11,2	0,0	0,0	4,1	31,5	24,9	0,0	0,0	5,5	
98	17,1	0,0	0,0	3,6	0,0	9,9	28,9	15,9	0,0	0,0	23,2	0,0	
99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	11,7	39,2	20,3	37,0	76,5	0,0	
00	0,0	0,0	1,8	30,0	35,7	28,1	0,0	14,2	0,0	45,2	0,0	3,5	
01	0,0	0,0	0,0	21,7	0,0	2,8	7,8	16,3	39,7	0,0	0,0	0,0	
02	0,0	0,0	17,6	57,7	0,0	45,6	29,2	56,9	50,3	95,5	0,0	0,0	
03	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	13,3	33,0	33,6	73,9	23,7	17,2	0,0	
04	0,0	0,0	4,0	1,0	0,0	0,9	1,3	19,6	67,5	0,0	32,9	0,0	
05	0,0	10,5	0,0	30,0	4,5	23,1	45,5	61,1	42,1	15,3	64,4	0,0	

FONTE: IAC

QUADRO 3 - TEMPERATURA MÉDIA DO AR MENSAL E ANUAL DO MUNICÍPIO DE BAURU – 1995 A 2005

ANO	MÊS												MÉDIA
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
95	26,8	24,4	25,5	23,9	21,7	21,0	20,7	23,4	22,7	23,6	25,0	22,7	23,5
96	25,5	26,1	24,9	23,9	20,4	19,8	18,5	20,5	21,9	23,4	25,1	25,2	22,9
97	24,5	26,3	26,0	23,5	21,1	18,3	21,0	22,5	24,7	24,3	25,9	26,2	23,7
98	27,2	26,2	26,6	23,9	20,5	19,5	20,8	22,3	22,3	22,7	24,6	26,1	23,6
99	25,8	25,5	25,7	23,1	20,5	19,4	20,6	21,6	23,0	22,9	23,7	25,5	23,1
00	25,3	24,8	24,3	24,3	21,1	21,0	17,6	21,1	21,9	26,6	25,1	24,8	23,2
01	25,6	24,9	26,3	25,2	20,3	20,1	20,2	22,2	22,8	23,4	24,5	24,1	23,3
02	24,4	24,3	27,0	28,0	23,5	23,9	21,0	24,9	23,1	29,5	26,3	27,2	25,3
03	24,4	27,8	26,1	24,9	22,2	23,1	21,6	20,7	25,0	24,7	25,2	26,7	24,4
04	25,5	26,1	26,2	25,0	20,4	19,8	18,8	22,9	27,3	23,1	25,2	25,2	23,8
05	24,8	27,2	26,7	25,8	25,2	22,9	20,8	24,2	22,7	26,4	25,0	24,4	24,7
Média	25,4	25,8	25,9	24,7	21,5	20,8	20,1	22,4	23,4	24,6	25,1	25,3	23,8

FONTE: IAC

3.2 COLETA DE AMOSTRAS

3.2.1 Seleção de Sítios e Árvores

A escolha dos sítios para a coleta de amostras foi feita com base em dados de inventário florestal e análises de solos que constam em CAVAGLIERI (2005), além de dados fornecidos diretamente pela própria Duratex. No inventário florestal utilizou-se o processo de amostragem estratificada e aleatória (dentro dos estratos), com intensidade de uma unidade amostral de 278 m² a cada 10 ha.

Primeiramente, através das informações fornecidas, buscaram-se áreas que tivessem produtividades diferenciadas de acordo com os incrementos médios anuais em volume com casca (IMAcc). Secundariamente, caso os valores de IMAcc fossem semelhantes, partia-se para sua diferenciação nas análises de solos, na procura de escolher a unidade mais adequada. Também para a seleção dos sítios considerou-se que as árvores deveriam estar com idades semelhantes e próximas ao corte.

Com estas premissas foram escolhidos 4 sítios, que no ano de coleta – 2005 – estavam com árvores em idades compreendidas entre 10,5 e 12 anos. As árvores selecionadas em cada um destes sítios eram representativas do extrato dominante e foram selecionadas com base no DAP, além de que estavam com a copa liberada em relação às árvores próximas. Foram selecionadas, derrubadas e amostradas 4 árvores dominantes por sítio, no total se amostraram, portanto, 16 árvores.

Nos quadros 4 e 5 constam as informações com base no ano anterior a coleta e mais relevantes sobre os sítios, e que serviram para a sua escolha.

QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS DOS POVOAMENTOS.

TRATAMENTO	QUADRA	PARCELA	ROTAÇÃO ATUAL	ESPAÇAMENTO DE PLANTIO	IDADE	IMAcc
				m		m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹
1	538	79	1	2,7 X 1,85	10,0	26,2
2	74	142	1	2,7 X 1,85	11,3	29,8
3	538	81	1	2,7 X 1,85	10,0	36,2
4	995	379	1	2,7 X 1,85	9,6	47,8

TRATAMENTO	DAP	H _{med}	H _{dommed}	G	INDIVÍDUOS	IS	SERRAPILHEIRA
	cm	M		m ²			Mg ha ⁻¹
1	14,9	13,8	18,0	36,1	1871	19,9	14,9
2	17,4	17,3	19,7	39,3	1593	20,3	20,4
3	16,8	16,0	20,2	44,1	1850	22,4	36,1
4	17,3	18,6	22,8	48,6	1921	25,9	22,7

Fonte: Duratex (recebido em mãos) e CAVAGLIERI (2005).

Obs.: ano base=2004.

QUADRO 5 – ATRIBUTOS DO SOLO.

TRAT.	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmolc dm ⁻³					%	
1	5	20	3,5	0,7	2	1	57	20	5	87
2	4	16	3,7	0,0	1	1	44	20	4	91
3	6	21	3,4	0,6	2	1	63	22	5	86
4	5	9	5,4	1,8	33	7	11	1	79	1

TRAT.	SO ₄ ⁻²	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Areia total	Densidade do solo
	mg dm ⁻³						%		g cm ⁻³
1	4	0,24	0,5	106	1,4	0,6	14	82	1,3
2	6	0,21	0,5	78	3,5	0,7	14	81	1,4
3	7	0,24	0,6	121	1,6	0,6	14	82	1,3
4	2	0,12	1,2	20	17,4	1,2	6	92	1,6

Fonte: Duratex (recebido em mãos) e CAVAGLIERI (2005).

Obs.: ano base=2004.

3.2.2 Amostragem das Árvores e do Solo

As 16 árvores dominantes selecionadas foram abatidas ao nível do solo. A seguir procedeu-se as medições de altura total e altura comercial, esta última foi definida como a altura desde o solo até o diâmetro mínimo de 6 cm ou o mais próximo deste, no caso de haver algum elemento (como por exemplo galho) que não permitisse a definição deste diâmetro (figura 3).

FIGURA 3 - CORTE DA ÁRVORE AO NÍVEL DO SOLO



A copa foi separada nos compartimentos galhos vivos, acículas e ponteira – porção do tronco localizada acima do diâmetro de 6 cm, desconsiderando-se os galhos mortos (figura 4).

FIGURA 4 - PROCEDIMENTOS REALIZADOS NAS COPAS



NOTAS: (A) separação da copa em galhos e acículas
 (B) pesagem de galhos
 (C) pesagem de acículas
 (D) preparo das amostras

Os galhos vivos e acículas foram então pesados separadamente com auxílio de um dinamômetro para obtenção de peso úmido total. Após, retiraram-se amostras para aferição do peso úmido da amostra em balança de precisão (0,01 g). As amostras de galhos vivos foram retiradas considerando-se o diâmetro e o número de galhos, tentando-se coletar os mesmo de modo representativo. Já para as acículas, primeiramente foi feita uma homogeneização deste compartimento, para após coletarem-se as amostras, que foram então representativas de toda a copa.

As amostras de galhos vivos e acículas foram, em laboratório, secas em estufa de renovação e circulação de ar a 60°C para aferir o peso seco total de cada compartimento e serviram também para análise nutricional. Para a ponteira a obtenção do peso seco total foi feita com base no volume e densidade; e para a determinação dos teores e acúmulos de nutrientes, foi utilizado o último disco retirado do tronco.

Do tronco foram retirados discos com casca com aproximadamente 5 cm de espessura nas alturas de 0,1; 0,3; 1,3 m e a partir daí de 2 m em 2 m até o último disco, retirado na altura do diâmetro mínimo de 6 cm ou o mais próximo possível deste (figura 5).

FIGURA 5 - SECCIONAMENTO DO TRONCO EM DISCOS



O solo foi coletado de uma trincheira aberta na projeção de copa de cada árvore nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm para análises químicas e físicas. Com auxílio de anéis volumétricos retiraram-se amostras indeformadas para as análises físicas: granulometria, densidade, retenção de água, conteúdo de água disponível e porosidade (figura 6). A retirada das amostras de solo foi realizada até os 30 cm por esta profundidade representar a principal zona de absorção de água e nutrientes pelas plantas, além de que em ambos os sítios a profundidade efetiva do solo era demasiada grande a ponto de não influir em algum sítio isoladamente com relação ao crescimento das árvores.

Nos locais de coletas de solo também se realizaram tradagens até a profundidade aproximada de 1 m, para verificar alguma camada de maior densidade de solo que comprometesse esta amostragem, no entanto não foram encontrados impedimentos físicos nesta análise.

FIGURA 6 - AMOSTRAGEM PARA COLETA DE SOLO PARA ANÁLISES QUÍMICAS (ACIMA) E FÍSICAS (ABAIXO)



3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.3.1 Determinação dos Nutrientes na Biomassa

Para a determinação dos teores de nutrientes foram seguidos os métodos propostos por SARRUGE e HAAG (1974) em que a decomposição dos materiais foi feita por via úmida com emprego de misturas ácidas e peso de amostra de 0,2 g. Na determinação dos nutrientes P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn a mistura ácida utilizada foi composta pelos ácidos nítrico e perclórico, já na determinação de N foi utilizado o ácido sulfúrico. Na determinação analítica de N foi empregado o processo semimicro Kjeldahl, para P o método empregado foi do azul de molibdênio (molibdato de amônia) e determinação em espectrofotômetro, para K o equipamento utilizado foi o fotômetro de chama e para Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn utilizou-se o espectrofotômetro de absorção atômica.

3.3.2 Análise Química de Solo

Na análise química de solos os métodos utilizados estão descritos em EMBRAPA (1997). O quadro 6 resume estes métodos. Não se determinaram os micronutrientes porque no momento da análise de solo pensava-se em trabalhar apenas com os macronutrientes.

QUADRO 6 - PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE DE SOLO.

ANÁLISE	EXTRAÇÃO	DETERMINAÇÃO
Acidez ativa (pH)	CaCl ₂ . 2H ₂ O	Potenciômetro
Acidez trocável (Al)	KCl 1 mol L ⁻¹	Titulação com NaOH 0,01 mol L ⁻¹
Acidez total (H+Al)	Solução SMP	Potenciômetro
Matéria orgânica	K ₂ Cr ₂ O ₇	Titulação com Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O 0,4 mol L ⁻¹
P disponível	Mehlich 1	Fotômetro de chama
K	Mehlich 1	Fotômetro de chama
Ca e Mg	KCl 1 mol L ⁻¹	Titulação com EDTA

3.3.3 Análises Físicas do Solo

3.3.3.1 Granulometria

A análise granulométrica do solo foi realizada segundo o método da pipeta (EMBRAPA, 1997), com uso de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico.

3.3.3.2 Densidade

Foram utilizados anéis de Kopecky com volume de 66 cm³ para retirar amostras indeformadas de solo para determinação da densidade do solo ou densidade aparente do solo segundo o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), onde:

$$\text{Densidade do solo (kg dm}^{-3}\text{)} = a/b$$

a = massa da amostra seca a 105 °C (kg)

b = volume do anel volumétrico (dm³)

3.3.3.3 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água do solo foi obtida conforme EMBRAPA (1997) com uso de amostras indeformadas coletadas com anéis volumétricos. Assim, foram calculadas as umidades retidas nas tensões de 0,006 MPa; 0,01 MPa; 1 MPa e 1,5 MPa no aparelho extrator de Richards, assim como a umidade retida no momento da coleta das amostras pela expressão:

$$\text{Umidade volumétrica (MPa)} = \frac{100(a - b)}{v}$$

a = massa da amostra após ser submetida à pressão utilizada

b = massa em gramas da amostra seca a 105 °C

v = volume em centímetros cúbicos do cilindro

3.3.3.4 Porosidade

As expressões para o cálculo da porosidade total, microporosidade e macroporosidade estão de acordo com EMBRAPA (1997) e são:

$$\text{Porosidade total} = V_a/V_t$$

V_a = volume dos poros (cm³)

V_t = volume total do solo (cm³)

$$\text{Microporosidade} = \frac{100(a - b)}{v}$$

a = massa da amostra após ser submetida à pressão de 0,006 MPa

b = massa em gramas da amostra seca a 105 °C

v = volume em centímetros cúbicos do cilindro

$$\text{Macroporosidade} = \text{Porosidade total} - \text{Microporosidade}$$

3.3.3.5 Conteúdo de água disponível

O conteúdo de água disponível foi calculado pela expressão (EMBRAPA, 1997):

$$\text{Água disponível} = a - b$$

a = água retida a 0,01 MPa

b = água retida a 1,5 MPa

3.4 PESO SECO TOTAL DOS COMPARTIMENTOS

Para os compartimentos galhos vivos e acículas o peso seco total foi feito com base no peso úmido total, peso úmido de amostra e peso seco de amostra (a 60°C em estufa de circulação e renovação de ar) a partir de relações entre estas medidas, e calculados por árvore.

Na ponteira e tronco o método foi baseado em SILVA (1996), que propõe que o peso seja determinado através dos volumes e das densidades em segmentos do tronco.

Assim, para o tronco foram obtidos os volumes pelo método de Smalian (FINGER, 1992) em cada segmento coletado, e considerou-se da base até a altura de 0,1 m como um cilindro e a ponteira como um cone.

As densidades (peso específico) foram obtidas do disco de 0,1 m de altura, do disco coletado mais próximo à metade da altura comercial e do disco coletado à altura comercial, ou seja, o disco situado ao diâmetro de 6 cm. Destes discos foram retiradas cunhas da medula à casca, com as quais foram feitas as determinações do peso específico aparente básico (DURLO, 1991), determinado pela relação:

$$P_{eab} = P/V$$

P = peso seco (até amostras não variarem em peso após estufa a 105°C)

V = volume saturado (umidade acima do ponto de saturação das fibras)

De posse deste dado, o P_{eab} foi multiplicado pelo volume das intersecções para a obtenção da massa da madeira completamente seca.

3.5 CONTEÚDO DE NUTRIENTES

O conteúdo de nutrientes nas acículas, galhos e casca em cada árvore foi determinado pela multiplicação do peso seco total pelo teor ou concentração do nutriente encontrado em cada um destes compartimentos.

Para o conteúdo de nutrientes no tronco foram utilizados os teores de três discos coletados na árvore (um na base, um no centro e outro no ápice).

3.6 VARIAÇÃO RADIAL DA DENSIDADE

A avaliação do perfil densitométrico do lenho foi realizada no disco do DAP. Inicialmente nestes discos foram visualmente definidas as regiões de corte, procurando-se regiões que não apresentassem defeito, como nós ou microrrachaduras provocadas pela secagem, que poderiam causar erros na leitura da densidade. Após, foi retirada uma amostra diametral do disco, com dimensões de 1 cm de largura por 2 cm de altura. Essas amostras foram separadas na região da medula e constituíram duas amostras de madeira por disco. Essas amostras radiais do lenho foram fixadas em suporte de madeira e cortadas em secções transversais (2 mm de espessura por 1 cm de altura) em aparelho de dupla serra circular.

As amostras foram acondicionadas em sala climatizada por aproximadamente 16 horas para atingir 12% de umidade. A seguir, foram dispostas sobre filmes de raios X (Kodak, Diagnostic Film X-Omat XK1, 240x180 mm) e radiografadas com utilização de equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N). Detalhes são apresentados no trabalho desenvolvido por AMARAL (1994).

Após, os filmes foram revelados e digitalizados na resolução de 1000 dpi (pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus através de scanner e analisados nos programas Crad e Cerd, os quais forneceram os perfis densitométricos das amostras radiais do lenho e a espessura dos anéis de

crescimento. Com os dados obtidos, foram determinados os valores de densidade específica mínima, média e máxima dos anéis de crescimento e dos lenhos inicial e tardio. Também foram obtidos dados de largura dos anéis e dos lenhos inicial e tardio em cada um dos anéis.

3.7 MACERAÇÃO E DIMENSÕES DOS TRAQUEÍDEOS

Para o estudo das dimensões dos traqueídeos, foram utilizadas as amostras do lenho ao DAP. Em cada disco retiraram-se amostras na direção medula-casca em apenas um sentido radial, pela dificuldade de separação dos anéis de crescimento que muitas vezes apresentavam falsos anéis de crescimento.

Foram selecionados e retirados os anéis de crescimento correspondentes às idades de 4, 8 e 11 anos de idade e separados os lenhos iniciais e tardios. A escolha destas idades foi baseada no trabalho de CORRÊA (1995); procuraram-se anéis localizados no lenho juvenil, transição e adulto e eqüidistantes quanto à idade.

A individualização dos elementos lenhosos da madeira chama-se maceração. Os tipos de ligações entre estes elementos são ainda mal definidos, mas supõe-se que estes sejam mais complexos do que a simples impregnação de lignina na lamela média. Embora os solventes dissolvam a substância intercelular, foi utilizado o processo nítrico-acético proposto por BARRICHELO e FOELKEL (1983) para promover a separação dos elementos anatômicos.

Resumidamente o método consiste no preparo da madeira em palitos, que são colocados em tubos de ensaio para imersão em solução macerante nítrico-acética na proporção 1:3 (em volume). Após aproximadamente 1 hora em banho-maria em ebulição, o tubo de ensaio foi retirado e o conteúdo agitado com bastonete de vidro, e depois filtrado e lavado com água (BARRICHELO e FOELKEL, 1983).

Após a maceração os traqueídeos foram colocados em lâminas, onde foram medidas as dimensões (comprimento, espessura da parede, largura total e diâmetro do lúmen) em microscópio com ocular micrométrica.

3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram feitas de acordo com o método indicado para cada situação encontrada.

Em todas as ocasiões onde se necessitava da análise de variância (ANOVA), foram anteriormente testadas as uniformidades das variâncias pelo teste de Bartlett.

Assim, utilizou-se ANOVA com o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para a análise dos teores das acículas, volume e peso de madeira e casca, e conteúdo de nutrientes na madeira, casca, galhos e acículas. Para a análise do teor de nutrientes nos anéis de crescimento ao DAP, densidade da madeira nos anéis de crescimento ao DAP e dimensão dos traqueídeos ao DAP foi utilizado a ANOVA com o DIC com parcelas subdivididas.

Após a realização da ANOVA foram feitos os testes de Tukey, contrastes ortogonais ou análise de regressão conforme exigia o tratamento posterior dos dados.

Foi utilizada a correlação linear simples para verificar a interação entre o solo e os fatores de controle: nutrientes nas acículas, produção, elementos anatômicos e densidade da madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Os resultados da análise química de solo constam na tabela 1.

TABELA 1 - ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO EM PROFUNDIDADE EM CADA UM DOS SÍTIOS

PROFUNDIDADE	SÍTIO	pH	MO	P	K	Ca	Mg
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		
0-5	1	3,5	18,1	3,2	0,04	0,2	0,2
	2	3,7	19,3	3,3	0,05	0,8	0,1
	3	3,4	36,2	5,0	0,04	0,7	0,7
	4	5,6	12,6	5,9	0,17	2,9	1,3
5-10	1	3,7	16,0	2,6	0,03	0,2	0,2
	2	3,8	16,6	1,2	0,04	0,4	0,3
	3	3,7	17,9	4,0	0,04	0,5	0,3
	4	5,8	10,7	4,8	0,17	2,6	1,1
10-20	1	3,8	10,6	1,4	0,02	0,2	0,3
	2	3,9	13,9	2,9	0,03	0,5	0,1
	3	3,8	10,2	2,2	0,02	0,3	0,2
	4	5,4	9,2	2,7	0,18	2,6	1,1
20-30	1	3,9	7,2	0,8	0,02	0,3	0,1
	2	4,0	10,8	1,2	0,01	0,4	0,2
	3	4,0	7,1	1,0	0,02	0,1	0,6
	4	5,1	9,3	2,6	0,11	2,3	0,9
PROFUNDIDADE	SÍTIO	Al	H+Al	SB	CTC _{pH7}	V	m
		cmol _c dm ⁻³				%	
0-5	1	1,4	5,1	0,47	5,5	8,6	75,1
	2	1,8	6,5	0,97	7,4	13,1	64,6
	3	2,2	8,7	1,46	10,2	15,5	60,9
	4	0,1	2,0	4,36	6,4	67,2	1,6
5-10	1	1,4	4,6	0,38	5,0	7,6	78,8
	2	2,0	6,4	0,67	7,1	9,4	74,8
	3	1,6	5,7	0,90	6,6	13,3	64,4
	4	0,1	1,9	3,91	5,8	66,3	1,6
10-20	1	1,1	4,0	0,50	4,5	11,1	69,0
	2	1,8	5,8	0,63	6,4	9,9	73,6
	3	1,2	4,6	0,48	5,1	9,4	72,2
	4	0,1	2,1	3,87	6,0	62,9	1,7
20-30	1	0,9	3,5	0,46	4,0	11,4	68,4
	2	1,6	4,8	0,59	5,4	10,9	72,8
	3	0,9	3,6	0,77	4,3	17,4	54,3
	4	0,1	2,3	3,30	5,6	56,7	4,4

NOTAS: os valores que constam nesta tabela são médias das 4 repetições

De acordo com MONTE SERRAT; KRIEGER e MOTTA (2006) os valores da análise química do solo estão para o pH em níveis muito baixos em todos os sítios e camadas com exceção do sítio 4 onde está de baixo a médio; para matéria orgânica

estão de baixo a médio, a única exceção é a camada de 0-5 cm do sítio 3 que tem valor muito alto. Neste caso não se descarta que a amostra esteja contaminada com excesso de material orgânico coletado involuntariamente na amostragem desta camada, visto que após todo o preparo da amostra, notava-se ao armazenar a amostra na caixinha de papel que esta continha restos de material orgânico visíveis a olho nu. O fósforo está em todos os sítios e camadas com níveis muito baixos; potássio em níveis muito baixos, mas no sítio 4 os valores vão de baixo a médio; para cálcio os valores estão em níveis muito baixos com exceção do sítio 4 que está no nível médio; o magnésio está em níveis que vão desde muito baixos até muito altos, porém nota-se que o sítio 4 apresenta os maiores níveis em todas as camadas, desde alto a muito alto; os valores de alumínio vão de médio a alto, com ressalva no sítio 4 que são muito baixos; capacidade de troca de cátions a pH 7,0 em valores médios nas duas primeiras camadas e baixo e médio nas duas últimas em todos os sítios; saturação por bases está em níveis baixos e no sítio 4 encontram-se valores médios; e os valores de saturação por alumínio estão altos, porém o sítio 4 apresenta níveis muito baixos.

Como exposto acima, nota-se que o sítio 4, de maior produção de madeira, apresenta os melhores valores para a maioria dos atributos químicos do solo em comparação aos demais sítios. Dos 12 parâmetros analisados, este sítio teve melhores valores em 7, e em nenhum atributo do solo foi inferior aos demais. Estes 7 atributos do solo em que o sítio 4 apresentou melhores condições de desenvolvimento às plantas foram o pH, a disponibilidade de P, os teores disponíveis das bases trocáveis (K, Ca e Mg) e atributos ligados a acidez (Al e H+Al), alguns dos quais refletem por consequência na saturação por bases (V%) e na saturação por Al (m%). Lembra-se que o sítio 4 é o único onde o tipo de solo é diferente – Neossolo – dos demais sítios – Latossolo – e talvez esta seja a explicação para as diferenças nos atributos químicos do solo.

As menores produções encontradas no sítio 1 podem ser reflexo dos baixos teores de Ca em relação aos demais sítios (exceção da camada de 20-30 cm) e por consequência na baixa SB, além da menor capacidade em reter nutrientes (CTC_{pH7}).

Estas características expostas no parágrafo anterior refletiram-se no crescimento das árvores, e diferenciaram os sítios quanto à produção. Detalhes quanto às relações dos atributos do solo com a produção, o acúmulo de nutrientes,

as dimensões dos traqueídeos e a densidade da madeira serão mais bem discutidas nos capítulos posteriores.

4.2 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

Os resultados das análises físicas do solo encontram-se na tabela 2.

TABELA 2 - ANÁLISE FÍSICA DE SOLO EM PROFUNDIDADE EM CADA UM DOS SÍTIOS

PROFUNDIDADE	SÍTIO	DENSIDADE DO SOLO	UMIDADE VOLUMÉTRICA					ÁGUA DISPONÍVEL
		Atual	6 ⁽¹⁾	10	100	1500		
		kg dm ⁻³	cm ³ cm ⁻³					
0-5	1	1,3	0,08	0,13	0,12	0,10	0,10	0,026
	2	1,2	0,09	0,14	0,13	0,12	0,10	0,024
	3	1,1	0,12	0,13	0,11	0,11	0,10	0,018
	4	1,4	0,04	0,18	0,14	0,10	0,09	0,052
5-10	1	1,4	0,10	0,18	0,15	0,13	0,12	0,033
	2	1,4	0,09	0,17	0,16	0,14	0,12	0,034
	3	1,4	0,11	0,16	0,16	0,14	0,12	0,040
	4	1,4	0,05	0,18	0,16	0,13	0,11	0,059
10-20	1	1,5	0,09	0,19	0,17	0,13	0,12	0,053
	2	1,4	0,09	0,19	0,18	0,15	0,13	0,045
	3	1,6	0,09	0,20	0,18	0,16	0,14	0,040
	4	1,5	0,05	0,20	0,18	0,15	0,12	0,059
20-30	1	1,5	0,09	0,19	0,17	0,13	0,11	0,055
	2	1,5	0,08	0,20	0,18	0,15	0,12	0,067
	3	1,4	0,06	0,17	0,16	0,14	0,10	0,060
	4	1,5	0,06	0,21	0,18	0,12	0,12	0,055
PROFUNDIDADE	SÍTIO	POROSIDADE		AREIA		SILTE	ARGILA	
		Total	Macro	Grossa	Fina			
		cm ³ cm ⁻³		%				
0-5	1	0,40	0,27	51	33	5	11	
	2	0,42	0,28	62	21	7	10	
	3	0,42	0,29	42	43	5	10	
	4	0,49	0,32	40	50	5	5	
5-10	1	0,45	0,27	48	33	5	14	
	2	0,40	0,23	58	21	7	15	
	3	0,41	0,25	40	41	6	13	
	4	0,46	0,28	52	38	4	6	
10-20	1	0,44	0,24	53	28	6	14	
	2	0,46	0,27	54	26	6	14	
	3	0,44	0,25	41	42	4	13	
	4	0,44	0,24	47	44	4	6	
20-30	1	0,48	0,29	51	30	7	13	
	2	0,48	0,29	52	28	6	15	
	3	0,45	0,28	38	46	5	12	
	4	0,44	0,23	48	40	6	7	

NOTAS: os valores que constam nesta tabela são médias das 4 repetições

(1) kPa

Quanto aos parâmetros analisados, a densidade do solo está em valores normalmente encontrados nos solos minerais e tais valores podem até mesmo parecer altos quando comparados a solos argilosos mas é importante lembrar que a classe textural está entre areia franca ou franco arenoso, o que geralmente faz com que a densidade seja maior; a porosidade está próxima a ideal (50%) e dentro da faixa normalmente encontrada em solos arenosos (MACHADO e FAVARETTO, 2006).

A umidade no momento da coleta ou atual apresentou valores menores do que a umidade retida a 1500 kPa ou ponto de murcha permanente, isto pode ter ocorrido devido a falta de chuvas no período que antecedeu a amostragem. Nota-se que o sítio mais produtivo, em função da maior biomassa produzida, demandou maior quantidade de água do solo, pois os valores da umidade atual foram os mais baixos encontrados.

Com relação à água disponível, na primeira camada de solo (0-5 cm) o sítio 4 tem valores duas vezes maiores que os demais sítios; na segunda camada (5-10 cm) os valores neste sítio são de novo aproximadamente o dobro; na terceira camada (10-20 cm) os valores do sítio 4 são superiores, mesmo sem apresentar valores numéricos muito diferentes, a média dos 3 sítios é aproximadamente 20% inferior ao sítio 4; e na terceira e última camada (20-30 cm), os valores dos outros sítios são equivalentes ou superiores. Notadamente, o atributo água disponível é o único atributo da análise física do solo que pode justificar a maior produção de biomassa de madeira no sítio 4, porém quando se trata de analisar a menor produção de biomassa em madeira os atributos físicos do solo não permitem distinção entre os sítios 1, 2 e 3.

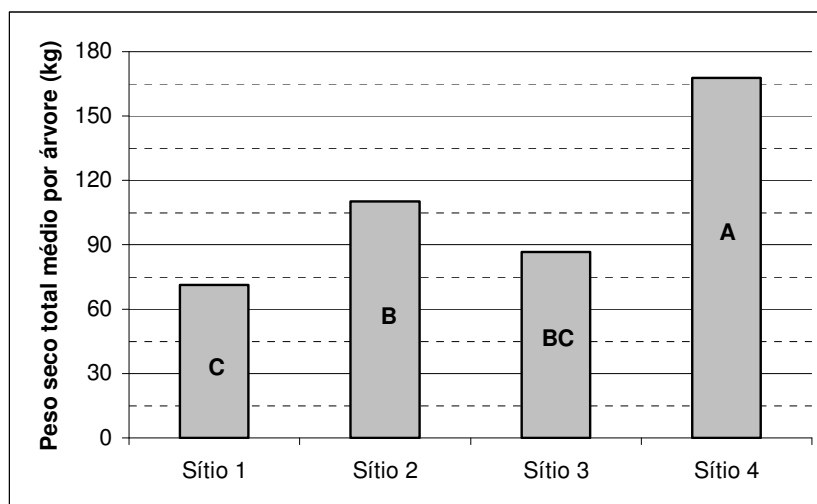
Como as camadas mais superficiais do solo são as de maior importância para o suprimento de minerais, ainda mais em plantios de *Pinus* em solos pobres em nutrientes e com drenagem excessiva (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2005), as camadas com mais água disponível contribuem para uma melhor absorção de nutrientes, e resultam em maior crescimento.

4.3 PRODUÇÃO DE BIOMASSA NOS COMPARTIMENTOS

4.3.1 Madeira

Para peso e volume de madeira as produções em todos os sítios têm como referência a idade de 11 anos e na figura 7 estão os resultados do Teste de Tukey a 5% de significância para a variável peso total de madeira, com exclusão dos resultados de peso comercial porque os resultados são semelhantes.

FIGURA 7 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO POR ÁRVORE NO COMPARTIMENTO MADEIRA

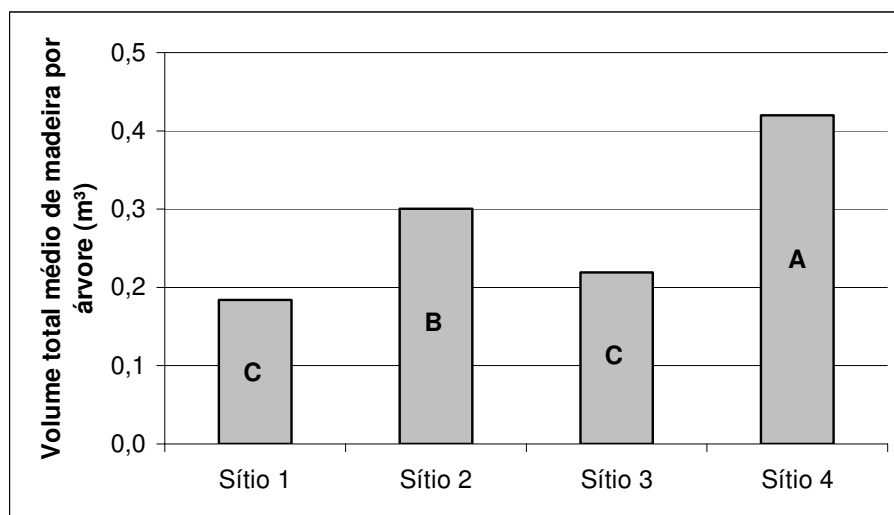


NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
peso de madeira médio por árvore na idade de 11 anos

O sítio 4 destaca-se como o de maior peso seco total alocado em biomassa de madeira, assim como o sítio 1 apresenta o menor valor médio nesta mesma variável (figura 7).

O comportamento para volume de madeira foi o mesmo que para peso seco total e de acordo com a figura 8 o sítio 4 obteve a maior média e o sítio 1 o menor valor médio, segundo o Teste de Tukey a 5%. Optou-se por não apresentar os testes com volumes comerciais, porque os resultados foram semelhantes aos volumes totais.

FIGURA 8 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA VOLUME TOTAL MÉDIO DE MADEIRA POR ÁRVORE



NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
 volume de madeira aos 11 anos
 teste para volume de madeira realizado com variável transformada (valor/10)
 dados apresentados sem transformação

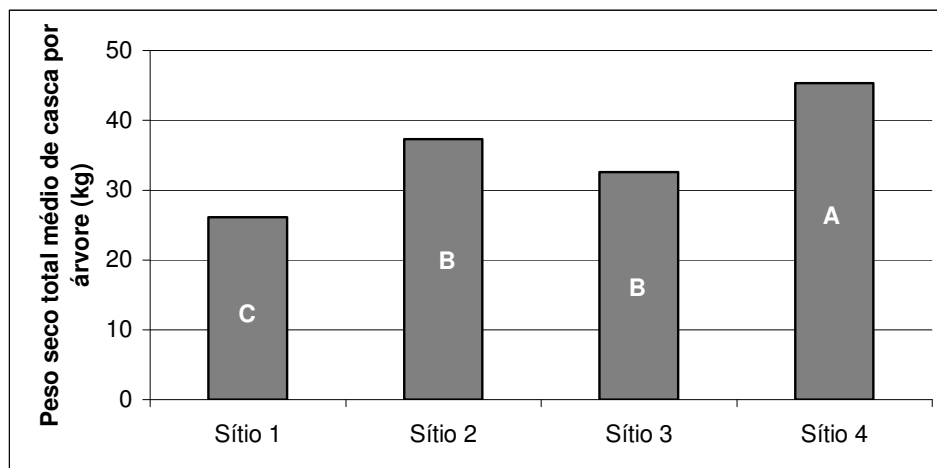
Novamente as maiores médias estão no sítio 4 e confirmam os resultados das análises químicas e físicas de solo e do teor nutricional nas acículas indicam, ou seja, sítios com árvores mais bem nutridas ou com maior disponibilidade de nutrientes no solo muito provavelmente haveriam de ter melhores produções.

Com relação às menores produtividades (sítio 1), a análise dos teores de nutrientes nas acículas (item 4.4.4) e os dados físicos do solo não indicam que neste sítio havia piores condições. As bases trocáveis foram as variáveis químicas do solo que influenciaram mais diretamente o crescimento, e por estarem em menores valores em relação aos demais sítios, foram as responsáveis pelo menor crescimento das árvores no sítio 1.

4.3.2 Casca

As variáveis peso e volume de casca consideram o sítio 2 aos 12 anos e os demais aos 11 anos e na figura 9 apresentam-se os resultados do Teste de Tukey a 5% de significância para a variável peso total de casca, com exclusão dos resultados de peso comercial.

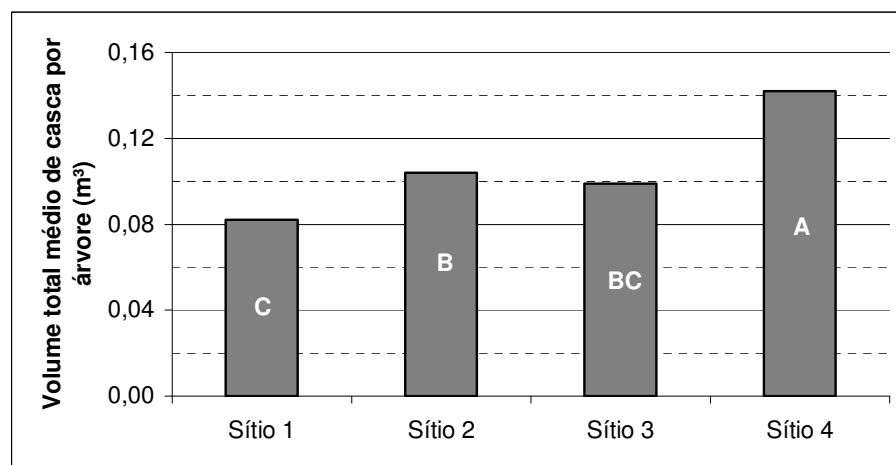
FIGURA 9 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO DE CASCA POR ÁRVORE



NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
peso de casca, no sítio 2 aos 12 anos e nos sítios 1, 3 e 4 aos 11 anos

De acordo com a figura 10 o comportamento para volume de casca foi o mesmo que para peso seco total, o sítio 4 obteve as maiores médias e o sítio 1 os menores valores médios, segundo o Teste de Tukey a 5%. Optou-se por não apresentar o teste com volume comercial, porque o resultado foi semelhante ao volume total. Assim, o sítio 4 novamente apresenta as maiores médias confirmando a maior disponibilidade de nutrientes no solo.

FIGURA 10 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA VOLUME TOTAL MÉDIO DE CASCA POR ÁRVORE



NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
volume de casca no sítio 2 aos 12 anos e nos sítios 1, 3 e 4 aos 11 anos

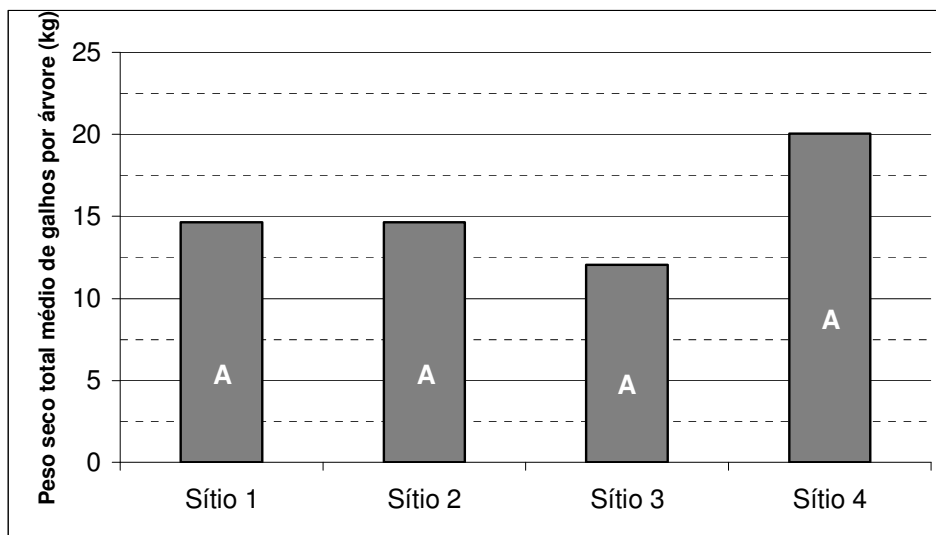
Com relação às menores produtividades (sítio 1), a análise dos teores de nutrientes nas acículas e os dados físicos do solo não indicam que neste sítio havia

piores condições. As bases trocáveis foram as variáveis químicas do solo que influenciaram mais diretamente o crescimento, e por estarem em menores valores em relação aos demais sítios foram consideradas as responsáveis pelo menor crescimento das árvores no sítio 1.

4.3.3 Galhos

A variável peso de galhos considera o sítio 2 aos 12 anos e os demais aos 11 anos e na figura 11 estão os resultados do Teste de Tukey a 5% de significância para as variáveis com peso total de galhos.

FIGURA 11 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL PESO SECO TOTAL MÉDIO DE GALHOS POR ÁRVORE



NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
peso de galhos no sítio 2 aos 12 anos e nos sítios 1, 3 e 4 aos 11 anos

Para os galhos pode-se notar pela figura 11, que os resultados não foram significativamente diferentes entre os sítios. Uma explicação para isto é a alta variabilidade entre copas em árvores dentro de um mesmo sítio. Deve-se também acrescentar que embora exista esta alta variação, no Teste de Bartlett não foi verificada variância significativa entre tratamentos, ou seja, em todos os sítios a variância foi semelhante.

Mesmo assim, o sítio 4 destaca-se como o de maior média para a variável peso total de galhos, e confirma o que a análise de solo e teor nutricional nas

acículas já indicava, ou seja, sítios com árvores mais bem nutridas ou com maior disponibilidade de nutrientes no solo haveriam de ter melhores produções.

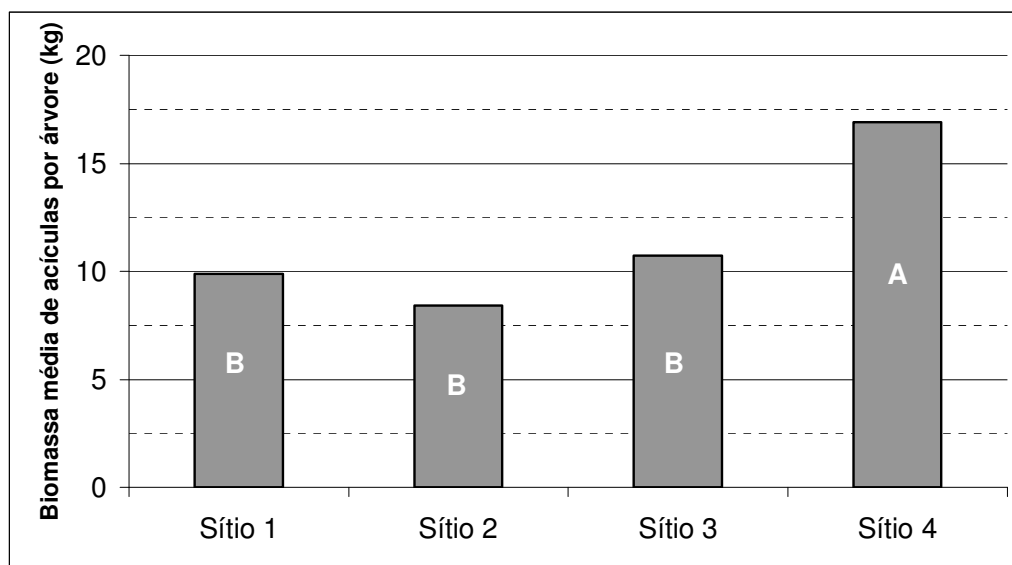
Com relação a menor produtividade (sítio 3), a análise dos teores de nutrientes nas acículas e os dados físicos e químicos do solo não indicam que neste sítio havia piores condições de crescimento. Porém, dados de SANTANA; BARROS e NEVES (1999) para diferentes procedências de espécies de *Eucalyptus* sugerem que em alguns locais a maior produção de biomassa de tronco nem sempre apresentam maiores produções de galhos ou ainda, acículas.

4.3.4 Acículas

A variável peso seco total de acículas por árvores considera o sítio 2 aos 12 anos e os demais aos 11 anos, justificam-se estes fatos pela diferença de idade entre as árvores e por não conseguir-se fazer a redução dos dados para a idade de 11 anos como para a variável madeira.

Na figura 12 estão os resultados do Teste de Tukey a 5% de significância para as variáveis com peso total, com exclusão dos resultados de peso comercial.

FIGURA 12 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA BIOMASSA MÉDIA DE ACÍCULAS POR ÁRVORE



NOTAS: letras diferentes são estatisticamente diferentes
 peso de acículas no sítio 2 aos 12 anos e nos sítios 1, 3 e 4 aos 11 anos

A maior biomassa de acículas no sítio 4 reafirma os resultados encontrados para a biomassa dos demais compartimentos, e com relação às menores produtividades (sítio 2), a análise dos dados físicos e químicos do solo não indica que neste sítio havia piores condições. No item anterior (ver 4.3.3) já há uma breve discussão que trata desta menor produção.

4.3.5 Correlação entre Atributos do Solo e Produção

As correlações obtidas entre os atributos do solo e as variáveis dendrométricas de crescimento das árvores se mostraram expressivas, ou seja, em grande número, elevados coeficientes de correlação e conseqüentemente, alta significância estatística, em geral com $p < 1\%$ (tabelas 3, 4, 5 e 6).

TABELA 3 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $p \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 0-5 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H)

ANÁLISE	ICA	IMA	V	DAP	H
Química					
pH em CaCl_2	0,89*	0,87*	0,87*	0,78*	0,91*
P	0,57**				
K	0,80*	0,69*	0,69*	0,58**	0,77*
Ca	0,85*	0,84*	0,84*	0,75*	0,90*
Mg	0,59**	0,59**	0,59**		0,64*
Al	-0,87*	-0,71*	-0,71*	-0,60**	-0,81*
H+Al	-0,67*				-0,61**
SB	0,82*	0,81*	0,81*	0,71*	0,87*
CTC _{ef.}	0,53**	0,63*	0,63*	0,56**	0,65*
V%	0,89*	0,84**	0,84*	0,73*	0,90*
m%	-0,88*	-0,86	-0,86*	-0,77*	-0,89*
Física					
Por. total	0,75*	0,78*	0,78*	0,69*	0,80*
Micropor.	0,72*	0,68*	0,68*	0,60**	0,72*
Água disp.	0,79*	0,73*	0,73*	0,65*	0,79*
Areia total	0,64*	0,55**	0,55**		0,54**
Argila	-0,58**	-0,65*	-0,65*	-0,59**	-0,61**

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

TABELA 4 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 5-10 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H)

ANÁLISE	ICA	IMA	V	DAP	H
Química					
pH em CaCl_2	0,92*	0,88*	0,88*	0,78*	0,92*
P	0,50**				
K	0,71*	0,55**	0,55**		0,65*
Ca	0,89*	0,85*	0,85*	0,75*	0,90*
Mg	0,82*	0,83*	0,83*	0,72*	0,83*
Al	-0,86*	-0,67*	-0,67*	-0,53**	-0,77*
H+Al	-0,81*	-0,56**	-0,56**		-0,70*
SB	0,90*	0,87*	0,87*	0,76*	0,90*
CTC _{ef.}	0,75*	0,85*	0,85*	0,79*	0,83*
V%	0,91*	0,87*	0,87*	0,75*	0,91*
m%	-0,90*	-0,87*	-0,87*	-0,76*	-0,88*
Física					
Umi. atual	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,77*	-0,82*
Areia total	0,77*	0,65*	0,65*	0,53*	0,67*
Argila	-0,67*	-0,54**	-0,54**		-0,60**

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

TABELA5 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 10-20 CM E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H)

ANÁLISE	ICA	IMA	V	DAP	H
Química					
pH em CaCl_2	0,94*	0,88*	0,88*	0,79*	0,92*
K	0,72*	0,57**	0,57**		0,66*
Ca	0,87*	0,86*	0,86*	0,76*	0,91*
Mg	0,79*	0,55**	0,55**		0,61**
Al	-0,80*	-0,60**	-0,60**		-0,69*
H+Al	-0,77*	-0,51**	-0,51**		-0,63*
SB	0,90*	0,81**	0,81*	0,70*	0,87*
CTC _{ph7}		0,56**	0,56**	0,59**	
CTC _{ef.}	0,80*	0,77*	0,78*	0,71*	0,81*
V%	0,94*	0,86*	0,86*	0,74*	0,91*
m%	-0,93*	-0,86*	-0,86*	-0,74*	-0,88*
Física					
Umi. atual	-0,80*	-0,75*	-0,75*	-0,67*	-0,76*
Areia total	0,80*	0,74*	0,74*	0,63*	0,78*
Argila	-0,78*	-0,75*	-0,75*	-0,67*	-0,79*

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

TABELA6 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE DE SOLO NA CAMADA DE 20-30 cm E INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA), INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA), VOLUME (V), DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E ALTURA (H)

ANÁLISE	ICA	IMA	V	DAP	H
Química					
pH em CaCl_2	0,89*	0,87*	0,87*	0,77*	0,91*
MO				0,52**	
K	0,88*	0,74*	0,74*	0,62*	0,82*
Ca	0,87*	0,79*	0,79*	0,68*	0,90*
Mg		0,51**	0,51**		0,55**
Al	-0,73*	-0,51**	-0,51**		-0,63*
H+Al	-0,73*				-0,57**
SB	0,81*	0,76*	0,76*	0,65*	0,86*
CTC _{ph7}		0,62*	0,62*	0,62**	0,63*
CTC _{ef.}	0,71*	0,75*	0,75*	0,69*	0,82*
V%	0,86*	0,79*	0,79*	0,67*	0,88*
m%	-0,81*	-0,74*	-0,74*	-0,62*	-0,83*
Física					
Macropor.	-0,69*	-0,62*	-0,62*	-0,59**	-0,65*
Micropor.	0,56**	0,54**	0,53**	0,53**	0,59**
Areia total	0,66*	0,59**	0,59**		0,58**
Argila	-0,59**				-0,60**

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

Os atributos químicos do solo: teores de nutrientes disponíveis no solo, as cargas (CTC efetiva e CTC pH 7) e a saturação por bases, foram positivamente correlacionadas com a produção. Os teores de nutrientes disponíveis no solo fazem com que ocorram maiores crescimentos nos povoamentos, como já esperado, assim como as cargas do solo, que propiciam com que os nutrientes catiônicos sejam adsorvidos pelo solo, mantiveram estes disponíveis e diminuíram a lixiviação destes nutrientes.

Negativamente correlacionados com a produção foram os atributos químicos ligados à acidez potencial e saturação por alumínio (m%). Embora o gênero *Pinus* englobe espécies tolerantes a acidez e ao conteúdo de Al nos solos, as espécies aproveitam as condições em que estes dois atributos estejam em níveis baixos para crescer mais vigorosamente.

Curiosamente, nota-se a ausência de correlação entre as variáveis dendrométricas de crescimento e o teor de P no solo, mesmo que este nutriente tenha sido encontrado em maior teor no sítio de maior produção. A disponibilidade de P no solo encontrada neste estudo também foi baixa assim como em condições

naturais dos solos do cerrado brasileiro. Tal fato pode ser explicado pelos teores encontrados nas diferentes camadas dos solos analisados, que além de estarem sempre em baixa disponibilidade, não apresentaram em nenhuma camada teores discrepantes entre 3 dos 4 sítios estudados.

Com relação à física do solo, os atributos porosidade, água disponível, umidade atual, areia total e argila correlacionaram-se com o crescimento das árvores.

A correlação do crescimento com a água disponível era esperada, pois na região onde as árvores foram coletadas o clima é estacional e os solos possuem baixa retenção de água pelo alto teor de areia e, portanto, quanto mais água este solo mantém disponível às plantas, maior será o crescimento destas. O outro atributo relacionado à água no solo, a umidade atual, correlaciona-se negativamente com o crescimento porque onde as árvores crescem mais, notadamente necessitam mais água para a produção de biomassa e a maior biomassa acicular proporciona também maior superfície para evaporação de água.

Quanto ao teor de argila estar negativamente relacionado com o crescimento foi encontrado resultado semelhante em outro estudo que analisou o desenvolvimento da espécie *Tectona grandis* em sítios do centro oeste brasileiro (SILVA et al., 2000).

Os atributos relacionados a porosidade apresentaram-se muito isoladamente, pois ora a correlação acontecia com a macroporosidade, ora com a microporosidade ou com a porosidade total.

De todos os atributos físicos somente os teores de areia total e argila exibiram repetitividade nas correlações com os parâmetros de crescimento das árvores. Areia total foi positivamente correlacionada com crescimento e argila foi negativamente correlacionada com o crescimento. Não foi encontrada na literatura consultada nenhuma justificativa para estas correlações. Esperava-se que a água disponível também fosse um dos atributos físicos correlacionados positivamente com o crescimento em todas as camadas, no entanto este atributo somente apareceu na primeira camada, provavelmente devido à grande proliferação na camada de 0-5 cm de raízes finas (<2,0mm) que absorvem água e nutrientes.

4.4 TEORES DOS NUTRIENTES MINERAIS NOS COMPARTIMENTOS

4.4.1 Madeira

4.4.1.1 Teor médio longitudinal

Na tabela 7 estão os teores dos nutrientes no compartimento madeira e o quadro 7 apresenta os teores de nutrientes segundo a literatura consultada para o compartimento madeira em espécies do gênero *Pinus*.

TABELA 7 - ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO MADEIRA

SÍTIO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	1,9	0,09	0,6	0,6	0,2	0,9	11,3	58	4,0
2	1,6	0,07	0,5	0,8	0,2	0,5	8,9	82	3,0
3	1,6	0,07	0,5	0,6	0,1	0,6	12,8	67	2,4
4	1,4	0,11	0,7	0,5	0,2	0,7	11,6	24	5,2

NOTA: valores apresentados com base na média longitudinal (amostras em 3 alturas) das 4 repetições

QUADRO 7 - COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO MADEIRA

FONTE	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	1,2	0,20	0,6	0,6	0,15	-	-	-	-
2	1,6	0,10	0,5	1,3	0,17	-	-	-	-
3	1,0	0,09	0,7	0,7	0,17	-	14,1	65,4	5,4

FONTES: 1 MORO (2005) – *P. taeda* com 12 anos

2 RODRIGUES (2004) – *P. taeda* com 7 anos

3 CASTRO, POGGIANI e NICOLIELO (1980) – *P. oocarpa* com 14 anos

Os valores encontrados para os nutrientes na madeira quando comparados aos resultados do quadro 7 mostram que o teor de N está em geral maior, no entanto em níveis dentro de uma variabilidade que pode ser atribuída ao ambiente/acaso. Os nutrientes P, K, Ca e Mg estão dentro dos valores encontrados nos estudos em comparação (quadro 7), mesmo que estes teores dependam da espécie e sítio.

CASTRO; POGGIANI e NICOLIELO (1980) comparam seus dados com *P. caribaea* e relataram que a espécie de seu estudo – *P. oocarpa* – tinha níveis de Ca inferiores, o que não foi encontrado no presente estudo. A comparação com esta espécie é interessante por serem ambas espécies tropicais de pinheiros, com ocorrência natural em regiões semelhantes e com plantio no Brasil nas mesmas regiões. Se compararmos a concentração de cálcio com espécies como *P. taeda* (MORO, 2005), também não se verificam concentrações diferentes.

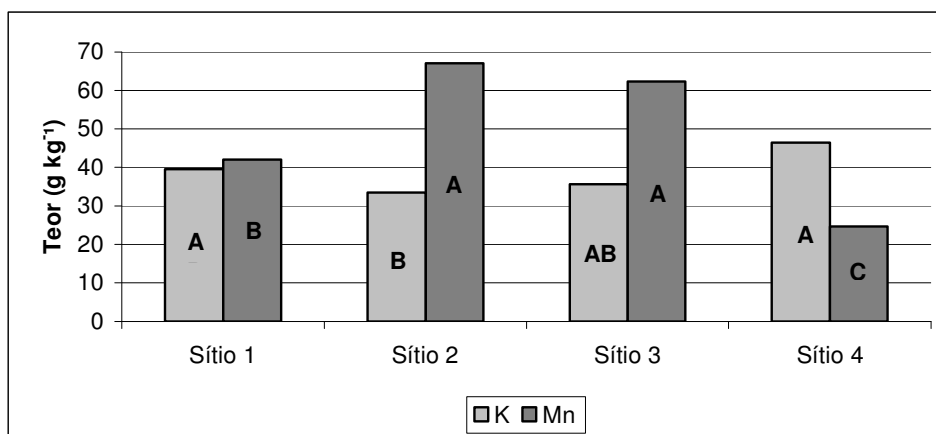
A ordem de concentração na madeira foi $N > Ca > K > Mg > P$, esta alteração na ordem dos elementos Ca e K já foi relatada por MORO (2005), que comenta que este fato pode estar relacionado à mobilidade do elemento K, translocado dos tecidos mais velhos para os mais jovens, onde sua presença é mais requisitada. Além disto, a concentração de Ca em tecidos lenhosos é elevada em virtude de este ser componente da parede celular e lamela média.

Os valores encontrados para os micronutrientes estão de acordo com os dados apresentados no quadro 7 por CASTRO, POGGIANI e NICOLIELO (1980) para *P. oocarpa* com 14 anos, embora não se tenha referência com relação ao teor de Cu. A ordem de concentração encontrada no compartimento madeira foi $Mn > Fe > Zn > Cu$.

4.4.1.2 Teor médio dos nutrientes nos anéis de crescimento ao DAP

Os teores nutricionais ao DAP foram analisados conforme o delineamento inteiramente casualizado com o fator idade subdividido dentro do fator sítio e na figura 13 apresenta-se o Teste de Tukey a 5% para os teores de K e Mn ao nível do DAP para o fator sítio. Para K o sítio 4 apresentou maior teor e o sítio 2 menor teor. Já para Mn o resultado encontrado foi inverso, sítio 4 com menor teor e sítio 2 com maior teor.

FIGURA 13 - TESTE DE TUKEY PARA AS VARIÁVEIS: TEOR DE K E DE Mn AO DAP



NOTA: letras diferentes diferem estatisticamente a 5% para o mesmo nutriente teste realizado com a variável transformada (valor/50 para K e log(valor) para Mn) valores de K apresentados com transformação (valor*100)

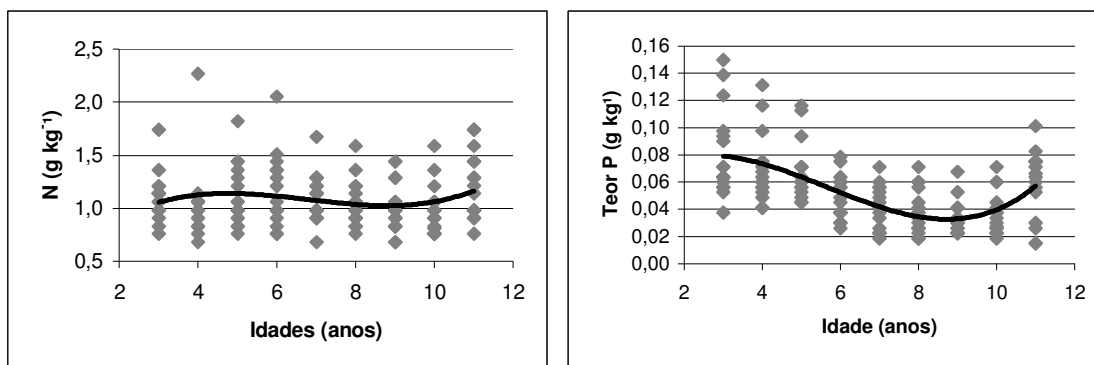
O resultado encontrado para o teor de K mostra que o sítio 4 tem os maiores valores e também aqui se mostra com melhor nutrição; e que o sítio 2, isoladamente, foi o que apresentou o menor teor, e corrobora os dados médios dos teores de K longitudinalmente encontrados na madeira do tronco (tabela 7).

A justificativa para o sítio 4 ser o de menor teor de Mn está relacionada ao menor pH do solo e o menor nível de MO no solo deste sítio. DECHEN e NACHTIGALL (2006) afirmam que a concentração de Mn na planta é correlacionada negativamente com o aumento do pH do solo e positivamente com o aumento no teor de MO no solo. Tal situação é encontrada no ambiente dos povoamentos estudados, o que pode justificar esta baixa concentração (ver tabela 1). Embora as folhas sejam os tecidos vegetais mais comumente utilizados para análise nutricional, outros tecidos como a madeira, podem dar suporte para a determinação da nutrição de plantas na ausência de tecidos padrões (MORO, 2005).

Na análise do fator idade foi utilizada a análise de regressão. Para o ajuste das equações foi testada primeiramente a significância dos coeficientes para 1º, 2º e 3º graus pela ANOVA, após, para os coeficientes com $p < 5\%$ foram determinados o coeficiente de determinação (r^2). O grau escolhido foi aquele que obteve significância dos coeficientes e maior valor de r^2 . Deste modo, na figura 14 estão as linhas de tendência para os nutrientes (com exceção de K) ao nível do DAP, ajustados para 1º, 2º ou 3º grau.

FIGURA 14 - REGRESSÕES AJUSTADAS PARA OS TEORES DE NUTRIENTES AO NÍVEL DO DAP

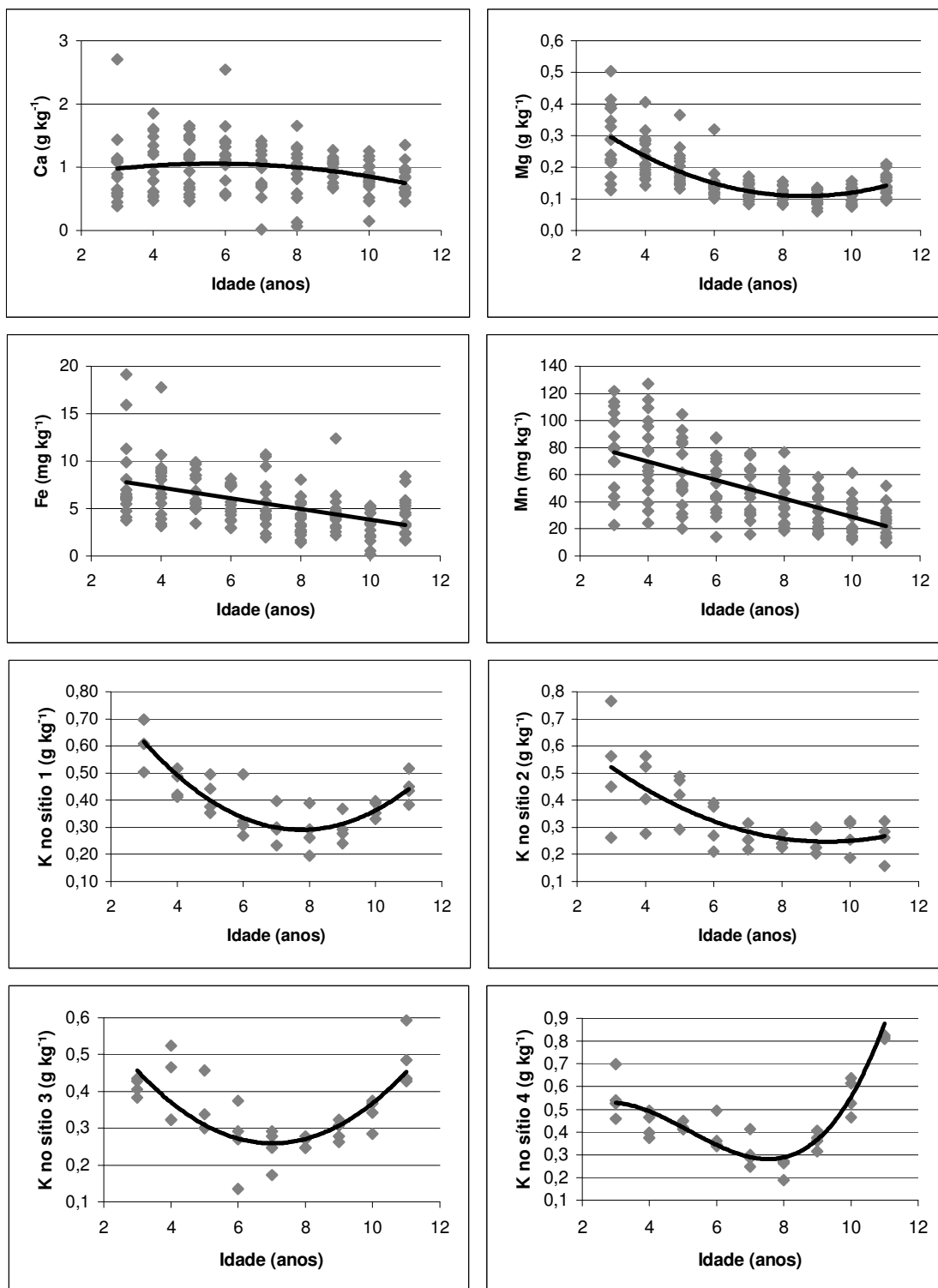
continua



NOTA: testes e valores apresentados sem transformação

FIGURA 14 - REGRESSÕES AJUSTADAS PARA OS TEORES DE NUTRIENTES AO NÍVEL DO DAP

término



NOTA: testes e valores apresentados sem transformação

Para N não se verifica tendência para sua distribuição ao longo do DAP, que se mostra mais ou menos constante. P mostra uma distribuição em que os teores na região próxima a medula são maiores e diminuem até chegarem próximo a casca, onde tem novamente um aumento. A distribuição do K é equivalente na casca e na medula, porém os valores são menores no centro do raio (sítios 1, 3 e 4) e é alta na medula, com diminuição até próximo a casca, onde torna-se mais ou menos constante (sítio 2). Para Ca a distribuição não apresenta uma tendência definida, pois os dados são muito dispersos, embora se tenha encontrado uma curva nos testes estatísticos. Mg apresenta uma distribuição que diminui gradualmente até o centro do raio, onde tem um leve aumento próximo a casca. Fe e Mn têm distribuição que diminui desde próximo a medula até a casca, com grande dispersão nos pontos.

As árvores analisadas não apresentaram evidências de formação de cerne e assim, não há translocação de nutrientes na madeira por este efeito, mas como os sítios são de baixa fertilidade pode haver translocação dos compartimentos menos exigentes (tronco) para os mais exigentes (acículas) devido a baixa disponibilidade de nutrientes, no caso de elementos móveis (N, P, K e Mg). A diminuição nos teores da proximidade da medula em direção a casca pode ser justificada também pela própria natureza do crescimento de povoamentos florestais, ou seja, com o passar da idade aumenta a competição entre árvores pelos nutrientes minerais e faz com que os teores sejam menores em tecidos internos.

REZENDE e FERRAZ (1992a) também verificaram decréscimo no teor de nutrientes do lenho com o aumento da idade, com exceção do K, além de justificarem que as curvas de P e Mg podem ser semelhantes devido ao efeito sinérgico recíproco.

Os nutrientes Ca e N não apresentam evidências de diminuição nos teores no sentido medula-casca (figura 14). A justificativa para o elemento Ca é a baixa mobilidade do elemento na planta, pois se encontra firmemente ligado a estruturas apoplásticas, como paredes celulares e membrana plasmática, muitas das suas funções estão ligadas à sua capacidade de coordenação e composição estrutural de macromoléculas, que conferem ligações intermoleculares estáveis, mas reversíveis (VITTI; LIMA e CICARONE, 2006). Ao contrário, N é um elemento de alta mobilidade e de intensa utilização no metabolismo da planta.

Na figura 14 encontram-se as linhas de tendência para o nutriente K ao nível do DAP, ajustados para 1º, 2º ou 3º grau em cada um dos sítios. Os aumentos nos teores de K no sentido medula-casca nos sítios 1, 3 e 4 não podem ser interpretados com relação ao potencial de crescimento dos sítios, já que no sítio 2 existe maior potencial do que nos sítios 1 e 3 e, no entanto, não foi verificada a mesma tendência para este sítio.

4.4.2 Casca

Os teores de nutrientes minerais no compartimento casca das árvores estudadas constam na tabela 8.

TABELA 8 - ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO CASCA

SÍTIO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	4,1	0,26	1,1	2,1	0,3	3,2	180	56	13,0
2	4,6	0,21	0,8	1,9	0,3	3,4	181	65	12,5
3	3,6	0,23	1,0	1,9	0,2	3,6	226	69	11,9
4	4,3	0,35	2,2	2,3	0,5	4,2	236	40	16,7

NOTA: valores apresentados com base na média longitudinal (amostras em 3 alturas) das 4 repetições

O quadro 8 apresenta dados de teores de nutrientes encontrados na literatura para o compartimento casca em diferentes espécies de *Pinus*.

QUADRO 8 – COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO CASCA

FONTE	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	3,7	0,26	1,8	1,6	0,32	-	-	-	-
2	2,3	0,14	1,2	0,9	0,21	-	77	29	-
3	3,4	0,30	1,1	0,2	0,20	3,5	72	68	16

FONTES: 1 MORO (2005) – *P. taeda* com 12 anos

2 CASTRO, POGGIANI e NICOLIELO (1980) – *P. oocarpa* com 14 anos

3 LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984) – *P. elliottii* com 24 anos

Para a casca os teores dos macronutrientes estão novamente superiores ou semelhantes. N, P, K e Mg são os macronutrientes que estão em níveis semelhantes aos resultados para as diferentes espécies do gênero *Pinus* (quadro 8). O nutriente Ca está acima, porém em níveis não muito discrepantes e seus teores são praticamente a metade do encontrado pra N.

O micronutriente Fe está em nível aproximadamente três vezes superior aos valores mostrados no quadro 8. Mn está na mesma faixa encontrada por LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984), mas bastante superiores ao encontrado por CASTRO; POGGIANI e NICOLIELO (1980). Zn e Cu estão em concentrações semelhantes ao referendado no quadro 8.

As relações acima demonstram que para os macronutrientes os níveis de Ca merecem especial atenção por serem bastante elevados no compartimento casca. CASTRO, POGGIANI e NICOLIELO (1980) também compararam seus dados com *P. caribaea* e relatou que a espécie de seu estudo – *P. oocarpa* – apresentava concentrações inferiores de Ca. A comparação com esta espécie é interessante por serem as duas espécies tropicais de pinheiros, com ocorrência natural e plantio no Brasil em regiões semelhantes. Porém, as concentrações mostram-se semelhantes quando se compara com árvores de *P. taeda* estudadas por MORO (2005).

Embora os níveis de Fe e Mn na casca estejam altos, os teores de micronutrientes encontrados em tecidos vegetais são muito variáveis. Para Fe os teores podem variar desde 10 até 1500 mg kg⁻¹, com concentrações adequadas entre 50 e 100 mg kg⁻¹ (DECHEN e NACHTIGALL, 2006). Quanto ao Mn, os teores vão de 5 até 1500 mg kg⁻¹ e os teores adequados de 20 até 500 mg kg⁻¹ (DECHEN e NACHTIGALL, 2006).

A ordem de concentração na casca foi N > Ca > K > Mg > P, esta alteração na ordem dos elementos Ca e K já foi relatada por MORO (2005), que comenta que este fato pode estar relacionado à mobilidade do elemento K, translocado dos tecidos mais velhos para os mais jovens, onde sua presença é mais requisitada. Além disto, a concentração de Ca em tecidos lenhosos é elevada em virtude de este ser componente da parede celular e lamela média.

Para os micronutrientes a ordem de concentração foi Fe > Mn > Zn > Cu na casca, resultados semelhantes são encontrados em LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984).

4.4.3 Galho

Os teores dos nutrientes no compartimento galho estão na tabela 9.

TABELA 9 - ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO GALHO

SÍTIO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	2,4	0,16	1,0	0,7	0,4	1,9	79	108	8,2
2	3,0	0,19	1,1	1,1	0,4	2,2	117	146	6,5
3	2,2	0,14	0,7	1,0	0,3	2,3	122	151	7,4
4	2,4	0,23	1,4	1,2	0,5	1,7	110	75	9,1

NOTA: valores apresentados com base na média longitudinal (amostras em 3 alturas) das 4 repetições

O quadro 9 apresenta dados de teores de nutrientes encontrados na literatura para o compartimento galho em algumas espécies de *Pinus*. Os ramos estão com níveis equivalentes para os nutrientes N, P, K, Ca e Mn e não muito superiores para Mg. Tanto para o Fe como o Zn os níveis são bastante superiores quando comparados aos dados de CASTRO; POGGIANI e NICOLIELO (1980). Quando comparamos Fe e Zn aos dados de LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984), estes se mostram respectivamente, equivalente e duas vezes superior.

QUADRO 9 – COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO GALHO

FONTE	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	3,7	0,23	0,8	1,8	0,29	-	-	-	-
2	2,4	0,18	1,6	1,2	0,33	-	55	118	25
3	3,7	0,40	0,9	0,8	0,60	3,7	148	199	11

FONTES: 1 RODRIGUES (2004) – *P. taeda* com 7 anos

2 CASTRO, POGGIANI e NICOLIELO (1980) – *P. oocarpa* com 14 anos

3 LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984) – *P. elliotii* com 24 anos

Nos galhos a ordem de concentração foi: N > K > Ca > Mg > P, que é a ordem normalmente encontrada nos tecidos vegetais das principais espécies cultivadas. Para os micronutrientes a ordem de concentração foi Mn > Fe > Zn > Cu nos galhos, resultados semelhantes são encontrados em LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984).

4.4.4 Acículas

Inicialmente verificou-se se existiam diferenças entre a comparação das concentrações dos nutrientes minerais nas acículas e dos conteúdos dos nutrientes em 100 acículas. Tal comparação se fez em conformidade com o pressuposto por MEAD (1984), que indica as medidas de peso por unidade de área foliar ou peso por

folha como úteis em casos em que ocorra troca na reserva de carboidratos ou por existirem menores variações em peso seco. No entanto, não foram verificadas muitas diferenças entre os métodos e optou-se pela comparação das concentrações dos nutrientes nas acículas.

Os teores dos nutrientes minerais nas acículas foram significativamente diferentes entre os sítios, pela distribuição de F da ANOVA, para N, Fe e Mn com $p < 5\%$ e para K e Mg com $p < 1\%$. Os demais nutrientes (P, Ca, Cu e Zn) não foram estatisticamente diferentes pelo teste de F da ANOVA ($p > 5\%$). Na tabela 10 apresentam-se os teores médios dos nutrientes minerais no compartimento acículas das árvores estudadas. Nesta mesma tabela estão os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade de erro para os nutrientes que se apresentaram estatisticamente diferentes pela ANOVA.

TABELA 10 - ANÁLISE QUÍMICA DE NUTRIENTES NO COMPARTIMENTO ACÍCULAS

SÍTIO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
1	13,2b	0,75	5,6b	1,6	0,8ab	3,2	149b	296a	21,9
2	15,3a	0,68	4,7b	1,5	0,8b	2,4	157b	323a	28,1
3	13,0b	0,65	4,7b	1,3	0,6b	3,3	171ab	303a	18,4
4	13,0b	0,94	8,8a	1,5	1,1a	4,6	263a	118b	30,3

NOTAS: valores apresentados com base na média longitudinal (amostras em 3 alturas) das 4 repetições

médias com letras diferentes nas colunas são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Para N o maior valor foi obtido no sítio 2 e os menores valores foram para os sítios 3 e 4. Com relação a K, o maior teor foi encontrado no sítio 4 e os menores valores no sítio 2 e 3. O nutriente Mg obteve maior valor no sítio 4 e menores valores nos sítios 2 e 3 (tabela 10). Já para os micronutrientes Fe e Mn as maiores médias foram do sítio 4 e 2 e os menores no sítio 1 e 4, respectivamente.

O sítio 4 foi novamente, de acordo com resultados encontrados na análise de solo, o que obteve a maior quantidade de médias estatisticamente maiores com exceção de N e Mn. Com relação ao N, a análise química do solo mostra que os teores de MO no sítio 2 estão entre os maiores e que no sítio 4 os teores são os menores, ambos quando se considera todas as camadas de solo analisadas, o que corrobora os resultados encontrados. Discussões quanto ao nutriente Mn já foram feitas anteriormente (ver 4.4.1.2).

Um dos efeitos que causa variação na concentração dos nutrientes é o efeito de diluição, que significa encontrar menores teores dos nutrientes em árvores com maior biomassa. Os resultados aqui apresentados não sofreram alterações devido a este efeito (a única possibilidade pode ser com relação ao N), pois as árvores do sítio de maior crescimento foram as que apresentaram maiores teores nutricionais.

Quando consideramos todos os sítios, a ordem dos teores de nutrientes encontrada foi $N > K > Ca > Mg > P$ para macronutrientes e para micronutrientes $Mn > Fe > Zn > Cu$. Os macronutrientes e micronutrientes estão em ordem normalmente encontrada nas principais culturas.

Não há consenso quanto aos teores ideais a serem preconizados para espécies de *Pinus*, mas estes limites embora divergentes entre alguns autores não são de todo modo muito discrepantes. Sabe-se ainda a espécie *P. taeda* é mais exigente nutricionalmente do que *P. elliottii* (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2005). Como comparações serão utilizadas os valores médios encontrados no quadro 10.

QUADRO 10 – COMPARATIVO PARA TEORES DE NUTRIENTES EM ACÍCULAS

AUTOR	ESPÉCIE	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
REISSMANN (1981)	<i>P. taeda</i>	18,0	1,3	7,0	0,8	0,8	5	133	210	20
		23,0	1,4	11,0	3,0	1,5	7	165	363	80
MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA (1997)	<i>Pinus</i> (gênero)	12,0	1,4	10,0	3,0	1,5	5	50	200	34
		13,0	1,6	11,0	5,0	2,0	8	100	300	40
VAN GOOR citado por CARVALHO et al. (1983) ⁽¹⁾	<i>P. elliottii</i>	13,3	1,0	5,5	2,5	1,0	4	147	320	37

NOTA: (1) levantamento dos teores médios nas acículas em plantações de *P. elliottii* no sul do Brasil

Os elementos N, Fe e Mn estão em limites considerados ideais, e que com exceção do Fe, nenhum outro elemento está acima dos valores de referência (quadro 10). P, Ca, Mg, Cu e Zn estão abaixo dos valores preconizados, no entanto os elementos para os quais os níveis estão preocupantes são P, K e Ca. O nutriente K está em níveis inferiores e preocupantes nos sítios 1, 2 e 3, porém o sítio 4 está em níveis inferiores, mas próximos ao normal.

No sítio 4 os teores dos nutrientes K, Mg e Fe foram maiores e diferenciados estatisticamente dos demais. Além destes nutrientes, P, Cu e Zn também tiveram as maiores concentrações no sítio 4, embora não diferenciados estatisticamente.

Notadamente, quando se consideram estas afirmações juntamente com as do parágrafo anterior, acredita-se que foram mais importantes para a produção de madeira os nutrientes K e P; K por ser o segundo nutriente em concentração nas acículas e porque o teor nas acículas está correlacionado ao teor no solo em quase todas as camadas (item 4.4.4.1) e P porque embora seja o macronutriente de menor concentração nas acículas, é responsável pelas reações de transferência de energia para formação de compostos orgânicos necessários ao desenvolvimento vegetativo.

4.4.4.1 Correlações entre os atributos do solo e o teor dos nutrientes minerais nas acículas

Conforme apresentado nas tabelas 11, 12, 13 e 14, muitas variáveis correlacionam-se com o teor de nutrientes nas acículas. Neste subcapítulo, para facilitar a interpretação dos resultados, serão considerados em separado os resultados das análises química e física dos solos.

TABELA 11 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 0-5 CM E TEOR NAS ACÍCULAS

ANÁLISES DO SOLO	NUTRIENTES NAS ACÍCULAS								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Química									
pH em CaCl ₂		0,52**	0,76*		0,73*	0,50**	0,75*	-0,71*	
P			0,57**			0,52**	0,51**		
K			0,57**				0,89*	-0,71*	
Ca			0,68*				0,82*	-0,84*	
Mg			0,65*			0,70*	0,65*	-0,60**	
Al		-0,60**	-0,80*		-0,75*	-0,50**	-0,63*	0,74*	
H+Al			-0,63*		-0,58**			0,64*	
SB			0,71*			0,51**	0,82*	-0,81*	
CTC _{ef.}							0,70*	-0,62**	
V%			0,79*		0,61**	0,55**	0,80*	-0,81*	
m%		-0,52**	-0,80*		-0,64*	-0,58**	-0,76*	0,77*	
Física									
Por. total			0,59**		0,56**		0,72*		
Micropor.			0,62**		0,50**		0,57**	-0,75*	
Água Disp.			0,64*		0,60**		0,71*	-0,64*	
Areia grossa			-0,51**						
Areia fina			0,61**			0,53**			
Areia total		0,58**	0,66*		0,62**				
Argila			-0,64*		-0,53**	-0,69*			

NOTAS: * $p \leq 1\%$
 ** $p \leq 5\%$

TABELA12- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM P<=5% ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 5-10 CM E TEOR NAS ACÍCULAS

ANÁLISES DO SOLO	NUTRIENTES NAS ACÍCULAS								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Química									
pH em CaCl ₂			0,80*		0,70*	0,54**	0,79*	-0,74*	
P	-0,62*		0,55**			0,51**		-0,50**	
K			0,50**				0,85*	-0,64*	
Ca			0,77*		0,55**	0,51**	0,79*	-0,80*	
Mg			0,70*		0,65*		0,76*	-0,66*	
Al		-0,57**	-0,82*		-0,66*	-0,68*	-0,73*	0,74*	
H+Al		-0,50**	-0,73*		-0,62**	-0,61**	-0,70*	0,68*	
SB			0,77*		0,59**	0,49**	0,82*	-0,78*	
CTC _{ef.}			0,57**				0,73*	-0,67*	
V%			0,80*		0,66*	0,56**	0,79*	-0,77*	
m%		-0,55**	-0,82*		-0,68*	-0,61**	-0,74*	0,73*	
Física									
Dens.solo				0,67*					
Umi. atual		-0,67*	-0,66*		-0,75*		-0,51**	0,63*	
Por. total						0,64*			
Macropor.						0,59**			
Água Disp.			0,57**			0,67*			
Areia total		0,51**	0,81*		0,65*	0,57**	0,56**	-0,59**	
Argila			-0,65*		-0,51**		-0,58**	0,59**	

NOTAS: * p<=1%

** p<=5%

TABELA13- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM P<=5% ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 10-20 CM E TEOR NAS ACÍCULAS

ANÁLISES DO SOLO	NUTRIENTES NAS ACÍCULAS								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Química									
pH em CaCl ₂		0,52**	0,85*		0,71*	0,57**	0,75*	-0,74*	
MO		-0,51**							
P	0,51**	0,55**							
K							0,85*	-0,64*	
Ca			0,68*		0,56**		0,82*	-0,79*	
Mg			0,66*		0,55**		0,72*	-0,56**	
Al	0,51**	-0,57**	-0,82*		-0,64*	-0,70*	-0,67*	0,68*	
H+Al	0,54**	-0,52**	-0,80*		-0,61**	-0,68*	-0,65*	0,66*	
SB			0,72*		0,60**		0,85*	-0,77*	
CTC _{ef.}			0,54**				0,80*	-0,68*	
V%			0,82*		0,70*	0,52**	0,79*	-0,78*	
M%		-0,61**	-0,84*		-0,77*	-0,59**	-0,70*	0,72*	
Física									
Umi. Atual		-0,55**	-0,72*		-0,66*	-0,57**	-0,64*	0,63*	
Micropor.		0,75*							
Água Disp.		0,70*		0,50**	0,55**	0,58**			
Areia total		0,55**	0,85*		0,60**	0,70*	0,67*	-0,68*	
Silte			-0,52**	0,57**					
Argila			-0,73*		-0,61**	-0,65*	-0,72*	0,58**	

NOTAS: * p<=1%

** p<=5%

TABELA14- CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO NA CAMADA DE 20-30 CM E TEOR NAS ACÍCULAS

ANÁLISES DO SOLO	NUTRIENTES NAS ACÍCULAS								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Química									
pH em CaCl_2			0,79*		0,62**	0,56**	0,73*	-0,73*	
P		0,76*	0,53**		0,59**	0,52**			0,51**
K			0,69*		0,62**		0,88*	-0,75*	
Ca			0,76*		0,54**		0,85*	-0,80*	
Mg							0,63*	-0,65	
Al	0,59**		-0,76*		-0,52**	-0,67*	-0,67*	0,70*	
H+Al	0,64*	-0,54**	-0,74*		-0,54**	-0,63*	-0,59**	0,66*	
SB			0,70*				0,85*	-0,82*	
CTC _{ph7}							0,61**		
CTC _{ef.}							0,79*	-0,73*	
V%			0,79**		0,51**	0,54**	0,82*	-0,82*	
m%			-0,80*		-0,54**	-0,61**	-0,79*	0,76*	
Física									
Umi. Atual				-0,50**					
Macropor.			-0,51**				-0,65*		
Água Disp.								0,55**	
Areia total		0,68*	0,69*		0,63*	0,62**	0,56**		
Argila		-0,53**	-0,65*			-0,69*	-0,54**	0,57**	

NOTAS: * $p \leq 1\%$ ** $p \leq 5\%$

As variáveis químicas do solo mostram-se de difícil avaliação quando consideradas em separado. Nota-se que os teores nas acículas de N, Ca e Zn em geral não foram correlacionados com os atributos químicos do solo. Para uma análise global indicam-se os atributos do solo m%, V% e pH, visto que são correlacionados com diversos nutrientes nas acículas, e também por seu cálculo reunir informações de alguns nutrientes (por exemplo, V% é calculado com a soma do teor dos nutrientes básicos). Assim, os resultados indicam que os sítios com solo menos ácido podem conduzir ao aumento dos teores nutricionais nas acículas, pelo aumento da disponibilidade da maioria dos nutrientes minerais.

A concentração de K nas acículas apresentou correlações positivas e significativas com vários atributos químicos e físicos do solo em todas as camadas analisadas. Além disto, em relação a todos os outros nutrientes, K apresentou maior número de correlações entre os teores nas acículas e camadas do solo, mostrando que é um elemento importante para uma melhor produção. A correlação entre acícula e solo não ocorreu em tantas camadas, como para K, nos demais nutrientes,

nem mesmo indiretamente como, por exemplo, a correlação dos teores de Ca ou Mg nas acículas e a soma de bases no solo, da qual Ca e Mg fazem parte do cálculo.

Com relação aos micronutrientes notam-se as boas correlações para Cu, Fe e Mn. Para Cu e Fe as correlações mostram o mesmo comportamento, ou seja, quando existe a correlação com um mesmo atributo do solo para estes mesmos nutrientes, elas são positivas ou negativas para ambos. MARSCHNER (1995) comenta que Cu é um elemento de transição e tem algumas similaridades com Fe, tais como a formação de complexos altamente estáveis e a facilidade na transferência de elétrons. A absorção de Fe pode também ser afetada pela presença de Mn no meio, através do fenômeno de inibição competitiva (MALAVOLTA, 1979). Considerações sobre o Mn já foram feitas anteriormente.

Estas situações mostram que as correlações entre os nutrientes P, Ca e Mg nas acículas e no solo não apresentam correlações, pois embora existam concentrações diferentes nos solos dos diferentes sítios, todos eles são considerados de baixa fertilidade natural e que as diferenças existentes não foram significativas para a obtenção de correlações.

Na análise física do solo, que repete a química, foram diversas as variáveis com correlação com os teores foliares e do mesmo modo, necessita-se agrupar estas em uma característica que reúna o maior número possível de variáveis, para facilitar as discussões. Deste modo, pode-se identificar que a disponibilidade de água no perfil, importante para o processo de absorção de nutrientes e crescimento das árvores, reúne tais características, pois influenciou positivamente as correlações com os teores foliares de um grande número de nutrientes, como por exemplo, K nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e Mg nas camadas de 0-5 e 10-20 cm.

A correlação negativa da umidade atual pode ser explicada pelos menores valores encontrados em sítios mais produtivos e que necessitam de maiores quantidades de água, e assim, diminuem o teor no solo.

Outros parâmetros interessantes na análise física do solo são as correlações com a textura do solo, ou seja, argila, areia ou silte, os quais já foram discutidos no item 4.3.5. Além disto, são notórias as correlações positivas entre areia total e as concentrações dos nutrientes nas acículas.

4.4.5 Abordagem Geral sobre Teores dos Nutrientes nos Compartimentos

A concentração para os nutrientes N, P e K nos tecidos seguiu a ordem geralmente encontrada em plantas (BELLOTE e SILVA, 2000): acículas > casca > galhos > madeira. Para Mg a ordem encontrada foi: acículas > galhos > casca > madeira, a mesma ordem encontrada por LA TORRACA; HAAG e MIGLIORINI (1984) e CASTRO; POGGIANI e NICOLIELO (1980). Já para Ca a ordem foi: casca > acículas > galhos > madeira.

Os teores de Cu e Fe foram maiores na casca > acículas > galhos > madeira, tais resultados não são comuns, pois as acículas contêm sempre o maior teor de nutrientes. Para Mn a ordem foi: acículas > galhos > casca > madeira, e para Zn: acículas > casca > galho > madeira.

Com relação aos teores dos nutrientes nos compartimentos madeira, casca, galhos e acículas, a maior produção do sítio 4 pode ser justificada pelos maiores teores de P, K e Zn, entre outros nutrientes, em todos os compartimentos. REISSMANN e WISNIEWSKI (2005) evidenciam que em vários levantamentos nutricionais efetuados para as espécies *P. elliotii* e *P. taeda*, as deficiências encontradas foram ora de N e P, ora de K, Mg e Zn; destes 5 nutrientes, portanto, o sítio 4 tem os maiores teores em 3. Com relação ao sítio de menor produção de madeira e casca – sítio 1 – não foi possível verificar nas análises dos teores nutricionais dos compartimentos madeira, casca, galhos e acículas, nenhuma evidência que pudesse indicar estas menores produções, no entanto nas análises químicas e físicas de solo chamou-se a atenção para os atributos disponibilidade de Ca e CTC_{pH7} que explicam estas menores produções (ver 4.1).

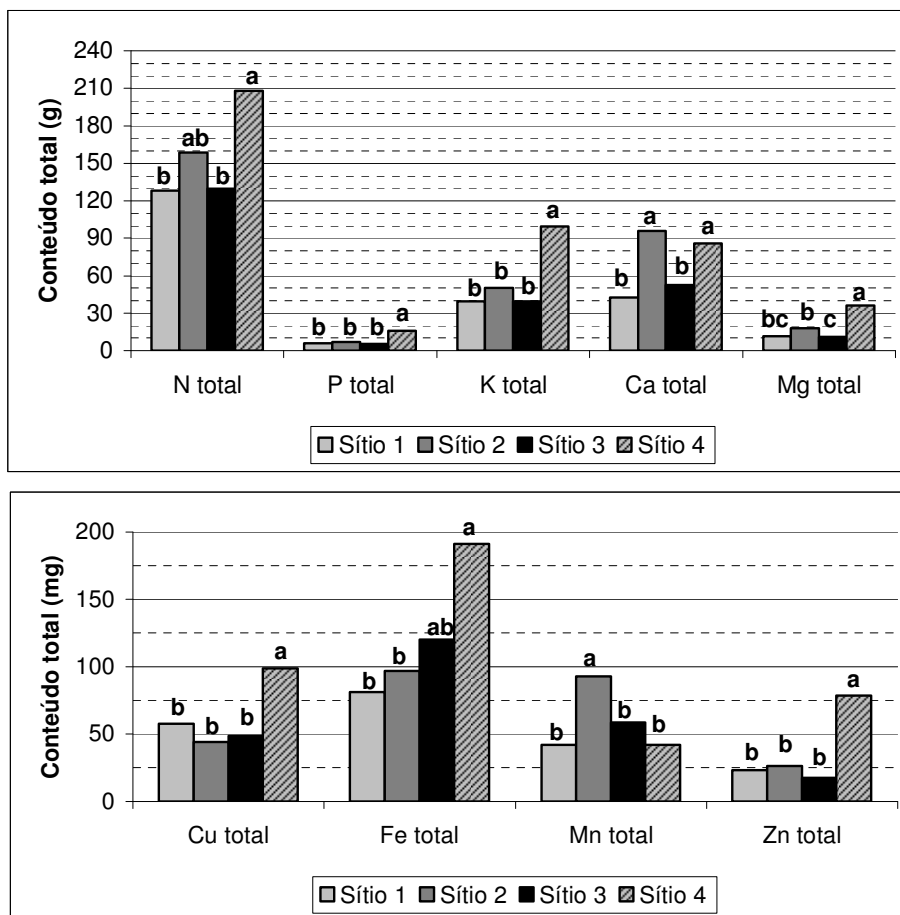
4.5 CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTOS

4.5.1 Madeira

Os dados para os nutrientes presentes na madeira foram analisados quanto aos conteúdos totais na porção comercial e no cone (formado pela ponteira da árvore). Como os comportamentos foram semelhantes optou-se por mostrar e discutir apenas o conteúdo total na madeira.

A figura 15 mostra os testes de Tukey realizados após ANOVA para os nutrientes analisados.

FIGURA 15 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (ACIMA) E MICRONUTRIENTES (ABAIXO) NO COMPARTIMENTO MADEIRA



NOTAS: letras diferentes em colunas de um mesmo nutriente diferem estatisticamente para Mg os dados estão sem transformação e os testes foram feitos com valores transformados os valores apresentados foram modificados para Fe (valor/10), Mn (valor/100) e Zn (valor/10)

De acordo com a figura 15 o sítio 4, de maior produção em biomassa de madeira, foi o que apresentou maiores valores para os conteúdos totais na madeira de N, P, K e Mg, para estes nutrientes os sítios de menores valores foram respectivamente os sítios de número 1, 3, 1 e 3; destes o sítio 1 apresenta diferença estatística como de menor produção em biomassa de madeira. Para o nutriente Ca, o sítio 2 foi o de maior acumulação no compartimento madeira; e o sítio de menor acúmulo de Ca no compartimento madeira foi o 1.

Para os micronutrientes, os conteúdos totais de Cu, Fe e Zn no compartimento madeira foram maiores no sítio de maior produção – 4 – e os menores conteúdos totais foram nos sítios 1, 2 e 3, respectivamente. Sítios com maior produção de biomassa freqüentemente são mencionados como os de maiores exportações de nutrientes. Neste estudo as concentrações de nutrientes no compartimento madeira não foram em números reais tão discrepantes entre si para a maioria dos nutrientes, mesmo quando comparados o sítio de maior produção – 4 – e o sítio de menor produção – 1, deste modo o conteúdo total pode ser mais bem entendido simplesmente pela produção. Ainda em relação aos micronutrientes, chama a atenção o fato de Mn ter maior acúmulo no sítio 2, justificado pela concentração na madeira de aproximadamente 3x superior a encontrada no sítio 4; já a menor acumulação foi no sítio 1, embora a concentração neste sítio tenha sido 2x superior a encontrada no sítio 4, a produção foi aproximadamente a metade.

Como o conteúdo de nutrientes na madeira (figura 15) é resultado da multiplicação entre a concentração do elemento e o peso total de biomassa produzida, é natural que o sítio 4 apresente os maiores valores, pois mesmo em nutrientes em que este sítio apresentou menores teores, a grande diferença de produção de biomassa proporciona o aumento nos valores.

Nos sítios 1, 2 e 3, a ordem de acúmulo ou conteúdo total para os macronutrientes foi: $N > Ca > K > Mg > P$; e no sítio 4 a ordem foi: $N > K > Ca > Mg > P$. Para os micronutrientes a ordem no conteúdo de nutrientes em todos os sítios foi $Mn > Fe > Zn > Cu$.

4.5.2 Casca

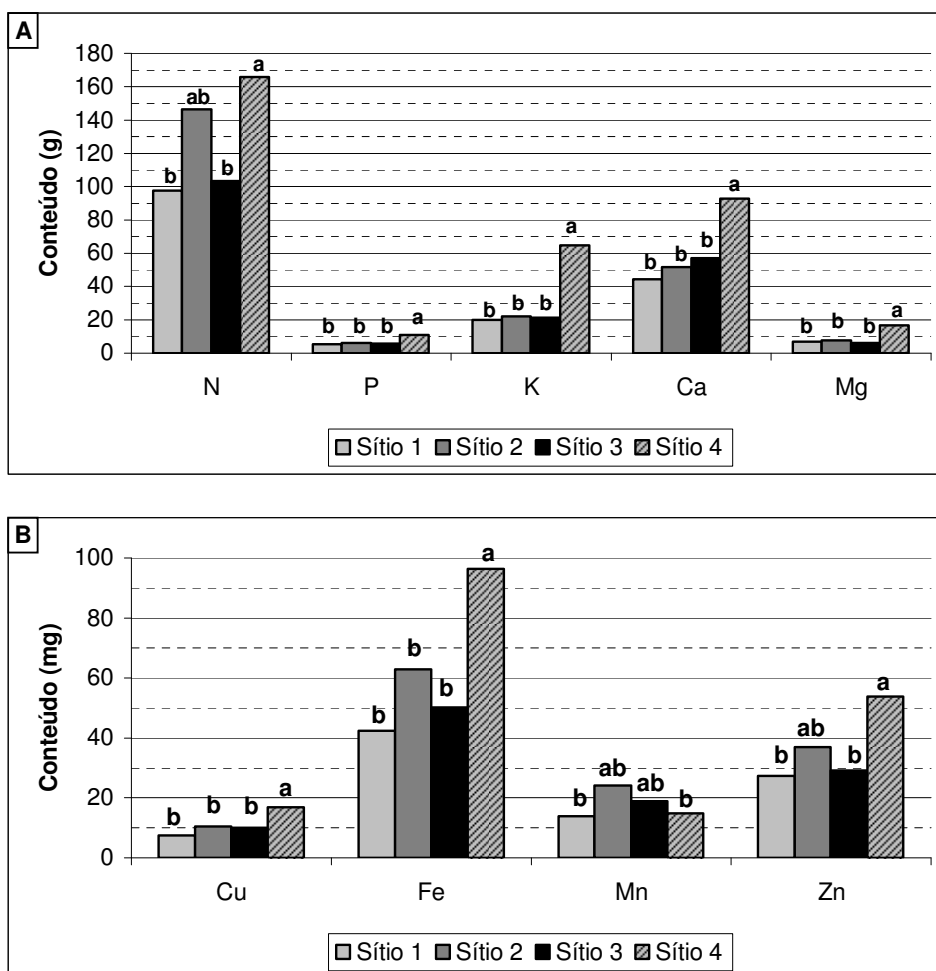
Os dados para os nutrientes presentes na casca foram analisados quantos aos conteúdos totais, na porção comercial e no cone (formado pela ponteira da árvore). Como os comportamentos foram semelhantes ao que ocorrem com os teores presentes na madeira, também aqui se optou por mostrar e discutir apenas o conteúdo total na casca.

A ANOVA mostrou que para todos os nutrientes houve diferença significativa entre os tratamentos com $p < 1\%$, com exceção de Zn ($p > 5\%$). Embora o sítio 2 seja considerado aos 12 anos, em teste de covariância para verificar a correlação entre

idade e conteúdo não foram encontradas evidências estatísticas que apontassem problemas nesta comparação.

Na figura 16 estão os resultados do Teste de Tukey a 5% para os nutrientes analisados. Para todos os macronutrientes analisados o sítio 4, que produziu maior peso total de casca, obteve as maiores médias para conteúdo total. As menores médias para conteúdo total de N, P, K e Ca foram pertencentes ao sítio 1, com menor produção de biomassa de casca, e ao sítio 3 para Mg. Para os micronutrientes o maior conteúdo foi obtido no sítio 4 para Cu, Fe e Zn e no sítio 2 para Mn; e os menores foram sempre verificados no sítio 1 para todos os micronutrientes.

FIGURA 16 - TESTE DE TUKEY A 5% DE SIGNIFICÂNCIA PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO CASCA



NOTA: letras diferentes para um mesmo nutriente diferem estatisticamente
 para Fe e Mn os valores apresentados estão transformados (valor/100)
 para Cu e Zn os valores apresentados estão transformados (valor/10)

Com relação ao sítio 4 ter as maiores médias para os nutrientes, os comentários já foram feitos e justificados pela maior produção de biomassa em casca deste sítio (ver 4.3.2). A justificativa para o sítio 2 obter as maiores médias para conteúdo total de Mn na casca está no fato do teor de Mn para a casca neste sítio ser superior, juntamente com uma produção não tão baixa em relação ao sítio 4. Já o sítio 1 apresentou teores menores ou próximos dos menores e a menor produção neste compartimento, e assim justificam os menores conteúdos totais encontrados.

Em todos os sítios a ordem encontrada para conteúdo total de nutrientes na casca foi: $N > Ca > K > Mg > P$ para os macronutrientes analisados e, $Fe > Mn > Zn > Cu$ para os micronutrientes analisados.

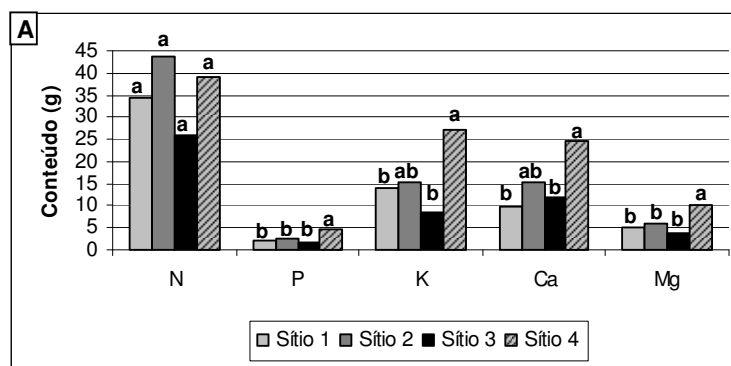
4.5.3 Galhos

Conforme ANOVA existe diferença estatística para P, K e Mg com $p < 1\%$ e para Ca com $p < 5\%$, para os demais nutrientes analisados (N, Cu, Fe, Mn e Zn) não existiram diferença estatística significativa ($p > 5\%$). Ocorreu ampla variação nas médias dos tratamentos para N, K e Ca, porém para N a variação foi a maior encontrada.

Verifica-se pelo Teste de Tukey para o compartimento galhos (figura 17), que para os conteúdos dos nutrientes P, K, Ca e Mg os maiores valores médios são encontrados no sítio 4 e os menores nos sítios 3, 3, 1 e 3 respectivamente. Não houve diferença estatística para os micronutrientes.

FIGURA 17 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO GALHOS

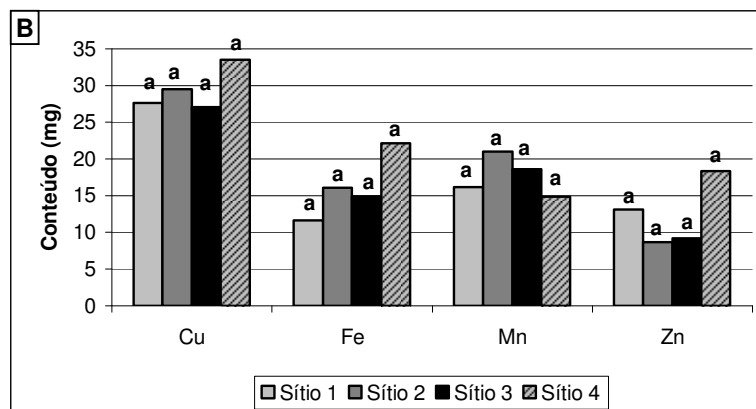
continua



NOTA: letras diferentes para um mesmo nutriente diferem estatisticamente

FIGURA 17 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO GALHOS

término



NOTA: letras diferentes para um mesmo nutriente diferem estatisticamente

Embora os valores encontrados na produção de biomassa do compartimento galhos não sejam estatisticamente diferentes entre si, numericamente os valores encontrados no sítio 4 – aproximadamente 20 kg – podem em parte explicar o maior valor médio de conteúdo total de nutrientes em relação ao sítio 3 – aproximadamente 12 kg. O teor de nutrientes no compartimento galhos complementa a discussão, pois para P, K e Mg a ordem de concentração nos sítios foi $4 > 2 > 1 > 3$ e para Ca, a ordem encontrada foi $4 > 2 > 3 > 1$. No caso do teor dos nutrientes, o sítio que teve menores teores, obteve também os menores conteúdos. Nota-se a grande variabilidade dos conteúdos para N, isto justifica os dados na ANOVA. Os valores encontrados para este nutriente apresentam alto desvio padrão em um mesmo sítio, e chegam à metade dos conteúdos totais encontrados nos sítios 1, 2 e 4.

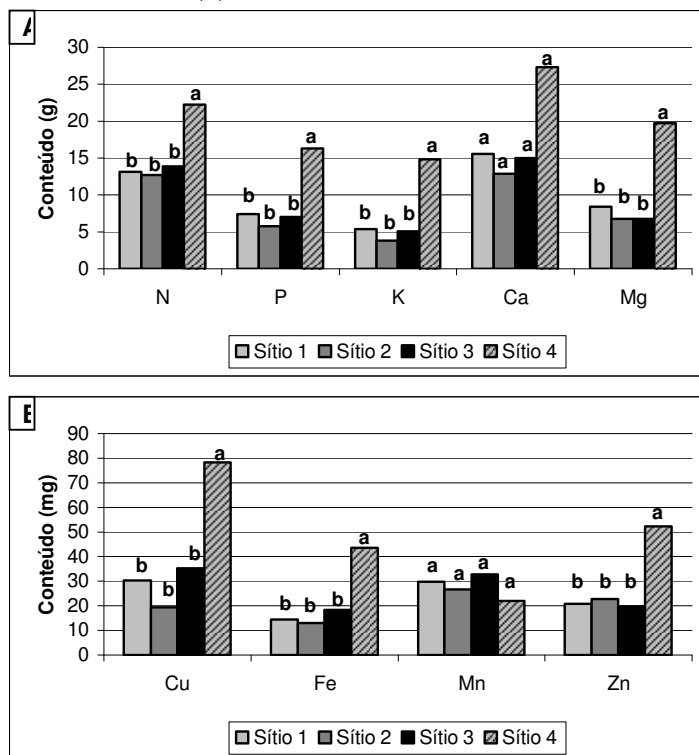
4.5.4 Acículas

Através da ANOVA para conteúdo de nutrientes nas acículas, verificou-se que existe diferença entre tratamentos para as variáveis P, K, Mg, Cu, Fe e Zn com $p < 1\%$ e também para o N ($p < 5\%$), mas para o Ca e o Mn não houve diferença estatística ($p > 5\%$). Embora o Ca tenha uma grande diferença entre médias de tratamentos (figura 18), a grande dispersão dos valores impossibilitou que fosse verificada diferença na ANOVA. Houve também grande dispersão nos dados para o

Mg, mas esta foi de valor considerável somente para o tratamento/sítio 4, e assim não acarretou problemas na análise dos dados.

Os resultados do teste de Tukey para acículas constam na figura 18.

FIGURA 18 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA O CONTEÚDO TOTAL DE MACRONUTRIENTES (A) E MICRONUTRIENTES (B) NO COMPARTIMENTO ACÍCULAS



NOTAS: letras diferentes para um mesmo nutriente diferem estatisticamente para P e Mg os testes foram feitos com a transformação ($\sqrt{\text{valor}}$) para K ($\log(\text{valor})$) valores apresentados sem transformação para P, Ca e Mg e com valor/10 para N e K.

A figura 18 mostra que para os conteúdos de N, P, K, Mg, Cu, Fe e Zn o sítio 4 – 17 kg de acículas – obteve as maiores médias para conteúdo acumulado; o sítio 2 – de menor produção com 8 kg de acículas – com menores médias para N, P, K, Mg, Cu e Fe; e o sítio 3 com menores médias para Mg (juntamente com o sítio 2) e Zn, justificadas pelos menores teores destes nutrientes nas acículas. Embora não apresente diferença na ANOVA e, portanto, também não no Teste de Tukey, o conteúdo de Ca mostrou níveis para o sítio 4 com aproximadamente o dobro para os valores dos demais sítios. Os conteúdos de Mn foram bastante semelhantes entre os sítios, com inversão do sítio 4 de maior para menor valor.

4.6 TECNOLOGIA DA MADEIRA

4.6.1 Densidade Específica da Madeira ao DAP

O disco de madeira retirado ao DAP foi utilizado para as análises de densidade nos diferentes anéis de crescimento e pode-se afirmar que o fator sítio não foi significativamente diferente para nenhuma das variáveis consideradas ($p > 5\%$). Possivelmente este resultado esteja ligado à porcentagem de lenho juvenil e adulto que cada árvore possui e que deve ser aproximadamente igual entre os sítios, pois foram amostradas árvores de mesma classe e de idades semelhantes.

A interação sítio x idade foi significativa para densidade específica média – DMED ($p < 5\%$), densidade específica mínima – DMIN ($p < 5\%$) e densidade específica máxima – DMAX ($p < 1\%$), portanto, o fator idade será analisado para cada sítio separadamente.

Para corroborar a inexistência de diferença entre tratamentos podem-se citar os trabalhos de GAVA (2005) e CORRÊA (1995). GAVA (2005) constatou que a densidade básica média da madeira de *Eucalyptus grandis*, em discos retirados no DAP e analisados pelo método da densitometria de raios-X, mostraram pequena variação entre classes de solo, não apresentando diferença estatística. CORRÊA (1995) analisou a densidade básica média ponderada em árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* pelo método do máximo teor de umidade, pela retirada de discos ao DAP e separação destes em anéis de crescimento com trechos de aproximadamente 3 anos. Os resultados deste autor revelaram que não houve diferenças entre os tratamentos (espaçamento) para esta variável aos 17 anos de idade.

Na análise do fator idade foi utilizada a análise de regressão. Para o ajuste das equações foram testados primeiramente a significância dos coeficientes para 1º, 2º e 3º graus pela ANOVA, e após, para os coeficientes com $p < 5\%$ foram determinados o coeficiente de determinação (r^2). O grau escolhido foi aquele que obteve significância dos coeficientes e maior valor de r^2 .

Nota-se que em todos os sítios a DMAX, DMED e DMIN aumentaram no sentido medula-casca e que na idade de 11 anos ambas as densidades estão com tendência de estabilização, pois nas idades anteriores os valores são praticamente

idênticos com pequena variação para mais ou para menos (figura 19). Tais resultados eram esperados, pois em geral a densidade em coníferas aumenta no sentido medula-casca, em virtude da relação entre lenho outonal-primaveril, e também pela formação de lenho adulto após o lenho juvenil e o de transição.

FIGURA 19 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA DENSIDADE ESPECÍFICA MÁXIMA ($\blacktriangle$), DENSIDADE ESPECÍFICA MÉDIA ($\blacklozenge$) E DENSIDADE ESPECÍFICA MÍNIMA ($\blacksquare$) EM CADA ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DOS 3 AOS 11 ANOS NOS DIFERENTES SÍTIOS PARA O DISCO COLETADO AO DAP

continua

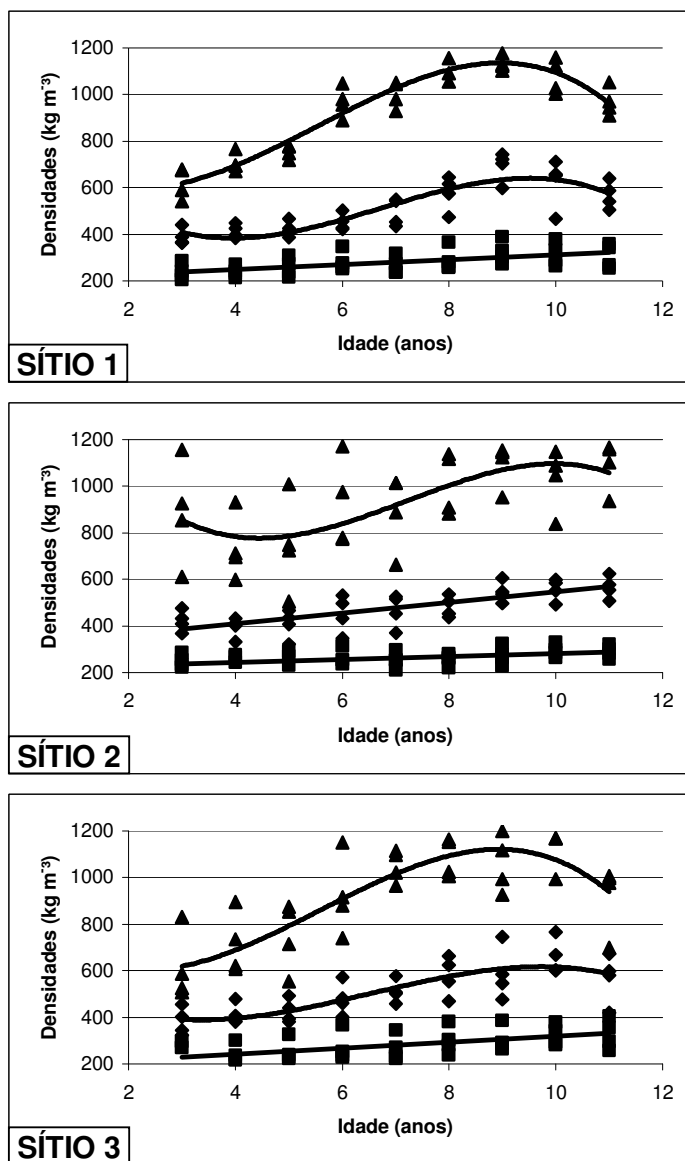
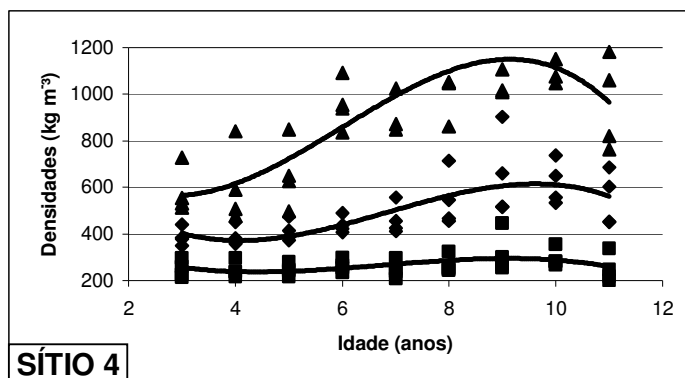


FIGURA 19 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA DENSIDADE ESPECÍFICA MÁXIMA (▲), DENSIDADE ESPECÍFICA MÉDIA (◆) E DENSIDADE ESPECÍFICA MÍNIMA (■) EM CADA ANEL ANUAL DE CRESCIMENTO DOS 3 AOS 11 ANOS NOS DIFERENTES SÍTIOS PARA O DISCO COLETADO AO DAP

término



Este decréscimo inicial na densidade da madeira pode ser explicado pelo crescimento inicial vigoroso da árvore (FINGER, 1992) conjugado à formação do lenho juvenil nos primeiros anos de crescimento. A madeira juvenil tem na sua formação a influência prolongada do meristema apical na formação de madeira pelo câmbio. A medida que a árvore cresce a copa se eleva e decresce esta influência (PANSIN e ZEEUW, 1980), com aumento na densidade juntamente com o aumento da proporção do lenho tardio em relação ao lenho inicial. No trabalho de CORRÊA (1995) a densidade específica da madeira decresceu na faixa de anéis compreendidos entre o 6º e o 8º ano de crescimento e aumentou nos anos seguintes, assim como foi encontrado nos resultados do presente estudo.

A densidade específica da madeira apresentou média de 499 kg m^{-3} , valor máximo de 902 kg m^{-3} e mínimo de 321 kg m^{-3} , com 109 kg m^{-3} de desvio padrão, ao considerar todas as árvores amostradas. Os valores médios da densidade foram de 515, 477, 511 e 495 kg m^{-3} , respectivamente para os sítios 2, 1, 3 e 4. Para a maioria das espécies a densidade específica da madeira alcança valores de 320 até 720 kg m^{-3} , mas podem atingir valores que variam de 160 até 1040 kg m^{-3} (SIMPSON e TENWOLDE, 1999). Para *P. caribaea* a densidade, segundo MILLER (1999), varia de 416 a 817 kg m^{-3} . Para árvores da variedade *hondurensis*, CORRÊA (1995) encontrou valores de densidade básica média ponderada de 410 kg m^{-3} .

4.6.2 Dimensões dos Traqueídeos ao DAP

As dimensões dos traqueídeos foram analisadas separadamente para cada uma das variáveis analisadas: comprimento, diâmetro total, diâmetro de lúmen e espessura da parede. Em cada uma destas variáveis realizou-se ANOVA pelo delineamento inteiramente casualizado com dois fatores, com o fator B (idade) subdividido dentro de A (sítio). Posteriormente os testes necessários foram de médias para o fator sítio ou regressão e teste de médias para o fator idade.

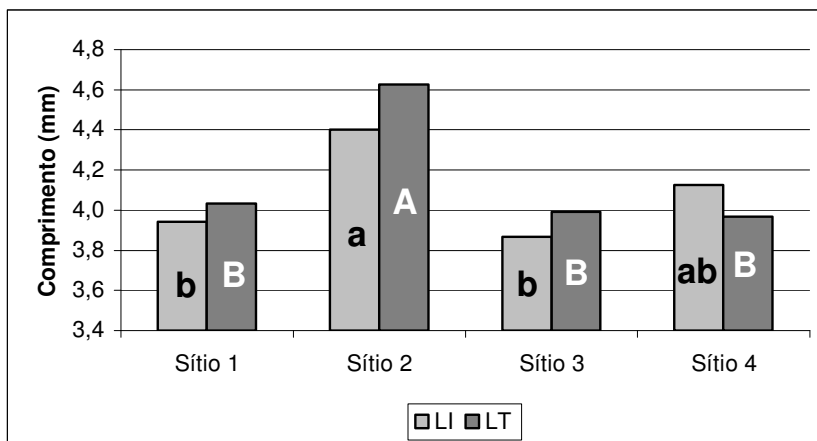
A seguir, analisam-se separadamente cada uma das dimensões dos traqueídeos.

4.6.2.1 Comprimento dos traqueídeos

Verificou-se que não houve interação entre os fatores sítio e idade nos lenhos inicial e tardio, ou seja, o comportamento do fator idade não varia com o fator sítio ($p \geq 5\%$). Isoladamente, o fator sítio foi significativamente diferente para LI ($p < 5\%$) e LT ($p < 1\%$) e o fator idade foi significativamente diferente para LI e LT (ambos com $p < 1\%$).

A comparação entre o comprimento das fibras de LI e LT em cada um dos sítios não apresentam diferenças significativas. Quando se compara o comprimento das fibras de LI e LT entre sítios se observa que tanto as fibras do LI como as do LT do sítio 2 foram maiores significativamente em relação aos demais sítios (figura 20). No LI a menor média foi obtida no sítio 3 e no LT a menor média foi observada no sítio 4. Portanto, o sítio que obteve maior rendimento em produção de biomassa de madeira – sítio 4 – não obteve as maiores dimensões quando se considera o comprimento dos traqueídeos; além disto, o sítio 1, de menor produção em madeira, também não foi o que obteve as menores dimensões de comprimento das fibras lenhosas. Constata-se que o comprimento de traqueídeos não apresenta ligação com a produção de madeira, e por consequência com os atributos do solo ou estado nutricional, não sendo possível afirmar pela produção, solo ou nutrição quais sítios terão os maiores comprimentos de traqueídeos.

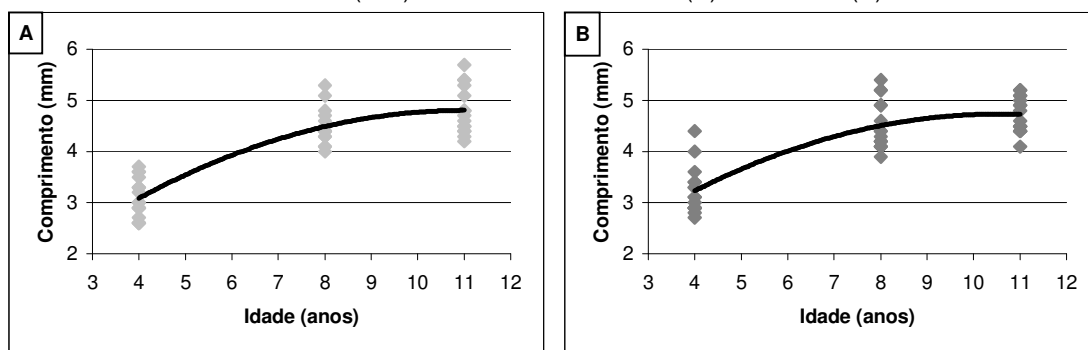
FIGURA 20 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS (mm) NOS LENHOS INICIAL (LI) E TARDIO (LT)



NOTAS: letras minúsculas para LI e maiúsculas para LT
teste realizado com a variável transformada (valor/300) para LI
valores apresentados sem transformação

As linhas de tendência para o fator idade no LI e LT estão na figura 21, onde pode-se verificar que o comportamento é semelhante para ambos os lenhos, ou seja, entre LI e LT não é possível indicar qual lenho possui maior média de comprimento quando se considera os diferentes anéis de crescimento ao DAP. O comprimento aos 4 anos está ao redor de 3 mm, e aos 11 anos ao redor de 5 mm, tanto em LI quanto em LT. Há também um aumento no comprimento, em ambos os lenhos, da idade de 4 anos para a idade 8 anos, e desta última para a idade de 11 anos.

FIGURA 21 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS (mm) NOS LENHOS INICIAL (A) E TARDIO (B)



Pelo teste de contrastes ortogonais verificou-se que tanto no LI quanto no LT a média na idade 4 anos foi estatisticamente diferente ($p < 1\%$) das médias das idades 8 e 11 anos e, na idade de 8 anos comparada à idade de 11 anos não existiu

significância estatística entre as duas médias ($p < 5\%$). Como interpretação geral, pode-se afirmar que existe um aumento no comprimento das fibras do LT e do LI da idade 4 para as idades 8 e 11 e que da idade 8 para a idade 11 há estabilização nas médias, o que indica o início na formação de lenho adulto.

4.6.2.2 Diâmetro total dos traqueídeos

Conforme a ANOVA pode-se afirmar que para o LI houve interação significativa entre os fatores sítio e idade ($p < 5\%$) e não houve diferença entre as médias para o fator sítio ($p > 5\%$). Já para o LT não houve interação entre fatores ($p > 5\%$), mas existiu diferença significativa ($p < 1\%$) nos fatores sítio e idade isoladamente, para os quais foram feitos teste de Tukey e de contrastes ortogonais com linha de tendência, respectivamente.

De acordo com a figura 22 conclui-se que não existiu uma tendência geral de aumento constante com a idade no diâmetro total dos traqueídeos no LI quando se consideram todos os sítios, porém pode-se dizer que a tendência foi a idade 11 apresentar valor médio maior do que as outras idades (4 e 8). Embora possa ter apresentado esta tendência, o teste de contrastes ortogonais somente detectou diferenças entre as médias da idade 4 e das idades 8 e 11 para o tratamento sítio 4 ($p < 5\%$) e entre a média da idade 8 e da idade 11 para o tratamento sítio 1 ($p < 1\%$), tal fato pode ser justificado pela grande dispersão dos valores (figura 23).

FIGURA 22 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) NO LENHO INICIAL DOS DIFERENTES SÍTIOS

continua

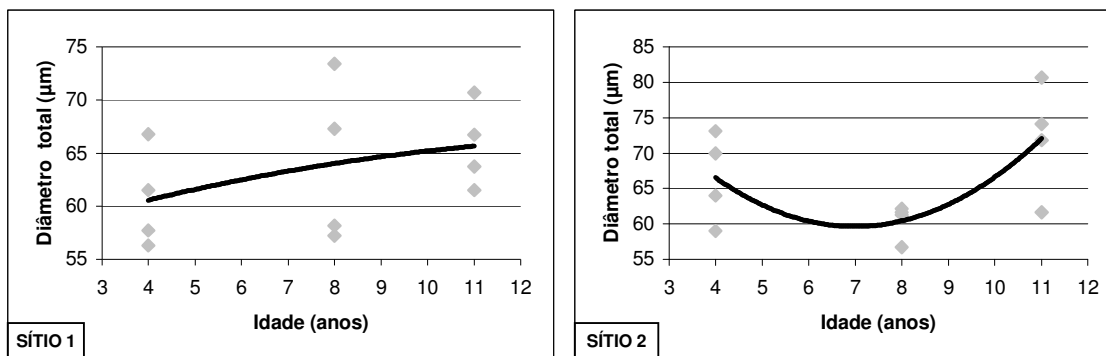


FIGURA22- LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) NO LENHO INICIAL DOS DIFERENTES SÍTIOS

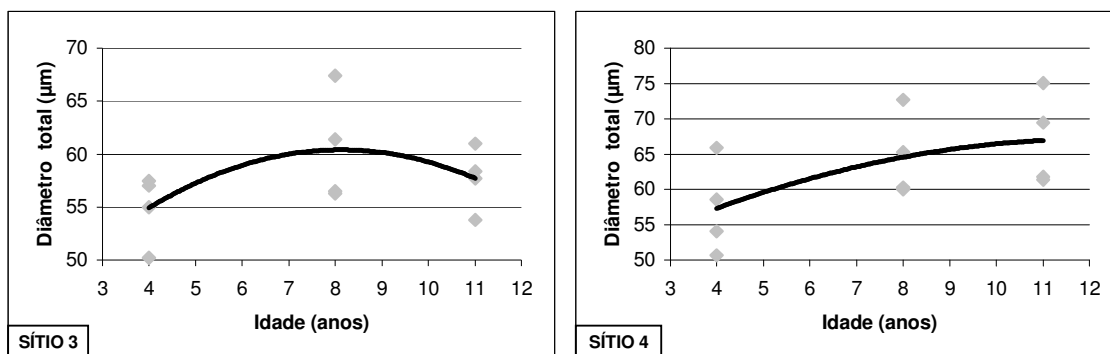
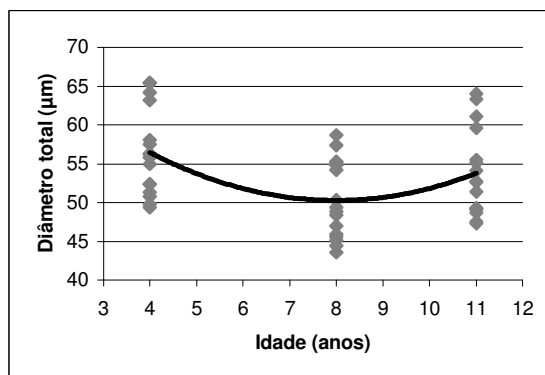


FIGURA23- LINHA DE TENDÊNCIA PARA DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR IDADE



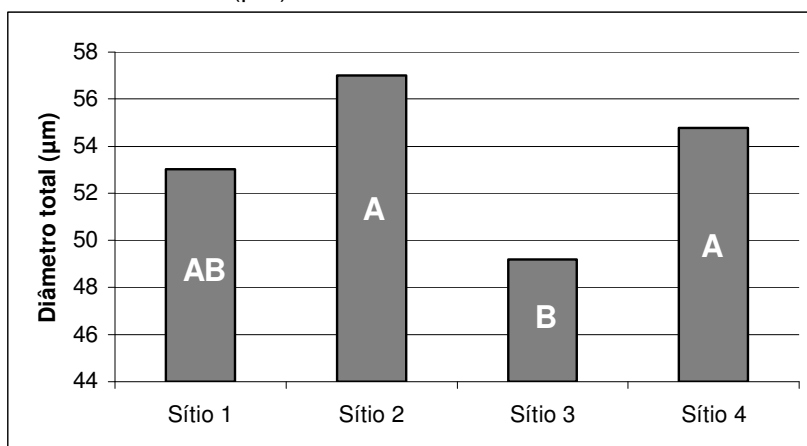
O LI obteve médias superiores ao LT em todas as idades consideradas quando se confrontam os valores encontrados nas figuras 22 e 23.

O teste de contrastes ortogonais indica haver diferença entre a média da idade 4 e as médias das idades 8 e 11 ($p < 5\%$) e não detecta variação entre a média da idade 8 e da idade 11 ($p > 5\%$) para o diâmetro total dos traqueídeos no LT. O gráfico da linha de tendência (figura 23) mostra este resultado, além de uma ampla variação entre valores.

Com relação ao fator sítio, apenas o LT apresentou significância estatística para diferença no diâmetro total, assim, o teste de Tukey a 5% de significância revelou que o sítio 2 apresentou a maior média e que o sítio 3 apresentou a menor média (figura 24). Assim, se evidencia mais uma vez, concordando com o comportamento encontrado para comprimento dos traqueídeos, que não é possível ligar a produção a uma variável dimensional, pois os sítios de maior e menor

produção em madeira não mantiveram estes resultados quando considerado o diâmetro total dos traqueídeos ao DAP.

FIGURA24- TESTE DE TUKEY (5%) PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO TOTAL DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR SÍTIO

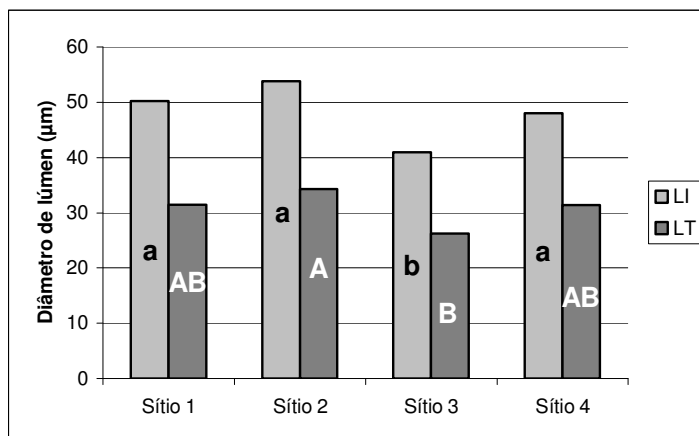


4.6.2.3 Diâmetro de lúmen

Pela ANOVA, não houve interação ($p > 5\%$) entre os fatores sítio e idade para LI e LT e o fator sítio obteve significância para LI ($p < 1\%$) e LT ($p < 5\%$), porém o fator idade foi significativamente diferente para LT ($p < 1\%$), mas não para LI ($p > 5\%$).

De acordo com o teste de Tukey a 5% de significância (figura 25), para diâmetro de lúmen, tanto no LI quanto no LT, a maior média foi obtida no sítio 2 e a menor no sítio 3. Ainda pode-se observar que o LI sempre obteve maior média do que LT em todos os sítios. Novamente observa-se que os sítios 2 e 3, de produção intermediária para biomassa de madeira, foram os que obtiveram respectivamente o maior e o menor valor médio para diâmetro de lúmen. Assim, não é possível prever se produções maiores significarão maiores ou menores dimensões para diâmetro de lúmen.

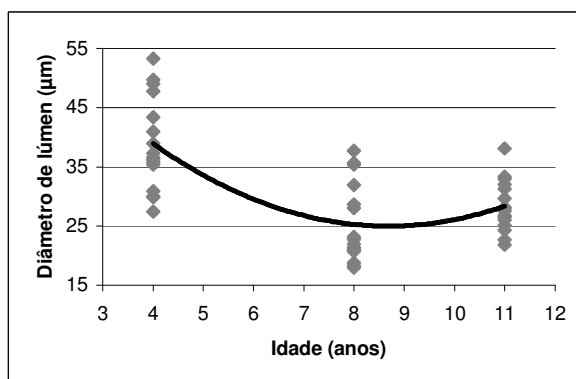
FIGURA 25 - TESTE DE TUKEY A 5% PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO DE LÚMEN DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NOS LENHOS INICIAL (LI) E TARDIO (LT)



NOTA: letras minúsculas para LI e maiúsculas para LT diferem significativamente nas colunas de mesma cor

A linha de tendência (figura 26) e os contrastes ortogonais permitem afirmar que na idade 4 o diâmetro de lúmen obteve média significativamente maior ($p < 1\%$) que as médias das idades 8 e 11. Houve, no entanto, uma estabilização nas idades 8 e 11, confirmada pela inexistência de diferença estatística ($p > 5\%$) entre as médias obtidas nestas idades.

FIGURA 26 - LINHA DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO DE LÚMEN DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO TARDIO PARA O FATOR IDADE

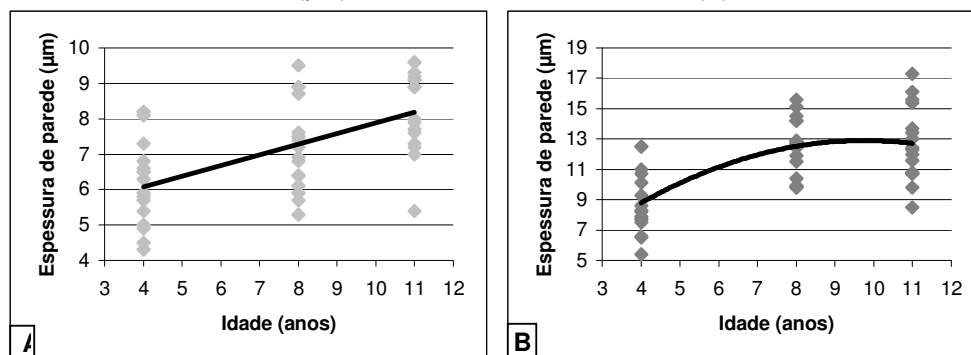


4.6.2.4 Espessura de parede

Estatisticamente a interação entre os fatores sítio e idade não ocorreu para esta variável ($p > 5\%$), assim como não ocorreu diferença estatística no LT para o fator sítio ($p > 5\%$). Observa-se que para sítio ocorreu diferença estatística no LI ($p < 1\%$) e para idade ocorreu diferença em ambos os lenhos ($p < 1\%$).

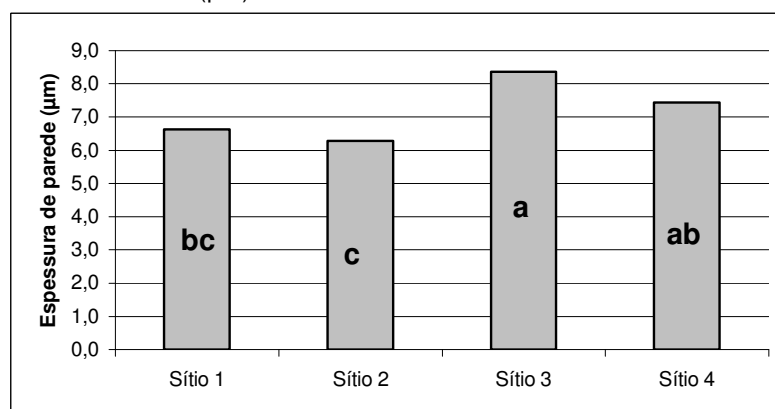
Na figura 27 estão as linhas de tendência para o fator idade. Na análise conjunta com os contrastes ortogonais, o LI mostrou tendência de aumento com a idade e de que ainda não está estável ($p < 5\%$) e o LT aumentou de valor com a idade, porém já não mostra diferença entre a idade 8 e 11 ($p > 5\%$). A figura 28 ainda permite concluir que o LT possui valores maiores do que LI em todas as idades analisadas.

FIGURA 27 - LINHAS DE TENDÊNCIA PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DE PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS (μm) AO DAP NO LENHO INICIAL (A) E NO LENHO TARDIO (B)



Pela análise da figura 28, nota-se que não pode-se vincular a produção com parâmetros relacionados as dimensões dos traqueídeos, neste caso, com a espessura de parede das fibras, pois pelo Teste de Tukey a 5% nota-se que a maior média foi encontrada no sítio 3 e a menor média no sítio 2.

FIGURA 28 - TESTE DE TUKEY (5%) PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DE PAREDE DOS TRAQUEÍDEOS (μm) NO LENHO INICIAL PARA O FATOR SÍTIO



NOTAS: teste realizado com a variável transformada (valor/300)
valores apresentados sem transformação

4.6.2.5 Generalidades sobre as dimensões das fibras

Face aos resultados obtidos sobre a caracterização de cada uma das dimensões dos traqueídeos: comprimento, diâmetro total e de lúmen e espessura de parede, pode-se afirmar que estas variáveis morfológicas não têm relação com a produção dos sítios em biomassa de madeira.

Em geral o anel correspondente ao 4º ano e que pertence ao lenho juvenil, foi diferenciado dos anéis pertencentes ao lenho de transição e ao lenho adulto, respectivamente os anéis do 8º e 11º ano de idade e, as idades de 8 e 11 anos obtiveram valores sem diferença estatística significativa entre si. Ou seja, as dimensões dos traqueídeos tendem a se diferenciar com o passar dos anos, mas após determinada idade há uma estabilização nas dimensões.

Com relação às diferenças nas dimensões entre LI e LT pode-se afirmar que para o comprimento dos traqueídeos não existiu diferença, para diâmetro total e diâmetro de lúmen os valores de LI foram maiores do que para LT e, para espessura de parede os valores do LT foram maiores do que os encontrados no LI.

4.6.3 Correlações entre os Atributos do Solo e as Características Tecnológicas da Madeira

Nas tabelas 15 a 18 encontram-se as correlações entre os atributos físicos e químicos do solo, as dimensões dos elementos anatômicos ao DAP e a densidade específica máxima, média e mínima da madeira ao DAP. Como se pode ver nestas tabelas, as correlações são escassas e esparsas, com coeficiente de correlação em geral não superior a 0,60.

TABELA 15 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 E $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 0-5 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP

ANÁLISES DO SOLO	COMPRIMENTO	LARGURA TOTAL		DIÂMETRO DE LÚMEN	ESPESSURA DE PAREDE
	LT	LI	LT	LT	LI
Química					
NPC					
Física					
Areia gros.			0,50**	0,55**	-0,55**
Areia fina	-0,52**				0,53**
Areia total	-0,52**				
Silte		0,54*			

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

NPC nenhum parâmetro correlacionado

TABELA 16 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 5-10 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP

ANÁLISES DO SOLO	COMPRIMENTO	LARGURA TOTAL		DIÂMETRO DE LÚMEN		ESPESSURA DE PAREDE
	LT	LI	LT	LI	LT	LI
Química						
P	-0,62*	-0,53**		-0,64*		0,59**
Física						
Umidade atual			-0,50**			
Microporosidade		0,53**				
Areia grossa					0,54**	
Areia fina					-0,52**	0,51**

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

TABELA 17 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 10-20 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP

ANÁLISES DO SOLO	DENSIDADE	COMPRIMENTO		LARGURA TOTAL		DIÂMETRO DE LÚMEN		ESPESSURA DE PAREDE	
	MAX	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
Química									
MO		0,57**	0,69*						
P		0,51**							
Al			0,59**						
H+Al			0,59**						
Física									
Macropor.					0,51**				
Micropor.	-0,60**								-0,61**
Água Disp.							0,55**		
Areia gros.								-0,67*	
Areia fina								0,68*	
Silte				0,58**		0,50**			

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

TABELA 18 - CORRELAÇÕES ACIMA DE 0,50 COM $P \leq 5\%$ ENTRE ANÁLISES DO SOLO DE 20-30 CM COM AS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS E DENSIDADE DA MADEIRA AO DAP

ANÁLISES DO SOLO	DENSIDADE	COMPRIMENTO		LARGURA TOTAL		DIÂMETRO DE LÚMEN		ESPESSURA DE PAREDE	
	MED	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
Química									
MO		0,67*		0,51**	0,50**	0,50**			
Mg							-0,55**		
Al			0,65**						
H+Al		0,51**	0,72**						
Física									
U. Atual								-0,51**	
Areia gr.						0,52**		-0,76*	-0,56**
Areia fin.			-0,53**					0,83*	0,50**
Silte	0,51**								

NOTAS: * $p \leq 1\%$

** $p \leq 5\%$

Praticamente não houveram atributos químicos do solo relacionados às dimensões dos traqueídeos e à densidade específica da madeira, ou seja, a interpretação deste fato é que no desenvolvimento e formação dos traqueídeos, as árvores aproveitam o que existe de nutriente disponível para a formação das fibras e as formam de acordo com padrões pré-estabelecidos.

Com relação aos atributos físicos do solo, nota-se repetitividade para as correlações entre areia grossa, areia fina e silte e com as variáveis tecnológicas diâmetro de lúmen e espessura de parede. Mesmo que estas correlações tenham mantido o sinal (ou seja, são positivos ou negativos para os dois itens considerados em todas as camadas), os coeficientes de correlação linear simples não são altos, em torno de 0,60. Embora estes resultados tenham sido encontrados, não há registros na literatura consultada que ajudem a explicar tais fatos.

5 CONCLUSÃO

De acordo com as condições em que este estudo foi realizado, pode-se afirmar quanto à produção de biomassa, ao acúmulo de nutrientes e ao estado nutricional que:

- Os atributos do solo: pH, P, K, Ca, Mg, saturação de bases e disponibilidade hídrica foram os fatores relacionados ao solo que melhor explicam o aumento dos incrementos em volume (ICA e IMA), variáveis dendrométricas (V, DAP e H), produção e acúmulo de nutrientes nos diferentes sítios.
- Os atributos do solo: pH, P, K, Ca, Mg, saturação por bases e água disponível relacionaram-se positivamente aos teores dos nutrientes nas acículas.
- Dentre P, K, Ca e Mg, são mais importantes os dois primeiros nutrientes para aumento na produção e teores nutricionais.
- As maiores produções de biomassa total em madeira não apresentaram as maiores produções de biomassa total nos compartimentos acículas e galhos.

Com relação às características tecnológicas ao DAP, densidade específica da madeira e dimensões dos traqueídeos, pode-se afirmar que:

- Não se verificaram alterações nas características tecnológicas relacionadas aos parâmetros de crescimento das árvores.
- Embora em algumas medidas das dimensões dos traqueídeos fossem notadas diferenças entre sítios, não houve atributo químico do solo correlacionado à variação destas medidas.
- Os atributos físicos do solo: areia grossa, areia fina e silte, apresentaram correlações com as características tecnológicas diâmetro de lúmen e espessura de parede, porém sem explicação plausível.

- Os diferentes sítios estudados não afetaram a densidade específica da madeira através dos atributos físicos e químicos do solo.
- Os nutrientes minerais absorvidos não alteraram a densidade específica da madeira e as dimensões dos traqueídeos do lenho nas condições do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios x em madeira**. Piracicaba, 1994. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 253-280.
- ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* (L' Herit.) forest: III Growth, biomass, and net primary production. **Australian Journal of Botany**, v. 27, n. 4, p. 439-458, 1979.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 732-733, 1983.
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 115-135.
- BELLOTE, A. F. J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade**. Piracicaba, 1979. 129 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BELLOTE, A. F. J. **Influência dos nutrientes minerais e dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira produzida em plantios de *Pinus taeda***. Piracicaba, 2005. 94 f. Tese (Pós-doutorado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D.; GAVA, J. L.; MENEGOL, O. Nutrient export by clear cutting of *Eucalyptus grandis* of different ages on two sites, in São Paulo, Brazil. In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J. W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJID, N. M. N. A. (Eds.). **Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems: workshop proceedings**, 2-4 november 1999, Bogor, Indonesia. Bogor: CIFOR, 2001. p. 173-177.
- BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis*, em função da idade. 1- Macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, v. 20, p. 1-23, 1980.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Nutrição e crescimento de plantações de eucaliptos. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.
- BEVEGE, D. I. The management of forest soils and nutrition. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP, 1981, Canberra. **Productivity in perpetuity: proceedings**. Canberra: CSIRO, 1981, p. 253-261.

BEVEGE, D. I. Wood yield and quality in relation to tree nutrition. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (eds.) **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984.

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: WORLD CONGRESS IUFRO, 19., 1990, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IUFRO, 1990. v. 5, p. 139-147.

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

BRITO, J. O.; FERRAZ, E. S. B.; BARRICHELO, L. E. C.; COUTO, H. T. Z. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. **IPEF**, n.32, p.5-17, abr.1986.

CARVALHO, A. P. de; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B. de; MACHADO, S. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; FERREIRA, C. A.; BARTOZESCK, A. 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.

CARVALHO, J.G. de; CASTRO, H.A. de; YAMADA, I.; SPELTZ, G.E. Nutrição mineral de Pinus. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p.69-134.

CASTRO, C. F. A.; POGGIANI, F.; NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, n. 20, p. 61-74, 1980.

CAVAGLIERI, V. S. **Relatório de estágio profissionalizante em Engenharia Florestal** – Parte I: Avaliação e correlação do status nutricional de povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com a produtividade e atributos do solo na Duratex. Piracicaba, 2005. p. 1-44. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

COLE, D. W. Nutrient cycling in world forests. In: GESSEL, S. P. (Ed.). **Forest site and productivity**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publ., 1986. p. 103-105.

CORRÊA, A. M. V. **Variação das características anatômicas e da densidade básica da madeira em árvores de *Pinus caribaea* Morellet var. *hondurensis* Barret e Golfari em função do espaçamento de plantio**. Piracicaba, 1995. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**. São Paulo: Roca, 1986.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: CEPEF/UFSM, 1991. 29p. (Série Técnica 8).

ECHOLS, R. M. Uniformity of wood density assessed from X-rays of increment cores. **Wood Science and Technology**, v. 7, p. 34-44, 1973.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: 1997. 2.ed. 212p. (Centro Nacional de Pesquisa de Solos)

ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. New York: John Wiley, 1965. 376p.

EVANS, J. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. **Plant and Soil**, v. 52, p. 547-552, 1979.

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, C. A.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Concentração de nutrientes minerais no lenho de *Eucalyptus saligna* e sua relação com a aplicação de fertilizantes. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais**. São Paulo: SBS; [S.l.]: SBEF, 1993. v. 1, p. 227-230.

FIELDING, J. M. Pruning *Pinus radiata* in Australia, with particular reference to the wood produced. In: IUFRO MEETING OF SECTION 41, 1965, Melbourne. **Forest products, working groups of wood and tree chemistry: proceedings**. Melbourne: IUFRO, 1965. v. 2, p. 1-8.

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

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. 269 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: US Department of Agriculture, 1987. 466p. (Agric. Handb. 72)

FREUDENBERG, K.; NEISH, A. C. **Constitution and biosynthesis of lignin**. Berlin: Springer Verlag, 1968. 120 p.

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

GAVA, J. L. **Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* para produção de celulose.** Piracicaba, 2005. 54p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Florestas de Produção) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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

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.

INGESTAD, T. New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by forest trees and stands. **Geoderma**, v. 40, p. 237-252, 1987.

JOHANSSON, H. **Gene regulation of UDP-glucose synthesis and metabolism in plants.** Sweden, 2003. 43 p. Dissertation (Doctoral) - Department of Plant Physiology, Umeå University.

KADEBA, O. Growth and nutrient accumulation by *Pinus caribea* on three savanna sites in northern Nigeria. **Agriculture, ecosystems and environment**, v. 49, n. 2, p. 139-147, 1994.

KRONKA, F. J. N.; BRITES, C.; LIMA, L. M.; BORGO, S. C. **Inventário Florestal das áreas reflorestadas do estado de São Paulo.** IF/UNICAMP/ESALQ: _____, 2002. 1 CD-ROM.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em latossolo vermelho escuro, na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.

LAMB, D. Variations in the foliar concentrations of macro and micro elements in a fast-growing tropical eucalypt. **Plant and Soil**, v. 45, p. 477-492, 1976.

LARSON, P. R. Assessing wood quality of fertilized trees. In: SYMPOSIUM FOREST FERTILIZATION, 1967, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: [s.n.], 1968. p. 275-280. Editado por G. W. Bengtson.

LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality.** New Haven: Yale University/School of Forestry, 1969. 54p. (Bulletin, n. 74).

LEMOINE, B.; RANGER, J.; GELPE, J. Interprétation et modélisation de la distribution des éléments nutritifs dans les différents compartiments de la biomasse

d' un jeune peulment de pin maritime. **Annales des Sciences Forestieres**, v. 47, p. 101-115, 1990.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1993. 299 p.

LIMA, W. P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo: Artpress, 1987. 114 p.

LOOMIS, R. S.; NG, E.; HUNT, W. F. Dynamics of development in crop production systems. In: ANNUAL HARRY STEENBOCK SYMPOSIUM, 5., 1975, Madison, WI. **CO₂ metabolism and plant productivity: proceedings**. Baltimore: University Park Press, 1976. p. 269-286. Edited by: R. H. Burris e C. C. Black.

MACHADO, M. A. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação de solos. In: LIMA, M. R. L. (ed.) **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. UFPR: Curitiba, 2006.

MADGWICK, H. A. I.; MEAD, D. J. Variation in nutrient concentrations within *Pinus radiata* trees and their relationship to tree size. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 20, n. 1, p. 29-38, 1990.

MAIA, C. M. B. F.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SHIMIZU, J. Y. Quantificación de la biomasa y nutrientes en *Pinus elliottii* var. *elliottii*. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 1., 1998, Valdivia, Chile. **El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI: actas**. [S.l.]: CONAF; [Viena]: IUFRO, 1998. 1 CD-ROM. Tema 1: Establecimiento, manejo y protección de plantaciones.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRI, M. G. (coord.) **Fisiologia vegetal**: volume 1. São Paulo: EPU, 1979. p. 97-113.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 2ª ed. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEAD, D. J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (eds.) **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 4. ed. 687 p.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 281-298.

MILLER, H. G. Forest fertilization: some guiding concepts. **Forestry**, v. 54, n. 2, p.157-167, 1981.

MILLER, R.B. Characteristics and availability of commercially important woods. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook**. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Forest Products Laboratory, 1999. p.1-1 a 1-34.

MIROV, N.T. **The genus Pinus**. New York: Ronald Press, 1967. 602p.

MONTAGNA, R. G.; BARBOSA, O.; BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; TOLEDO FILHO, D. V. Peso da matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Bar. et Golf. **Silvicultura**, n.32, p. 837-840, 1983.

MONTE SERRAT, B.; KRIEGER, K. I.; MOTTA, A. C. V. Considerações sobre interpretações de análise de solo (com exemplos). In: LIMA, M. R. L. (ed.) **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR, 2006.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema sispinus**. Curitiba, 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Paraná.

MOURA, V. P. G.; PARCA, M. L. S.; SILVA, M. A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de pinus centro-americanos em três locais na região dos cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p.29-44, jan./dez. 1991.

MUNSON, A. D.; MARGOLIS, H. A.; BRAND, D. G. Seasonal nutrient dynamics in white spruce in response to environmental manipulation. **Tree Physiology**, v. 15, n. 3, p. 141-149, 1995.

NOGUEIRA, M. V. P.; VALE, A. T. Densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de cerrado: relação com a densidade básica média e a variação radial e axial. **R. Árvore**, v. 21, n. 4, p. 547-554, 1997.

NORTHCOTE, D. H. Chemistry of the plant cell walls. **Annual review of plant physiology**, 23, p. 113-132, 1972.

OLESEN, P. O. **The variation of the basic density level and tracheid width within the juvenile and mature wood of Norway spruce**. Copenhagen: Akademisk forlag, 1977, 21p. (Forest tree improvement 12)

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. (S.I.) EUA: McGraw-Hill, 4. ed., 1980. 722p.

PEREIRA, A. R.; ANDRADE, D. C. de; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. dos. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de Cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 15, n. 1/2, p. 8-16, 1984.

PEREIRA, J. S. M. Algumas notas sobre o impacto ambiental do eucalipto. In: COLÓQUIO EUCALIPTO, ECONOMIA E TERRITÓRIO, 1990. **Colóquio...** Oeiras: Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais, 1990. 6 p.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. **IPEF**: Série Técnica, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. D1-D11, 1980.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems: silvicultural implications. **IPEF**, Piracicaba, n. 31. p. 31-40, 1985.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 3: p. 37-42, 1983.

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; MONTAYA, L. L. J.; FREITAS, S. S. Influência do fogo sobre a microbiologia do solo no sistema agroflorestal da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: Congresso Florestal Brasileiro, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS, 2003. 2 CD-ROM.

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

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis*, plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 11, p. 1-15, 1987.

REISSMANN, C. B. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung Von kiefernbeständen in Südbrasilien**. Freiburg, 1981. 150 f. Tese (Doutorado) - Universität Freiburg.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-166.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia forestalis**, n. 64, p. 120-127, 2003.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Concentrações anuais de nutrientes para duas variedades de *Pinus caribaea* pela análise dos anéis de crescimento. **Científica**, São Paulo, v. 20, n.1, 95-108, 1992a.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Produtividade de *Pinus* no litoral norte do Estado da Bahia. **Científica**, v. 20, n. 1, 1992b. p. 73-83b.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft**. Curitiba: 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.267-273, 2004.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

ROQUE, R. A. M. **Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* (Roxb.), em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica**. Piracicaba, 2005. 181 f. Dissertação (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155-169, 1999.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1974. 56 p.

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>> Acesso em: 17 julho 2005.

SCHRANDER, L. E. CO₂ metabolism and productivity in C₃ plants: an assessment. In: BURRIS, R. H.; BLACK, C. C. (Ed.). **CO₂ metabolism and plant productivity**. Baltimore: University Park Press, 1975. p. 385-396.

SILVA, D. J.; FERRAZ, J. B. S.; SANTOS FILHO, M. S.; SILVA, J. S. H. Avaliação do estado nutricional, crescimento de teca (*Tectona grandis* L.) e suas relações com os fatores de sítio do solo em plantios no sudoeste de Mato Grosso, a partir da análise de componentes principais. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E

SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL: OS DESAFIOS DO NOVO MILÊNIO, 3., Corumbá-MS 2000. **Anais...** Acessado em: 10 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/Bioticos/SILVA-020.pdf>>.

SILVA, H. D. da. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, plantados em solo de baixa fertilidade**. Piracicaba, 1983. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SILVA, H. D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex- Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; BELLOTE, A. F. J. Quantification of the biomass and nutrients in the trunk of *Eucalyptus grandis* at different ages. In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J. W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJID, N. M. N. A. (Ed.). Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems: workshop. **Proceedings...** 2-4 november 1999, Bogor, Indonesia. Bogor: CIFOR, 2001. p. 165-171.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook**. Madison: US Department of Agriculture, 1999. p.3-1 a 3-24.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. Curitiba, 2004. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. Curitiba: 1988. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

VAN LEAR, D. H.; KAPELUCK, P. R. Above and below stump biomass and nutrient content of a mature loblolly pine plantation. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 25, n. 2, p. 361-367, 1995.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006.

WESTERMARK, U. Calcium promoted phenolic coupling by superoxide radical: a possible lignification reaction in wood. **Wood Science and Technology**, v. 16, p. 71-78, 1982.

ZEN, S.; POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. **Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *E. saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais**. Piracicaba: IPEF, 1981. 7 p. (Circular técnica 136).