

SANDRA REGINA CAVICHILO

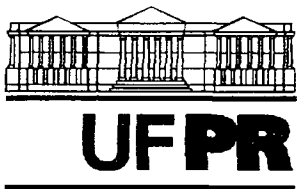
**EFEITOS DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO
EM REBROTA DE *Eucalyptus saligna***

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

Orientador: Dr. Renato Antônio Dedecek

CURITIBA

2001



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


P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **SANDRA REGINA CAVICHILO**, com o título: "**Efeitos de sistemas de preparo do solo em rebrota de *Eucalyptus saligna***" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**B**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba, 29 de março de 2001.


Prof. Dr. Renato Antonio Dedecek, Presidente.


Prof. Dr. Jorge Roberto Malinowski, Iº Examinador.


Prof. Dr. Glaucio Roloff, IIº Examinador.



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus.

Aos meus pais e demais familiares, especialmente minha irmã Rosane pelo apoio e incentivo em todos momentos da minha vida.

Ao Dr. Renato Antônio Dedecek pela orientação segura e compreensão, sempre presentes durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EMBRAPA - CNPF e aos funcionários do Laboratório de Física e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, pelas sugestões e pelo auxílio prestado durante a execução das análises.

Ao pesquisador da EMBRAPA - CNPF, Américo Pereira Carvalho, pela colaboração na classificação dos solos e ao técnico florestal Jacir Faber pela grande colaboração nas amostragens de campo, pela boa vontade e bom humor constantes.

À Cia. Suzano de Papel e Celulose, pelo apoio econômico permitindo que este trabalho pudesse ser efetuado, à toda equipe técnica, especialmente à José Gava, sempre atento às nossas necessidades, demonstrando interesse e boa vontade durante todas as etapas do trabalho de pesquisa.

Aos amigos e colegas de pós-graduação, que sempre colaboraram nas diferentes fases deste trabalho, pelas sugestões, pelo apoio nas dificuldades, pelo estímulo e também pelos momentos de descontração que tornaram o período do curso uma experiência agradável: Cristina Barcik, Carla Maria Camargo, Carla Graziela Nemer Nogueira, Andréia Bittencourt, Paulino Takao Sakai, Josinei Tissi, Ionete Hasse, Jorge Kusdra e Cíntia Wachowski.

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

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 O SISTEMA DE COLHEITA FLORESTAL MECANIZADO	4
2.2 PRINCIPAIS MÁQUINAS UTILIZADAS NA COLHEITA FLORESTAL	5
2.2.1 Corte	5
2.2.2 Extração	6
2.3 OS IMPACTOS CAUSADOS PELA COLHEITA MECANIZADA	7
2.3.1 A Compactação do Solo	8
2.3.1.1 Causas e efeitos da compactação do solo	9
2.3.2 Susceptibilidade do Solo à Compactação	10
2.4 A COMPACTAÇÃO EM SOLOS FLORESTAIS	12
2.4.1 Densidade do Solo	14
2.4.2 Porosidade Total e Porosidade de Aeração	16
2.4.3 A Umidade do Solo	18
2.4.4 Textura	19
2.4.5 Resistência Mecânica do Solo	20
2.5 A RECUPERAÇÃO DE SOLOS	21
2.6 MANEJO DE SOLOS EM FLORESTAS	22
2.7 CONDIÇÕES DE UMIDADE E A MOBILIZAÇÃO DO SOLO	24
2.8 SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM ÁREAS FLORESTAIS	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	29
3.2 SISTEMA DE COLHEITA UTILIZADO	31
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
3.4 METODOLOGIA	36
3.4.1 AVALIAÇÕES DAS ÁRVORES E ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO	36
3.4.2 Resistência Mecânica	38
3.5 MATERIAIS UTILIZADOS	40
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	41
4.2 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	44
4.2.1 Densidade do Solo	44

4.2.2 Porosidade Total do Solo	50
4.2.3 Macroporosidade e Microporosidade.....	52
4.2.4 Porosidade de Aeração	55
4.2.5 Conteúdo de Água na Saturação.....	58
4.2.6 Conteúdo de Água no Solo.....	60
4.2.7 Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	65
4.3 AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS.....	73
4.4 CORRELAÇÕES OBTIDAS NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	78
5 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS.....	87
ANEXOS	94

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - HARVESTER, ESCAVADEIRA COM CABEÇOTE PROCESSADOR UTILIZADO NA COLHEITA.....	32
FIGURA 2 - CABEÇOTE UTILIZADO COM A FUNÇÃO DE CORTE, DESGALHAMENTO E TRAÇAMENTO	33
FIGURA 3 - VISÃO GERAL DA ÁREA DE COLHEITA	33
FIGURA 4 - CROQUI COM A DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS NAS DUAS ÁREAS.....	35
FIGURA 5 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO NAS DUAS ÁREAS.....	38
FIGURA 6 - PONTOS AVALIADOS COM O PENETRÓGRAFO, EM CADA PARCELA, ABRANGENDO A ÁREA APROXIMADA DO RODADO E ENTRE O RODADO ENTRE AS DUAS LINHAS DE ÁRVORES, PARA AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	39
GRÁFICO 1 - DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA EM PROFUNDIDADE, EM SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998....	44
GRÁFICO 2 - DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM PROFUNDIDADE, EM ITATINGA - 1998.....	50
GRÁFICO 3 - POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO ARGILOSO EM PROFUNDIDADE, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998	56
GRÁFICO 4 - POROSIDADE DE AERAÇÃO NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM PROFUNDIDADE, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO-ITATINGA- 1998.....	57
GRÁFICO 5 - CONTEÚDO DE UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO NA SATURAÇÃO, PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA NOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.....	59
GRÁFICO 6 - CONTEÚDO DE UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO NA SATURAÇÃO, PARA O SOLO DE TEXTURA ARGILOSA NOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.....	60
GRÁFICO 7 - CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA EM TODAS AS TENSÕES AVALIADAS, NAS TRÊS PROFUNDIDADES E TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO-1998.....	62
GRÁFICO 8 - CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, EM TODAS AS TENSÕES AVALIADAS, NAS TRÊS PROFUNDIDADES E TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.....	64

GRÁFICO 9 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO, EM PROFUNDIDADE E EM SETE DISTÂNCIAS DA LINHA DE PLANTIO - 1998.....	67
GRÁFICO 10 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa), NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO, EM PROFUNDIDADE E EM SETE DISTÂNCIAS DA LINHA DE PLANTIO - 1998.....	71
GRÁFICO 11 - INCREMENTO EM ALTURA E DAP DE <i>Eucalyptus saligna</i> DE ACORDO COM OS SISTEMAS DE PREPARO PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA.....	74
GRÁFICO 12 - INCREMENTO EM ALTURA E DAP DE <i>Eucalyptus saligna</i> DE ACORDO COM OS SISTEMAS DE PREPARO PARA O SOLO ARGILOSO - 1998.....	76
GRÁFICO 13 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (10 - 20 cm) E INCREMENTO EM DAP DA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , ITATINGA - 1998.....	79
GRÁFICO 14 - CORRELAÇÃO ENTRE DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (0 -10 cm) E INCREMENTO EM DAP, DA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , ITATINGA - 1998.....	80
GRÁFICO 15 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE TOTAL DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (0 - 10 cm) E INCREMENTO EM DAP, DA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , ITATINGA - 1998.....	80
GRÁFICO 16 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA (20 - 30 cm) E INCREMENTO EM ALTURA DA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998.....	81
GRÁFICO 17 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA DO SOLO E INCREMENTO EM ALTURA NA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , A 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTAS E 20 cm DE PROFUNDIDADE, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, SÃO MIGUEL ARCANJO- 1998.....	82

GRÁFICO 18 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA DO SOLO E INCREMENTO EM ALTURA NA REBROTA DE <i>Eucalyptus saligna</i> , NA DISTÂNCIA DE 125 cm DA LINHA DE PLANTAS, E 25 cm DE PROFUNDIDADE, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998.....	83
GRÁFICO 19 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NA PROFUNDIDADE ENTRE 20 - 25 cm E DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) 10 - 20 cm AVALIADAS NA DISTÂNCIA DE 50 cm DA LINHA DE PLANTIO PARA OS DOIS SOLOS -.....	84
GRÁFICO 20 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NA PROFUNDIDADE ENTRE 30 - 35 cm E DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) 20 - 30 cm AVALIADAS NA DISTÂNCIA DE 50 cm DA LINHA DE PLANTIO PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA - 1998.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - 1998.....	41
TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA - 1998	42
TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE OBTIDOS À 50 cm DA LINHA DE PLANTIO, NAS TRÊS PROFUNDIDADES PARA TODOS OS TRATAMENTOS NOS DOIS SOLOS DE TEXTURAS DISTINTAS, 1998.....	53
TABELA 4 - POROSIDADE TOTAL , MACRO E MICROPOROSIDADE RELATIVAS DOS DOIS SOLOS, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.....	54

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do preparo do solo na produtividade da rebrota de *Eucalyptus saligna* em dois solos de texturas distintas: Latossolo Amarelo textura média e Latossolo Vermelho textura argilosa, submetidos à colheita mecanizada pelo menos uma vez, em áreas de reflorestamento da Cia. Suzano de Papel e Celulose, no Estado de São Paulo. Os tratamentos adotados nas duas áreas foram: subsolagem até 40 cm de profundidade, gradagem até 30 cm de profundidade e testemunha, sem nenhuma intervenção, mantendo os efeitos da colheita mecanizada sobre as propriedades físicas do solo. As variáveis estudadas foram : a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, porosidade de aeração, resistência mecânica do solo, conteúdo de umidade no solo, fertilidade e avaliações dendrométricas. As determinações relacionadas ao solo foram efetuadas para as áreas que receberam os tratamentos de gradagem e sulcagem e para a testemunha, sem preparo do solo representando os efeitos ocasionados na colheita, um ano após o preparo do solo. As avaliações dendrométricas foram executadas um ano antes do preparo e um ano após analisando o incremento em altura e DAP (Diâmetro a Altura do Peito). No solo de textura média, não houveram efeitos estatisticamente significativos do preparo do solo e ainda houve forte correlação negativa entre a porosidade de aeração na profundidade entre 10 - 20 cm e o incremento em altura. Constatou-se para este solo um aumento na microporosidade, o que significa que para um solo onde normalmente ocorrem restrições ao armazenamento de água, uma redução na macroporosidade pode ser benéfica. No solo de textura argilosa, houveram diferenças significativas para o incremento em dap na rebrota de eucalipto, obtendo-se maior crescimento nos tratamentos com preparo de solo. O incremento em altura total da rebrota também foi superior nas áreas submetidas ao preparo de solo. As variáveis do solo que mais se mostraram sensíveis aos efeitos da colheita e preparo do solo foram a macro e microporosidade, porosidade de aeração, resistência mecânica do solo e densidade do solo. Não foram encontrados valores críticos como indicativos de compactação severa, provavelmente devido à manutenção da galhada e dos resíduos de colheita contribuindo na redução do impacto do rodado e aumento nos teores de matéria orgânica.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of two soil tillage systems on eucalyptus coppice yields. Two soils of distinctive textures, sandy yellow latosol and clayey red latosol, after harvesting, were tilled using a disk harrow (tillage depth to 30 cm) and a ripper (tillage depth to 40 cm). This trial was set in a commercial eucalyptus plantation belonging to Suzano Paper and Cellulose Co. in São Paulo State. The following attributes were measured in soil: bulk density, total, macro and micro porosity, aeration porosity, penetrometer resistance, available water capacity and soil fertility level, and on plants, total height and DBH were measured. Soil measurements and sampling were performed one year after soil been tilled. Plant measurements were taken at the moment of soil tillage and one year after, comparing total height and DBH increments. Soil tillage was not effective in increasing coppice development growing in a sandy soil, and there was a strong negative correlation between aeration porosity measured at 10 to 20 cm soil layer and DBH increment. At this soil, increments in microporosity resulted in greater tree growth, due to greater soil water and nutrient availability. At the clay soil, both soil tillage systems showed greater increments in total tree height and DBH comparing to the test plot without tillage. Soil attributes that changed, due to harvesting followed by soil tillage, were macro and microporosity, aeration porosity, penetrometer resistance and bulk density. It was not observed critical values for any soil physical and chemical attributes measured, that could characterized severe soil compaction due to forest harvesting followed by soil tillage.

1 INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada de florestas envolvendo tráfego de veículos pesados durante o corte e o transporte da madeira tem ocasionado danos ao solo, alterando importantes propriedades físicas e conseqüentemente, afetando o processo produtivo florestal. O principal problema resultante das operações envolvidas nesta atividade é a compactação do solo, que tem sido alvo de estudos com a preocupação constante de promover mudanças tanto em máquinas florestais quanto no sistema de colheita e transporte, e ainda buscar a recuperação das áreas degradadas pela colheita.

A compactação do solo é definida como o adensamento do mesmo devido à aplicação de uma carga dinâmica, causando assim um decréscimo na porcentagem de poros do solo ocupados por ar em função das mudanças na posição relativa das partículas e agregados do solo. O processo de compactação do solo resulta da interação de fatores locais, tais como: tipo de solo englobando sua mineralogia, estabilidade dos agregados, textura, teores de matéria orgânica, condições de umidade no momento das intervenções agrícolas ou florestais e situação climática da região, associados à fatores externos como, por exemplo, o emprego das máquinas utilizadas e sua pressão exercida sobre o solo aliado à intensidade de tráfego.

O risco de compactação está presente seja no solo utilizado em um sistema de agricultura intensiva altamente mecanizada, desde as atividades de preparo do solo para o plantio, até as aplicações de fertilizantes e defensivos e finalmente a colheita, ou na produção florestal com o uso intenso de máquinas desde o estabelecimento da floresta até as operações de colheita e transporte de madeira prejudicando, principalmente, a produtividade da rebrota.

É importante ressaltar que o processo de compactação interfere nas relações entre água, ar e temperatura afetando diretamente processos físicos, químicos e biológicos, trazendo conseqüências negativas ao desenvolvimento das plantas. As

deformações na estrutura do solo compactado podem ser quantificadas através de parâmetros físicos onde é possível observar além da redução da porosidade total, alterações como: a resistência mecânica à penetração das raízes, dificultando a absorção de nutrientes; redução na permeabilidade hidráulica aumentando assim o escoamento superficial e as perdas de solo pela erosão; diminuição na aeração. Assim é afetado o equilíbrio biológico do solo e, finalmente, o ótimo desenvolvimento das plantas, gerando queda na produtividade do sítio.

O sistema de colheita florestal mecanizado apresenta altas produtividades, porém provoca um maior impacto ambiental. Considerando que a maioria dos sistemas mecanizados utilizam veículos pesados e tendo conhecimento dos danos provocados ao solo e a redução da capacidade produtiva, torna-se necessário buscar soluções para minimizar estes danos.

A colheita do eucalipto para celulose é realizada depois de sete anos, ocorrendo então o desenvolvimento da brotação (segunda rotação), que será colhida dentro de um período de mais sete anos, quando é efetuado o preparo do solo para o próximo plantio. Além do tráfego da época da colheita florestal, há ainda as passagens de máquinas e implementos para aplicação de herbicidas, adubação e distribuição de resíduos no plantio e na rebrota.

O conhecimento das causas e efeitos da compactação permitem identificar o momento mais favorável de iniciar as operações florestais, como por exemplo, as melhores condições de umidade no solo ou controle do tráfego nas linhas. Outro fator de extrema importância é a adoção de métodos de preparo de solo que viabilizem a recuperação de áreas submetidas à operações mecanizadas, buscando aumentar a produtividade promovendo menores danos ao meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar os efeitos de práticas de preparo do solo na produtividade de rebrota de eucalipto (segunda rotação) em áreas submetidas à operações mecanizadas de colheita e/ou baldeio em dois solos de texturas distintas.

Os objetivos específicos são : 1) avaliação do efeito do revolvimento do solo das entrelinhas na produtividade da rebrota de *Eucalyptus saligna*; 2) estabelecer qual a profundidade de revolvimento do solo das entrelinhas do eucalipto que traduzem em maior ganho de produtividade e, 3) determinar se o efeito de revolvimento do solo na produtividade é distinto para solos de diferentes texturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SISTEMA DE COLHEITA FLORESTAL MECANIZADO

Na Europa e na América do Norte, a mecanização da colheita da madeira é amplamente utilizada desde muito tempo em função de condições climáticas desfavoráveis, tamanho e peso das toras e alto custo da mão-de-obra. No Brasil, motosserras, machados e facões, ainda são largamente utilizados embora traga dúvidas nas questões de segurança e produtividade. No entanto, grandes empresas florestais fazem uso de equipamentos profissionais, como por exemplo, *forwarder*, *miniskidder*, *skidder*, *feller buncher*, etc., uma vez que há uma maior necessidade de reduzir custos operacionais, viabilizando a competição com outros polos produtores e exportadores de celulose e papel e também a abertura de mercado, favorecendo a importação de máquinas mais modernas (SALMERON & RIBEIRO, 1998)

Na colheita florestal, sistema é definido como toda a cadeia de produção, ou seja, todas as atividades parciais desde o corte da madeira até sua colocação no pátio da indústria consumidora (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998). SEIXAS (1996) cita que a escolha do sistema adotado varia de acordo com uma série de fatores, desde a espécie florestal até o tipo de proprietário, terreno, densidade de estradas, disponibilidade de mão-de-obra e mercado consumidor. Nos Estados Unidos e Europa, em condições montanhosas onde predominam florestas de mesma idade e mão-de-obra altamente qualificada, a colheita pode ser feita até mesmo com o uso de helicópteros, cabos aéreos e balões. Este autor, agrupa os sistemas de colheitas em sistemas aéreos e de base terrestre, com as mais diversas combinações de equipamentos dentro dessas classes. Dentro de cada sistema de colheita de madeira e de acordo com as condições locais, existe uma combinação de atividades manuais e mecânicas, que baseiam-se essencialmente no comprimento das toras a serem retiradas da floresta. Sendo assim, destacam-se quatro

sistemas de colheita, no que se refere ao beneficiamento da matéria – prima:

- a) Sistema de toras curtas (os fustes são traçados na floresta);
- b) Sistemas de fustes (o tronco sem galhos);
- c) Sistemas de árvores inteiras (sem raízes);
- d) Sistemas de árvores completas (extração de toda biomassa) (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998).

A escolha do sistema ideal, requer o conhecimento das várias metodologias utilizadas com a finalidade de selecionar a ideal, de acordo com as necessidades e a realidade de cada proprietário.

2.2 PRINCIPAIS MÁQUINAS UTILIZADAS NA COLHEITA FLORESTAL

2.2.1 Corte

Nesta fase incluem-se as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e preparo da madeira para o arraste e empilhamento. Em sistemas mecanizados as principais linhas de equipamentos podem ser divididos em três grupos: motosserras, tratores derrubadores - empilhadores (*feller bunchers*) e tratores derrubadores com cabeçotes processadores (*harvesters*) (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998).

DEPIERI et al., (1998) descrevendo um sistema de colheita utilizado pela Champion Papel e Celulose, cita o uso do *feller buncher* nas operações de derrubada. Este pode ser de rodas ou esteiras, dotado de disco de corte, efetuando o corte e a formação dos “bunchers de árvores”, ou seja, feixes distribuídos ordenadamente no interior do talhão, tendo seqüência o desgalhamento manual. O *harvester* pode ser definido como sendo um trator derrubador, desgalhador, traçador e empilhador, composto por uma máquina base de pneus ou esteira, uma grua e um cabeçote. No caso de *One Grip Harvester*, o cabeçote corta, desgalha e traça e para o *Two Grip Harvester* o cabeçote tem

somente função de corte, estando sobre o eixo traseiro da máquina base, os implementos para desgalhamento e traçamento (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998).

2.2.2 Extração

As operações de extração, podem ser feitas por arraste, baldeação ou ser suspensa. A diferença consiste na forma como a carga é extraída. Se a carga está em contato, parcial ou total com o terreno, denomina-se arraste. Quando é suspensa, baldeio. Neste caso, a carga é colocada num trailer e transportada (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998). O trator florestal articulado, skidder, que faz operação de arraste de madeira pode estar equipado com guincho e suporte para elevação da carga ou com garra.

Um trator agrícola convencional com acoplamento hidráulico de três pontos (ou possivelmente de quatro pontos) pode ser usado como máquina básica para o arraste de árvores de tamanhos razoáveis em terreno plano, desde que, equipado com acessórios florestais apropriados. No entanto, a sua performance e produtividade na floresta são questionáveis. A potência de um motor agrícola, para utilização em operações florestais deve ser, no mínimo, 35 Kw (48 hp) e preferencialmente de 60 Kw (82hp) ou mais. As rodas dianteiras devem ser suficientemente estabilizadas pelo peso do motor, da lâmina frontal ou outros pesos frontais especiais (KANTOLA & HARSTELA, 1994)

No sistema de toras curtas, os tratores florestais auto-carregáveis (*forwarders*) são muito usados no transporte primário. Devido à madeira ser processada próximo ao toco, galhos e folhas são deixados espalhados sobre os solos, aumentando a ciclagem dos nutrientes e a produtividade do sítio ao longo do tempo (SEIXAS et al., 1996)

Por definição, o *forwarder* é um equipamento dotado de uma grua hidráulica para carregamento e descarregamento, com chassi articulado, podendo ter tração do tipo 4x4, 6x6 e 8x8, com possibilidade de utilização de esteiras e capacidade de carga, variando entre 10 à 15 toneladas (MALINOVSKI & MALINOVSKI, 1998).

O uso do *skidder* ou *forwarder* diferencia-se segundo MAC DONAGH (1994) de acordo com a movimentação da carga, se arrastada, ou seja, está parcialmente em contato com o solo a máquina mais utilizada é o *skidder*, se é suspensa no caso do baldeio, emprega-se o auto-carregável ou *forwarder*, esta diferença identifica o sistema de colheita utilizado. As demais operações, não menos importantes, dispensam uma descrição mais detalhada, uma vez que atividades como desgalhamento e traçamento, descascamento e até mesmo o próprio carregamento nos sistemas mecanizados, quase sempre são realizadas no local do corte.

2.3 OS IMPACTOS CAUSADOS PELA COLHEITA MECANIZADA

Apesar da eficiência na produtividade florestal, a colheita mecanizada gera um maior impacto ambiental. Desde danos com conseqüências mais severas até problemas menores, mas que exigem um monitoramento ambiental. Os impactos mais severos, estão relacionados ao solo, como a compactação causada pela pressão exercida no tráfego das máquinas e que resulta na redução de produtividade do sítio, e danos causados ao povoamento remanescente através das injúrias causadas pelas máquinas e ainda o impacto sobre o meio ambiente como, por exemplo, a poluição causada pelo derramamento de óleo das máquinas, papéis, plásticos, vidros e substâncias químicas tanto no solo quanto nos cursos d'água, entre outros (MAIA et al., 1996). As máquinas utilizadas na colheita florestal são extremamente pesadas, este fator aliado à movimentação do solo em condições de umidade inadequadas, podem comprometer severamente a produtividade do sítio.

Para que se tenha idéia do nível de dano que estas máquinas podem causar pode-se citar como exemplo um trator carregador florestal *skidder*, que no eixo dianteiro exerce uma pressão sobre o solo de $0,56 \text{ Kp/cm}^2$ e $0,48 \text{ Kp/cm}^2$ no eixo traseiro, para o eixo traseiro carregado esta pressão é de $0,67 \text{ kp/cm}^2$. O trator derrubador florestal *feller-buncher* apresenta pressão de contato de $0,69 \text{ Kp/cm}^2$ (ROESLER & MOREIRA, 1998).

MALINOVSKI & MALINOVSKI (1998) cita que o peso de um *feller buncher* de disco, varia entre 6.600Kg à 9.700kg ou mais, dependendo do modelo, marca, etc.. O *harvester* utilizado para o corte apresenta um peso que oscila entre 13 à 17,5 toneladas, sendo que somente o cabeçote processador que faz o descascamento e traçamento da árvore apresenta um peso variável de acordo com o modelo, entre 450 à 750 kg. Ainda o *forwarder*, trator auto-carregável que, ao contrário do *skidder*, suspende a carga sem arrastá-la oscila de 12.300 à 13.330 kg quando vazio, podendo chegar à 28.000 kg quando carregado.

2.3.1 A Compactação do Solo

A compactação é definida por SOANE & OUWEKERK (1994) como uma densificação do solo na qual a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência mecânica é aumentada e muitas mudanças são induzidas na estrutura do solo afetando outras características. VOMOCIL (1961), considera a compactação do solo como um aumento em sua densidade reduzindo a razão de vazios, com conseqüências sobre as características físicas do solo, em especial ao sistema poroso. As plantas requerem água, nutrientes, oxigênio, controle do acúmulo de substâncias tóxicas, armazenamento de líquidos e gases, sendo que a capacidade do solo de desempenhar estas funções se deve ao seu meio - poroso.

Ainda para RANEY & EDMINSTER (1961) a compactação pode ser definida como uma ação da movimentação das partículas do solo que se unem por forças externas. MANTOVANI (1987) explica que o processo de compactação do solo é resultante de uma pressão no solo, promovendo a quebra dos agregados do mesmo, conseqüentemente, aumentando a densidade global.

2.3.1.1 Causas e efeitos da compactação do solo

A compactação causa um aumento na densidade do solo, ou uma aproximação das partículas sólidas reduzindo a porosidade, sendo que este processo pode resultar de causas como : o impacto de enxurradas, tensão interna de água, entre outros. A compactação normalmente ocorre pela movimentação de veículos nas operações agrícolas ou florestais. A análise mecânica da compactação por rodas ou esteiras do veículo não é simples, devido a desuniformidade natural, na distribuição da pressão exercida (MCKYES, 1985). Para CAMARGO (1997) a compactação pode ser resultante de fatores externos como o tráfego de veículos, crescimento de grandes raízes que comprimem as partículas de solo ou fatores internos organizados de ciclos de congelamento e degelo, umedecimento e secamento, além de fatores pedogenéticos oriundos da evolução dos solos causando o adensamento de camadas subsuperficiais. Além da utilização de equipamentos pesados e a intensa mobilização do solo, proveniente da mecanização excessiva como causas da compactação, SILVA et al., (1986) destacam que as condições de umidade do solo, nas operações agrícolas sobretudo no preparo do mesmo alteram o arrançamento das partículas, tornando-o mais denso.

As conseqüências diretas da compactação do solo tais como, a resistência do solo à deformação por raízes ou tráfego de implementos são quase inseparáveis dos efeitos indiretos sobre a água do solo, aeração e temperatura do solo (RANEY & EDMINSTER, 1961). Segundo CRUISE & GUPTA (1994), o espaço poroso, relativamente grande, entre os agregados promove rápida infiltração de água, drenagem mais rápida, aeração (trocas gasosas) e crescimento das raízes. Durante a compactação, com os agregados pressionados, ocorre a perda dos grandes poros. Se a força de compactação for suficientemente grande, ocorre a deformação dos agregados. Por esta razão os poros menores predominam nos solos compactos resultando em infiltração de água mais lenta, drenagem mais lenta, redução na aeração, aumento na resistência para o crescimento das raízes das plantas.

2.3.2 Susceptibilidade do Solo à Compactação

Os efeitos da compactação se apresentam de maneira distinta em diferentes tipos de solo, considerando principalmente aspectos como granulometria, teores de matéria orgânica e condições de umidade.

SILVA et al., (1986), com objetivo de avaliar a compactação em função da granulometria e teores de matéria orgânica em dois latossolos, um de textura argilosa e outro de textura média, ambos sob condições de floresta e cultivo, concluiu que nos dois solos ambos sob cultivo, cujo teor de matéria orgânica é praticamente o mesmo, a “umidade ótima” para a compactação do solo para o primeiro é maior, fato este atribuído a diferença na quantidade de argila. No entanto, comparando solos com o mesmo teor de argila e com diferentes teores de matéria orgânica, no caso o solo de textura argilosa sob floresta e cultivo, constatou que a umidade ótima para que ocorra a compactação na condição de floresta pode ser maior, provavelmente devido à diferença no teor de matéria orgânica. Os autores atribuem estes resultados ao fato da argila e matéria orgânica aumentarem esta “umidade ótima”, sendo que isso está relacionado ao poder de adsorção de água desses componentes do solo, fazendo com que a partir da relação da umidade do solo, haja uma diminuição na quantidade de água entre partículas, contribuindo assim, para a limitação das condições favoráveis ao maior adensamento.

CAMARGO (1997), citando LARSON et al., (1971), também ressalta a importância dos maiores teores de matéria orgânica no solo, observando a redução da densidade do solo, à proporção que aumenta a matéria orgânica. SOANE (1990) igualmente cita a melhoria nos atributos físicos do solo em função da manutenção da matéria orgânica.

MANTOVANI (1987) e CAMARGO (1997) consideram o conteúdo da água do solo o mais importante atributo a ser levado em consideração ao se tratar de compactação do solo. HORN et al., (1995), cita que a quantidade de água é um fator importante no estudo dos efeitos da compactação sobre a estrutura do solo, aliado a resistência interna

do solo em questão e a frequência e intensidade de carga aplicada.

Os efeitos em solos de diferentes texturas se evidenciam também em outros atributos, como a porosidade livre de água interferindo na difusão de gases e no ar atmosférico. XU et al., (1992) avaliando o efeito da compactação na relação entre o coeficiente de difusão de gás no solo e no ar atmosférico, em dois solos de texturas distintas, concluiu que os solos franco-arenosos apresentaram porosidade de aeração maior que $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e razão entre coeficiente de difusão maior que 0,15 chegando até 0,3 nos francos-argilosos, a maior parte dos valores de porosidade de aeração foi inferior a $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Consequentemente a difusão de gás no solo reduziu, chegando à praticamente zero, em porosidades inferiores a 0,1. Os coeficientes maiores foram encontrados nos solos de textura arenosa, refletindo a presença de poros contínuos maiores.

A textura do solo também é destacada por MANTOVANI (1987) que considera solos cuja constituição seja de partículas do mesmo tamanho, menos susceptíveis ao processo de compactação, comparados àqueles onde há uma mistura de argila, silte e areia, atribuindo isso ao fato de partículas de tamanhos diferentes se arranjam e preencherem os poros, quando submetidos a uma pressão no solo.

Com relação à susceptibilidade à compactação, HORN et al., (1995) destaca três grupos de solos:

Solos arenosos: com uma estrutura granular, são pouco susceptíveis à compactação e apesar de apresentarem um relativo alto grau de compacticidade, não induz à uma deterioração significativa nas propriedades físicas do solo. O preparo facilmente restaura a estrutura original.

Solos siltosos: com um baixo conteúdo de colóides e uma estrutura fraca, são facilmente compactados por forças externas.

Solos de textura média e fina e solos argilosos: são resistentes à pressão mecânica em baixos conteúdos de água, no entanto são altamente susceptíveis à severa compactação quando se apresentam com altos conteúdos de água.

Em função da fraca estrutura dos solos arenosos, podem ocorrer camadas adensadas na sub-superfície denominadas “pans” que permanecem até que sejam quebrados com a mecanização. Esta camada superficial impermeável, ou camada de selamento são provenientes do fraco grau de estruturação dos solos arenosos que possuem poucos agregados estáveis em água, os quais se desfazem facilmente quando umedecidos (CAMARGO, 1997).

2.4 A COMPACTAÇÃO EM SOLOS FLORESTAIS

Atualmente o desenvolvimento da atividade florestal vem aumentando a importância econômica deste setor para o país, uma vez que a atividade contribui com 4% na formação do Produto Interno Bruto (P.I.B.), gerando para a balança comercial mais de um bilhão de dólares, além de empregar 3,5% da população economicamente ativa no meio rural (OLIVEIRA et al., 1998). Sendo assim, visando melhorar a eficiência na produtividade, este setor conta com uma intensa utilização de máquinas nas operações florestais, alterando importantes propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. De acordo com RAB (1994), a colheita florestal causa diversos danos ao solo seja removendo a serapilheira, misturando a camada superficial do solo com o subsolo, expondo o material de origem, causando compactação e favorecendo a erosão. Os solos florestais são particularmente susceptíveis à compactação, apresentando estrutura friável e alta porosidade, sendo que a densidade é inversamente proporcional à porosidade e aumenta como resultado da compactação (FROEHLICH, 1986).

A compactação do solo em florestas pode ocorrer, pela pressão exercida pelas raízes das árvores e principalmente pela mecanização, diferindo dos solos de uso agrícola, em função da natureza das culturas, tamanho e peso das partes da planta e o ciclo das mesmas. Ainda, as raízes persistem e aplicam forças mecânicas por longos períodos, comparados àqueles das plantas anuais. As máquinas empregadas na colheita florestal são muito pesadas e combinadas com a movimentação e levantamento de toras, podem

exercer grandes pressões no solo (SCOPEL et al., 1992). Segundo os mesmos autores, em função do custo, as operações de colheita são distribuídas de maneira desuniforme sobre toda a área. Isso difere das operações mecanizadas realizadas na agricultura tendo como consequência uma variabilidade e heterogeneidade da compactação do solo maiores. No entanto os efeitos no solo gerados pela compactação são os mesmos tanto na atividade agrícola como florestal.

FENNER (1996) considera que as relações de causa e efeito - tráfego e deformação física do solo são geridas por um complexo conjunto de fatores, que podem ser apresentados em três grupos:

Fatores locais (granulometria, teor de matéria orgânica, etc.)

Fatores climáticos (umidade do solo); e

Fatores externos (peso do veículo, área de contato, intensidade de tráfego).

HAKANSSON et al., (1988) e RAB (1994) explicam que a intensidade da compactação varia com o conteúdo de umidade do solo na época das operações, peso das máquinas e o número de passadas dos veículos sobre o solo. CAMARGO (1997) citando JAKOBSEN & GREACEN (1985) e MANTOVANI (1987) consideram que a maior parte dos danos causados pela compactação ocorre nas primeiras passadas das máquinas e implementos, sendo que à medida que o número de passadas no mesmo local aumenta, há um aumento cada vez menos acentuado na compactação, seguindo uma escala logarítmica.

O efeito primário da compactação é a redução do volume de poros, causando um reagrupamento das partículas do mesmo (CONSTANTINI, 1995). O aumento de densidade do solo e a redução da porosidade deste pela compactação afeta a capacidade de trocas gasosas, retenção de água e condutividade hidráulica, aumenta a resistência do solo à penetração ocasionando impedimento mecânico ao crescimento de raízes, afetando indiretamente muitos processos químicos e biológicos (HAKANSSON et al., 1988; WORRELL & HAMPSON (1987); HORN et al., 1995).

Os efeitos da compactação do solo podem ser estimados a partir de diversos

atributos do mesmo, tais como: porosidade, densidade, resistência à penetração, condutividade hidráulica, entre outros parâmetros utilizados, sendo que a densidade e a porosidade do solo são as medidas quantitativas mais diretas para medir a compactação e freqüentemente usadas para expressar mudanças devidas ao tráfego de máquinas (REISINGER, 1988).

De acordo com CAMARGO (1997) deve-se tomar cuidado em considerar valores absolutos como referência para concluir se um solo está ou não compactado. Em função da forma e arranjo das partículas de areia e argila, os valores médios de densidade variam, para os solos arenosos, entre 1,2 a 1,4 Mg/m³, sendo maiores que para os solos argilosos cujos valores ficam entre 1,0 a 1,2 Mg/m³.

2.4.1 Densidade do Solo

A densidade do solo corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo espaços porosos, sendo expressa em g/cm³, Mg/m³ e kg/dm³ (CURI et al., 1993). Quanto maior o valor da massa específica do solo seco, menor é a porosidade total do solo, seja pela natureza e arranjo das partículas sólidas ou pela compactação, que afeta todos os processos de transporte ocorrentes nos solos (aeração, condutividade da água e ar, etc.), além das transformações químicas e biológicas e impedimentos mecânicos na emergência de plântulas e no desenvolvimento das raízes (PREVEDELLO, 1996).

As diferenças no aumento da densidade do solo variam com as diferentes texturas, conteúdo de matéria orgânica, umidade e intensidade da perturbação do solo. RAB (1996) em um estudo analisando a compactação nas trilhas de corte e pátios de empilhamento da madeira, constatou um aumento, na densidade do solo, de 53% e 160%, respectivamente, quando comparado com áreas não perturbadas. GENT et al., (1984) avaliando o impacto da colheita florestal sobre as propriedades físicas do solo, observou que nas operações de colheita no sistema de árvore inteira ocorreu um aumento

significante na camada superficial entre 0-15cm de um solo argiloso, obtendo valores de densidade próximos à $1,4 \text{ Mg/m}^3$ o que possivelmente afetaria o desenvolvimento das raízes nesta camada. No mesmo trabalho, observando trilhas feitas por *skidder* (trator usado no arraste de toras), a densidade aumentou significativamente na profundidade de 0 - 25 cm . Na superfície a densidade aumentou de 1,12 para $1,52 \text{ Mg/m}^3$ afetando possivelmente o crescimento radicular. E nas camadas de 10 a 25cm, os valores se aproximam de $1,8 \text{ Mg/m}^3$, onde o crescimento das raízes cessa.

FROELICH (1986) estudando o estabelecimento de *Pinus ponderosa* em áreas compactadas, concluiu que um aumento de 15,4% na densidade do solo, representa a redução de 4,8%, 7,7% e 20,4% na altura total, diâmetro e volume da espécie, respectivamente. RAB (1994) avaliando as relações entre a densidade do solo e o crescimento em altura e diâmetro de *Eucalyptus regnans* em solo argiloso, constatou 50% de redução na altura e diâmetro quando a densidade apresentou-se com valores de 0,91 e $0,96 \text{ Mg/m}^3$, respectivamente.

HERBAUTS et al., (1996) aponta valores de densidade em solos hidromórficos em torno de $1,54 \text{ Mg/m}^3$ à $1,62 \text{ Mg/m}^3$ comparados com $1,31 \text{ Mg/m}^3$ à $1,37 \text{ Mg/m}^3$ nas áreas não danificadas, com a perda de porosidade total correspondente à 20%. No entanto, os efeitos da compactação são evidenciados nas camadas superficiais do solo, enquanto que no horizonte B poucas variações foram observadas quanto ao comportamento da densidade e porosidade total.

A densidade e o comprimento de raízes principais e laterais declinam com o aumento da densidade do solo. Com o aumento, na densidade, de $0,7 \text{ Mg/m}^3$ para $1,0 \text{ Mg/m}^3$, o comprimento das raízes principais de mudas de eucalipto é reduzido em 71% e o das raízes laterais reduzem aproximadamente para 31%. Geralmente o diâmetro das raízes apresenta um aumento proporcional ao aumento da densidade do solo, enquanto que o número das raízes laterais diminui significativamente (MISRA & GIBBONS, 1996).

O efeito do aumento da densidade no solo sobre o sistema radicular das plantas pode variar em função da espécie. CORNS (1988) observou redução acima de 85% no

peso total de mudas, no crescimento de *Picea Glauca* e *Lodgepole Pine* com o aumento da densidade do solo, compactado em várias condições de campo e observou reduções de crescimento mais evidentes em *Lodgepole* do que em *Picea*. SANDS & BOWEN (1978) encontraram reduções significativas no peso úmido e seco e volume das raízes com o aumento na densidade de 1,35 para 1,60 Mg/m³. A compactação causou reduções no comprimento da raiz principal e aumentou o número e o diâmetro das raízes laterais. A compactação do solo durante a colheita foi a causa da redução do crescimento durante a segunda rotação e rotações subseqüentes de *Pinus radiata*.

Os efeitos da compactação sobre o sistema radicular resultam de uma complexa interação entre a resistência do solo, disponibilidade de água e nutrientes e aeração. No entanto o uso da densidade isolada como uma medida da compactação é possível não demonstrar as condições gerais do desenvolvimento das raízes e conseqüentemente da produtividade futura (INCERTI, 1987).

2.4.2 Porosidade Total e Porosidade de Aeração

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

A compactação promove a redução na permeabilidade da água e do ar, devido às mudanças na distribuição e continuidade dos poros, favorecendo também a desintegração dos agregados do solo, na superfície, podendo levar a formação de crostas. Em função do preenchimento dos vazios, impedindo a infiltração de água e a germinação, conseqüentemente a porosidade total é reduzida e a continuidade de vazios desaparece (KOOISTRA & TOVEY, 1994).

PREVEDELLO (1996) explica que o armazenamento, a disponibilidade e transporte da solução do ar e da água não só dependem da porosidade total, mas

principalmente de como este espaço poroso encontra-se distribuído. Desta forma, quanto mais intenso o processo de compactação, menor a quantidade de macroporos (poros maiores) entre os agregados do solo, dando lugar aos microporos (poros menores). No entanto, se a compactação não é tão severa o número de poros intermediários (mesoporos) será aumentado. A macroporosidade é definida por CURI et al., (1993) como o número de poros maiores, no caso aqueles que não são capazes de transportar água por capilaridade, enquanto que a microporosidade se refere aos poros capazes de exercer esta função. Quando o solo é compactado, a distribuição dos poros é afetada, ocorrendo mudanças na densidade e na porosidade total do solo, sendo que esta variável pode servir como um sensível indicador da compactação (RANEY & EDMINSTER, 1961).

Os efeitos gerados no solo pela colheita da madeira, incluem deformação da estrutura e compactação promovendo a redução na porosidade. NAMBIAR (1996) citando estudos de RAB (1992) relata que depois da colheita de madeira, a porosidade total (como medida da compactação) foi de aproximadamente 23,5% em áreas não perturbadas e 4% onde o subsolo foi prejudicado. A porosidade nas trilhas de corte e pátios de empilhamento da madeira apresentou valores entre 5,5 à 7,3%.

Os solos florestais não perturbados geralmente apresentam-se bem estruturados com uma rede de canais contínuos ou sistema de macroporos formados predominantemente pela fauna do solo e raízes mortas ou vivas de plantas. Um solo perfeitamente aerado apresenta uma concentração aproximada de 20% de oxigênio. Como a compactação diminui a proporção de macroporos e aumenta a de microporos, para uma dada pressão, maior quantidade de poros estará ocupada com a água, reduzindo o espaço poroso responsável pela difusão de oxigênio e outros gases. O oxigênio é necessário à respiração das raízes e produz energia para a absorção de nutrientes, sendo assim, concentrações abaixo de 10% comprometem o crescimento das plantas (OLIVEIRA, 1998).

REISINGER (1988) estudando solos com texturas argilosas submetidos às operações florestais, observou que a porosidade de aeração teve uma redução de 68%

depois de sete passadas de skidder (trator para arraste de toras). THEODOROU (1991) aponta que a porosidade de aeração inferior a 10% e alta resistência do solo, acima de 2,1 MPa reduziu o crescimento de *Pinus radiata* reduzindo a penetração das raízes, nas camadas de solo compactadas.

2.4.3 A Umidade do Solo

Dentre os muitos fatores que influenciam a compactação dos solos agrícolas e florestais, o teor de umidade do solo merece atenção especial. O teor de umidade tem grande influência no processo de compactação do solo. Cada solo tem um teor de umidade ótimo que favorece a obtenção de um valor máximo de densidade, ou seja, de compactação, ficando este valor próximo ao da umidade correspondente à capacidade de campo (ASSIS & BAHIA, 1998).

A densidade do solo submetido à pressão externa aumenta com o conteúdo de água até atingir um valor máximo, quando ocorre diminuição na densidade com o aumento do grau de umidade. CAMARGO (1997) explica que este fenômeno acontece porque em baixas condições de umidade não há água suficiente para formar um filme sobre as partículas de solo. A medida que o conteúdo de água aumenta o filme se expande, formando uma película cada vez mais grossa entre as partículas, que se orientam de modo a deslizar umas sobre as outras. Após atingir a umidade “ótima” para compactação, ainda que a água aumente a densidade diminui devido ao efeito de diluição da água sobre a concentração das partículas por unidade de volume. Sendo assim, em baixas condições de umidade o ar funciona como mola, em altas a água funciona desta forma.

GHUMAN & LAL (1992) analisando o efeito do corte na vegetação (desbravamento) com três níveis iniciais de umidade sobre as propriedades físicas do solo observou que houve aumento da densidade do solo, na camada de 0 a 10cm de profundidade, de $0,28 \text{ Mg/m}^3$ para $0,41 \text{ Mg/m}^3$ nos meses mais úmidos, sendo que as

operações desenvolvidas na estação seca, minimizaram os efeitos deletérios sobre as propriedades físicas do solo. HAKANSSON et al., (1998) afirma que, condições de tráfego com rodado de baixa pressão sobre solos úmidos possivelmente causam maior compactação do que o tráfego com alta pressão do rodado sobre os solos mais secos.

2.4.4 Textura

A textura é a distribuição quantitativa das classes de tamanhos de partículas de que se compõe o solo, sendo uma propriedade permanente que depende das características do material originário e dos agentes naturais de formação do solo (ASSIS & BAHIA, 1998). O risco de compactação durante a colheita florestal aliado a outros fatores, é mais alto para texturas argilosas e siltosas e baixo para as arenosas (SMITH, 1994).

OLIVEIRA (1998) relata que os solos argilosos estão mais sujeitos à compactação, pelo fato das argilas promoverem o fenômeno da plasticidade ao substrato, aumentando a coesão entre as partículas. CAMARGO (1997) considera que os solos de textura mais arenosa embora apresentem alguma resistência à compactação devido aplicação de forças externas permite um rearranjo das partículas mais finas, ocupando os vazios do solo e conseqüentemente aumentando a densidade para valores superiores à $2,0 \text{ g/cm}^3$.

WARKOTSCH et al., (1994) encontrou camadas compactadas em profundidades variando entre 60 a 80 cm de profundidade em solos com textura arenosa submetidos à exploração florestal. SMITH (1995) relatou que em solos florestais na África do Sul, a densidade básica apresentou-se com valores entre $1,21$ e $2,0 \text{ Mg/m}^3$ considerando estes valores baixos se comparados aos solos agrícolas. No entanto, isto é atribuído ao alto teor de silte e argila destes solos, na África do Sul. Solos com densidade aparente menor que $1,40 \text{ Mg/m}^3$ são altamente argilosos ou siltosos e com carbono orgânico maior que 2,5%, já os solos de textura arenosa apresentam densidades superiores à $1,8 \text{ Mg/m}^3$.

2.4.5 Resistência Mecânica do Solo

A resistência mecânica do solo à penetração é mais um método destinado à mensuração da compactação do solo. A resistência à penetração provavelmente é o mais sensível indicador da recuperação do solo do que a densidade, porque esta última é sensível principalmente para determinar o volume de poros e pouco sensível aos planos de fratura ou fraqueza do solo (VOORHEES, 1983).

O aumento da resistência do solo devido ao ressecamento e/ou compactação é favorável ao tráfego, onde este se faz necessário, melhorando a capacidade de suporte do solo porém, desfavorável para as atividades agrícolas ou florestais como o preparo do solo, restringindo o crescimento das raízes e o estabelecimento das plantas (GUERIF, 1994). O'SULLIVAN et al., (1987) citados por GUERIF (1994), relatam que a intensidade da resistência do solo, varia amplamente no perfil do mesmo. A distribuição da resistência no perfil depende da disposição dos elementos da estrutura, tais como: torrões ou agregados e zonas fragmentadas ou compactadas.

SMITH (1995) observou que existe um considerável efeito sobre as relações mecânicas do solo e o conteúdo de água. Em geral, o aumento na resistência é influenciado fortemente pelo aumento da densidade e redução dos conteúdos de água. Ainda, o mesmo autor considera a resistência mecânica fortemente influenciada particularmente pela textura do solo. THEODOROU et al., (1991) estudando o crescimento de *Pinus radiata* constatou reduções no crescimento radicular de mudas, quando a porosidade de aeração foi menor que 10%, e a resistência à penetração apresentou-se com valores de 2,1 MPa ou superiores.

As raízes de eucaliptos parecem ser mais tolerantes à valores mais altos de resistência mecânica à penetração, do que as plantas anuais (MISRA & GIBBONS, 1996), porém, aumentos na resistência à penetração acima de 1,0 MPa prejudicaram o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, sendo que até este valor o desenvolvimento mostrou-se razoável (WHITMANN et al., 1997). SANDS (1979),

reporta que o desenvolvimento de raízes de *Pinus radiata*, foi severamente limitado pela resistência mecânica do solo, o qual quando submetido ao penetrógrafo excedeu 3MPa. Neste caso o desenvolvimento das raízes ficou restrito entre 15 e 30 cm de profundidade em zonas de trilha de *skidder*, onde foi efetuada a colheita florestal.

2.5 A RECUPERAÇÃO DE SOLOS

Nas áreas que encontram-se em estado de degradação devido ao intenso uso do solo ou ao mau uso e a fixação ou desenvolvimento da vegetação é muito lento ou muitas vezes impedido, ou ainda, áreas onde ocorre um acelerado processo erosivo, torna-se necessária uma reabilitação ou recuperação prévia do solo, como condição para sua reutilização. Dentre os vários tipos de áreas degradadas, maiores atenções devem ser dadas àquelas originadas pela retirada da cobertura vegetal, principalmente florestal, tanto para a exploração da floresta em si, como para outros usos, tais como, agricultura intensiva, pastagens, mineração e urbanização (ALVARENGA et al., 1998).

As operações florestais, principalmente a colheita mecanizada, resultam em muitos impactos no solo, tais como: mudanças na qualidade e quantidade de matéria orgânica, alterando a ciclagem de nutrientes; erosão pelo solo exposto na ocasião do cultivo e da colheita; alterações na qualidade da água e, em função do uso de máquinas pesadas, a compactação do solo (WORREL & HAMPSON, 1987). Os efeitos da compactação podem persistir por décadas, reduzindo o estabelecimento e crescimento das mudas florestais, embora estes danos sejam variáveis em função do tipo de solo e da espécie florestal envolvida (WRONSKI & MURPHY, 1994). WORREL & HAMPSON (1997) analisando a persistência da compactação constataram que o tempo para a recuperação natural do solo foi em torno de 18 anos em áreas de pátio e aproximadamente 40 anos em áreas de trânsito, considerando que esta recuperação é dependente do grau de compactação, tipo de solo relacionado com a textura e teores de matéria orgânica.

CONSTANTINI (1995) avaliando a produção de *Pinus elliottii*, observou

impactos severos em aproximadamente 31% da área total usada como rua de acesso e pátios para o empilhamento da madeira, sendo que nas trilhas do *skidder*, trator usado para o arraste de toras, foram as áreas mais danificadas, resultando na queda da produtividade da segunda rotação. DEDECEK & GAVA (1997) observaram uma redução na produtividade de eucalipto em até dois terços na área de rebrota após a colheita mecanizada, sendo que na camada superficial do solo a estrutura se recupera parcialmente, o que não ocorre nas camadas subsuperficiais.

2.6 MANEJO DE SOLOS EM FLORESTAS

Um dos sistemas de manejo adotados em florestas é o plantio direto, amplamente usado na agricultura e adaptado para outros sistemas de produção além do reflorestamento especialmente cultivos semi – perenes, como cana-de-açúcar e perenes como café e frutíferas (CASTRO, 1995). De acordo com EIRA (1995), o plantio direto consiste numa técnica ou sistema de cultivo mínimo que, relativamente aos demais sistemas de cultivo caracteriza-se pelo revolvimento mínimo do solo e manutenção na superfície dos resíduos vegetais da própria cultura e das plantas autóctones que formarão a cobertura morta, denominando-se de resteva, *mulch* ou *litter*.

No plantio direto, não há o preparo prévio do solo na área de cultivo, sendo o plantio feito sobre a palha deixada pelas culturas anteriores e pelas ervas daninhas. Pode-se definir plantio direto como a semeadura com o revolvimento do solo apenas no sulco ou na cova onde se deposita a semente ou muda e o fertilizante, permanecendo o restante da superfície sem mobilização, em contraste com outros sistemas em que a mobilização é feita em toda área. Este sistema elimina portanto, as operações de aração, gradagens e outros métodos convencionais de preparo de solo e as ervas daninhas são controladas com aplicações de herbicidas em aplicações antes e/ou após a semeadura (CASTRO, 1995). Entre as vantagens do plantio direto, estão o controle da erosão, evitando o desgaste e a degradação do solo e a redução de custos de produção devido ao menor número de

operações.

Segundo ROESLER & MOREIRA (1998), o cultivo mínimo em florestas é caracterizado no Brasil como a queima de resíduos de Pinus e Eucaliptus, seguido de subsolagem com ripper de duas hastes, com profundidade de aproximadamente 45 cm, o plantio é normalmente mecanizado com mudas de raiz nua. GONÇALVES (1995) constatou que, em espécies de crescimento rápido como o eucalipto, o cultivo mínimo gera um crescimento inicial menor e mais heterogêneo se comparado com sistemas de cultivo intensivo do solo, explicando que isso se deve ao fato de que ocorre uma atividade mais intensa dos organismos do solo no cultivo mínimo, competindo por nutrientes com as árvores. Quando os resíduos são deixados sobre o solo a decomposição destes se processa de forma gradual e mais lentamente que nesta fase inicial, os microorganismos decompositores competem com as mudas por nutrientes. No entanto, com o passar do tempo, o resíduo que funciona como substrato e ativa a vida dos microorganismos do solo vai diminuindo conjuntamente com a massa destes. Finalmente os nutrientes contidos nos organismos, são mineralizados e liberados para o meio onde ocorre a absorção pelas árvores, por isso o vigor e a homogeneidade de crescimento das árvores se restabelece alguns meses pós-plantio, geralmente entre 12 e 24 meses, dependendo da qualidade do sítio.

Nos sistemas florestais, o uso da queima dos resíduos da extração, facilita a preparação do sítio para o plantio e é uma prática muito comum em todo mundo. A queima do resíduo (galhos, restos de madeira não utilizados, cascas), pode ser completa, isto é, efetuada em toda área ou realizada parcialmente. RAB (1996) cita que na Austrália, a queima dos resíduos é freqüentemente usada no preparo do sítio para o plantio e na regeneração da área colhida, sendo que em algumas situações, o preparo é feito mecanicamente redistribuindo os resíduos e escarificando a superfície do solo. Embora a queima seja um procedimento comum em várias regiões, o fogo elimina a camada orgânica e com isso impede os efeitos benéficos da matéria orgânica sobre as propriedades físicas e hidrológicas. O grau de perturbação no solo pelo fogo, varia com a

duração, intensidade do fogo, quantidade de resíduo, umidade do solo, etc. (RAB,1996) . Nos solos florestais, a matéria orgânica torna-se importante controlando a ciclagem de nutrientes, agindo como substrato para a microfauna do solo e influenciando a umidade, a estrutura, a resistência e os processos pedogenéticos. A perda da matéria orgânica nos solos florestais gera menos problemas que em solos agrícolas, porém em regiões de clima seco torna-se vital na manutenção da umidade do solo (WORRELL, & HAMPSON, 1997).

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

2.7 CONDIÇÕES DE UMIDADE E A MOBILIZAÇÃO DO SOLO.

Os processos restauradores do solo quando utilizados de forma adequada melhoram a estrutura do solo, aumentam a macroporosidade, as reservas de nutrientes, e outros efeitos benéficos. Porém, quando usados de maneira imprópria, podem gerar processos de deterioração da estrutura do solo, acelerar a erosão, perda da fertilidade e matéria orgânica, perturbando negativamente os ciclos da água, carbono e outros nutrientes (LAL, 1993).

Há um teor de umidade ótimo para cada tipo de solo que favorece a compactação, normalmente próximo ou correspondente à capacidade de campo. Operações desenvolvidas com níveis de umidade inadequados podem piorar a situação. MAZUCHOWSKI & DERPSCH (1984), exemplificam o uso de grades em solo muito úmido, onde os discos ao serem arrastados causam um espelhamento na subsuperfície, selando os poros e reduzindo a infiltração de água. Trabalhar o solo em condições de alta umidade provoca uma compactação de subsuperfície, formada pela ação dos implementos

sempre à mesma profundidade, denominada de **pé-de-grade** (CAMARGO, 1997).

O conteúdo de água nas operações de preparo ou recuperação do solo é um fator importante, estando diretamente relacionado à deformação da estrutura do solo. O limite para trabalhar o solo, segundo RAB (1998), é expresso como o conteúdo de água ou potencial mátrico, que possibilita a mobilização do mesmo com efeitos positivos sobre sua estrutura. Se o solo estiver mais seco, ou seja, acima deste valor pode ser trabalhado sem danos para a estrutura do solo, porém deve-se buscar um nível ótimo de umidade para mobilizar o solo, porque se estiver excessivamente seco, requer mais potência para o trabalho e além disso reduz a eficiência da operação uma vez que, as forças coesivas dentro do solo são maiores para a quebra dos torrões.

2.8 SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM ÁREAS FLORESTAIS

As operações de preparo do solo, tornam as condições do sítio favoráveis para o estabelecimento das plantações melhorando o desenvolvimento das mudas. O preparo do solo varia de acordo com as características dos solos, clima, e a finalidade a que se destina: eliminação de plantas daninhas, incorporação de fertilizantes e também a eliminação de camadas compactadas para o aumento da infiltração da água no solo, evitando a erosão (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984). Os efeitos da compactação sobre o crescimento das árvores podem ser reduzidos pelo arado e ripper, com a incorporação do litter e resíduos no solo e aplicação de fertilizantes. A escolha das medidas de recuperação aplicadas dependem da intensidade da compactação, tipo de solo e espécie florestal (WRONSKI & MURPHY, 1994).

A introdução de herbicidas tem diminuído a importância do arado no controle de plantas daninhas. No entanto, o uso intensivo de máquinas na exploração agrícola ou florestal tem aumentado a importância do revolvimento do solo e conseqüentemente da aração. Reduzir a compactação reduziria a necessidade de aração. Embora o tráfego de uma roda no sulco aberto no momento da aração também seja causa

de compactação, é um problema que pode ser solucionado (HAKANSSON et al., 1987). STUART & NORRIS (1995) constatou que o uso de arado de discos à uma profundidade de 20 cm no manejo do solo florestal destrói o denso sistema de raízes das plantas gramíneas os quais ocupam os poros na superfície. A aração possibilita ao sistema radicular utilizar os poros do solo na superfície para melhorar a absorção de água e nutrientes e ainda acelera a mineralização das gramíneas destruídas.

REISINGER (1988) considera que o melhor tratamento para os solos compactados é o preparo combinado com a fertilização. MHANDO (1993) constatou que o preparo do solo completo, envolvendo aração e grade de discos numa profundidade de 20 cm em conjunto com a fertilização, reduziu a competição com as plantas daninhas e aumentou o volume de enraizamento, desenvolvendo um sistema radicular vigoroso em mudas de *Eucaliptus saligna* capazes de melhor aproveitar os recursos do solo contrastando com os tratamentos onde foi usado somente a grade de discos à uma profundidade de 15 cm, resultando no enraizamento superficial e na alta mortalidade de mudas.

As grades de discos são amplamente usadas na recuperação de florestas com vários desenhos, diferentes arranjos e espaçamentos entre os discos, permitindo uma maior pulverização do solo (RAB, 1998). CINTRA (1996), estudando plantas de 25 anos de idade de coqueiro gigante, *Cocos nucifera L.*, em solo arenoso, observou que a gradagem propiciou maior quantidade de raízes totais e finas na profundidade de 0 a 20 cm. A maior concentração de raízes finas na superfície indicou que o corte das raízes pela grade foi um fator de estímulo à produção de radículas responsáveis pela maior parte da absorção de água e nutrientes. GENT et al., (1984) analisando impactos da colheita mecanizada em florestas e a preparação do sítio sobre as propriedades físicas do solo, concluiu que o uso da grade de discos provou ser eficiente na restauração da densidade na superfície entre 0 a 15 cm de profundidade, obtendo valores de densidade iguais ou abaixo dos obtidos antes da colheita. Porém as forças compressivas exercidas pelo maquinário durante a colheita e pelo preparo do solo, se estendem abaixo desta

profundidade. Neste caso como alternativa de recuperação da camada compactada o uso de subsolador ou ripper seria mais eficiente. RAB (1998) comparando técnicas de recuperação de solos florestais compactados, observou que o uso de grades de discos mostrou uma penetração eficiente somente até 10 cm de profundidade. A presença de pedras pode limitar a operação sendo necessário duas ou três passadas para revolver adequadamente até uma profundidade de 20 cm. No experimento, em função da profundidade da camada compactada, a grade demonstrou ser ineficiente para solucionar o problema de compactação do solo. Normalmente o uso deste implemento em florestas é um tratamento secundário usado após o ripper.

O ripper e o subsolador estão entre os métodos mais populares para o estabelecimento e regeneração de sítios florestais. Estas operações melhoram a sobrevivência e o crescimento das mudas que apresentam um sistema radicular mais estável atingindo profundidades maiores. Também expõe menor área de solo e não promove o revolvimento do mesmo, reduzindo com isto os riscos de erosão nos plantios florestais, entre a fase de plantio e cobertura do solo. De acordo com a intensidade da compactação quando a operação requer profundidades de trabalho mais rasas do que 50 cm, usa-se o ripper, enquanto que se for efetuada em profundidades maiores efetua-se a subsolagem (STUART, 1995).

A subsolagem é uma técnica cara, com o objetivo de romper camadas mais profundas de solo compactado melhorando a penetração das raízes e melhorando a infiltração da água. Porém, é importante saber o momento adequado de realizar este tipo de operação, isto é, as melhores condições de umidade, evitando a formação de camada compactada logo abaixo do raio de ação do subsolador (OLIVEIRA, 1998). Embora dependente da estratigrafia do solo, um aspecto desfavorável é citado por ASSIS & BAHIA (1998), esclarecendo que esta operação rompe o subsolo podendo acelerar perdas de água já armazenada. BERRY (1979) constatou que a subsolagem foi benéfica para o desenvolvimento de mudas de *Pinus echinata Mill.*, sendo que a altura de crescimento aumentou em 3,5 % e o diâmetro de colo de raiz aumentou 9,4%. Também

houve aumento do volume das árvores em 19,3% sendo estatisticamente significativo. STUART (1995) observou que o crescimento de *Pinus elliottii*, em parcelas submetidas à subsolagem com 60 a 90 cm de profundidade foi superior às parcelas onde foi usado ripper (30 cm de profundidade). A explicação para isso pode ser atribuída ao rápido estabelecimento das mudas, cujas raízes tiveram mais facilidade para captar água nos períodos de seca. A subsolagem prévia, segundo BERRY (1979) facilita o plantio, quebra as camadas compactadas e melhora a penetração da água. No entanto a necessidade de trabalho adicional de pesquisa sobre técnicas de subsolagem para os diferentes solos é necessária para aumentar a produção de madeira por unidade de área, particularmente em áreas degradadas.

Há uma profundidade crítica para os dentes rígidos do subsolador ou ripper abaixo da qual ocorre mais compactação que revolvimento do solo. No caso de um ripper padrão, está entre 20 e 40 cm, dependendo do tipo de solo e condições de umidade. A adição de “asas” na base dos dentes aumenta esta profundidade para 50 a 70 cm (STUART & NORRIS, 1995). RAB (1998) relata que a adição de asas dos lados dos dentes no subsolador ou ripper melhora a eficiência revolvendo mais do que 80 % da área compactada do solo em uma simples passada no sentido lateral e parece reduzir o custo da operação. No entanto não existem muitos dados sobre subsoladores com asas e sua eficácia em florestas .

Outra prática que foi bastante usada mas já está abandonada há algum tempo nos plantios florestais é o *bedding* com uso de grade terraceadora, que é mais indicada para áreas de alagamento. TERRY & CAMPBELL (1981), citados por RAB (1998) afirmam que esta prática tem aumentado a sobrevivência e o crescimento de espécies florestais em solos com topografia plana, drenagem pobre, textura fina ou média e altos conteúdos de matéria orgânica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O experimento foi conduzido em duas áreas de colheita florestal de propriedade da Cia. Suzano de Papel e Celulose, no Estado de São Paulo. Uma área situada na Fazenda Boa Vista, no Município de São Miguel Arcanjo, localizado à 23 ° 51' de Latitude Sul e 47 ° 54' de Longitude à Oeste de Greenwich, com altitude média de 725 m acima do nível do mar. O clima da região, segundo Köppen é Cfa , subtropical com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendências de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1200 à 1300 mm, com maior frequência nos meses de setembro a fevereiro. A temperatura média anual está em torno de 20° C, com médias máximas registradas na época da instalação do experimento de 26° C e mínimas de 15° C, segundo dados fornecidos pela empresa, bem como as médias de umidade relativa do ar em torno de 90% nos meses de coleta de dados do solo e plantas. (Dados não publicados cedidos pela Cia. Suzano de Papel e Celulose).

A região do Município de São Miguel Arcanjo, de acordo com os dados de geologia local, localiza-se na Bacia do Paraná, unidade geotectônica estabelecida na plataforma sul-americana a partir do Devoniano Inferior, Período Paleozóico e do Grupo Tubarão, com Formação Itararé sob superfície entalhada em rochas cristalinas Pré-Silurianas e em sedimentos da Formação Furnas, depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais deltaicos lacustres e marinhos, principalmente arenitos, conglomerados, filitos, siltitos e folhelhos. (Informações cedidas pela Cia. Suzano de acordo com mapas geológicos do Estado de S. Paulo).

O solo desta área, de acordo com o sistema de classificação de solos da EMBRAPA, é um Latossolo Vermelho, com A Moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado. De acordo com as análises de fertilidade é um solo ácido com pH em CaCl_2 variando entre 4 à 4,5, baixa CTC ($T < 24$), baixo grau de saturação de bases ($V < 50\%$), baixos teores de alumínio ($m < 50\%$). Segundo o histórico da área, foi feita adubação com NPK na ocasião do plantio: 140 gramas/planta de 06-30-06, 200 gramas/planta de fosfato natural, 45 gramas/planta de 20-00-20 e adubação comercial em cobertura. Com base na análise granulométrica deste solo, os teores de argila variam entre 61 à 66% e a densidade de partículas obteve um valor médio de $2,55 \text{ Mg/m}^3$.

A outra área escolhida situa-se no Município de Itatinga, à $23^\circ 15'$ de Latitude Sul e $47^\circ 51'$ à Oeste de Greenwich, com altitude média de 632 m acima do nível do mar. O clima predominante é Cfa, a precipitação média anual é de 1200 mm e a temperatura média anual 23°C , as temperaturas máximas registradas estão ao redor de 31°C e as mínimas em torno de 12°C . (Dados não publicados cedidos pela Cia. Suzano de Papel e Celulose).

A geologia local, compreende a Bacia do Paraná, onde destacam-se Unidades divididas em grandes dois grupos: o São Bento e o Bauru. Dentro do Grupo São Bento está a Formação Pirambóia, que engloba a área estudada e é constituída por arenitos finos à médios, avermelhados, siltícos-argilosos com estratificação cruzada por deposição eólica ou planoparalela (deposição lacustre). (Informações cedidas pela Cia. Suzano de acordo com mapas geológicos do Estado de S. Paulo).

O solo, de acordo com a classificação da EMBRAPA, está classificado como Latossolo Amarelo, A moderado, com textura média. De acordo com a análise das características químicas é um solo ácido com pH em CaCl_2 entre 4 e 4,5, baixa CTC ($T < 24$), baixo grau de saturação de bases ($V < 50\%$) e baixos teores de alumínio

($m < 50\%$). Esta área teve adubação comercial no plantio e em cobertura, aplicação de gesso (350Kg/ha) e resíduo de celulose na proporção de 4000Kg/ha. De acordo com a análise granulométrica, este solo apresenta 15% de argila em profundidades superiores à 30 cm, sendo que, até esta profundidade, onde foram obtidas as amostras de solo, os valores de argila oscilam entre 9 à 11%. A análise de densidade de partículas apresentou valores entre 2,66 à 2,70 Mg/m^3 .

Os talhões selecionados para condução do ensaio, nos dois tipos de solo, se constituem de florestas de *Eucalyptus saligna* em segunda rotação, com rebrota de dois anos em Itatinga (textura média) e um ano em São Miguel Arcanjo (textura argilosa), na época da instalação do experimento. O espaçamento adotado na primeira área é de 3,0 x 1,80 m e na segunda de 3,0 x 2,0 m.

3.2 SISTEMA DE COLHEITA UTILIZADO

No Município de São Miguel Arcanjo, o sistema de colheita adotado, enquadra-se como sistema de madeira curta, onde as operações de desgalhamento, descascamento e toragem são executadas no local onde efetuou-se a derrubada. Nesta mesma área a madeira é empilhada e posteriormente transportada para fora do talhão. A máquina utilizada para o corte foi o *harvester*, onde a máquina base é uma escavadeira hidráulica de esteira, marca Cartepillar, modelo 320, com potência de 95 Kw, a 1800 rpm no motor e peso de 187,18 kN, com cabeçote marca AFM, modelo 60, com o peso do conjunto resultando em 21,80 kN. O *harvester* exerce uma pressão de contato com o solo de 52,11 kPa.

Para o baldeio, operação onde a carga é suspensa, ou seja, não ocorre arraste de madeira foi empregado o conjunto auto-carregável, composto de um trator com carreta e um guincho hidráulico. O trator da marca Massey-Fergusson, modelo 610 com tração

dianteira auxiliar e potência de 63 KW a 2200 rpm, e peso de 49kN, pneus traseiros 18,4 x 34 R1e dianteiros 14,9 x 24 R1. A carreta é constituída por dois eixos com peso líquido de 24,60 kN e pneus 9,0 x 2,0. A grua possuía peso de 16,66 kN, quanto à pressão de contato exercida pelo trator para os pneus dianteiros foi em torno de 93,68 kPa e traseiro 153,51 kPa. A figura 1 mostra o *harvester* utilizado em São Miguel Arcanjo e a figura 2 põe em primeiro plano o cabeçote que executa o corte, o descascamento e traçamento da madeira. A figura 3 dá uma visão geral da área de colheita com o *harvester* na linha de corte, as linhas de empilhamento da madeira e o resíduo espalhado no local.

FIGURA 1 - HARVESTER, ESCAVADEIRA COM CABEÇOTE PROCESSADOR UTILIZADO NA COLHEITA



FIGURA 2 - CABEÇOTE UTILIZADO COM A FUNÇÃO DE CORTE, DESGALHAMENTO E TRAÇAMENTO



FIGURA 3 - VISÃO GERAL DA ÁREA DE COLHEITA



Em Itatinga, o corte, desgalhamento e traçamento da madeira foi realizado com motosserras, sendo que os problemas referentes à compactação do solo são resultantes da operação de baldeio. Para esta operação, foi empregado um conjunto auto-carregável, com trator agrícola Valmet 1280, com peso aproximado de 7220 Kg e uma carreta de um eixo com pneus 1.100 (dois de cada lado), os mesmos utilizados em caminhões. O conjunto composto pelo trator e a carreta carregada pesam aproximadamente 9000 Kg distribuídos nos quatro pneus. Os resíduos da colheita como: galhos, folhas, etc. não são removidos, permanecendo espalhados no local do corte. Os dados sobre as máquinas utilizadas, bem como as pressões e pesos citados nas duas áreas foram fornecidos pela Cia.Suzano Papel e Celulose.

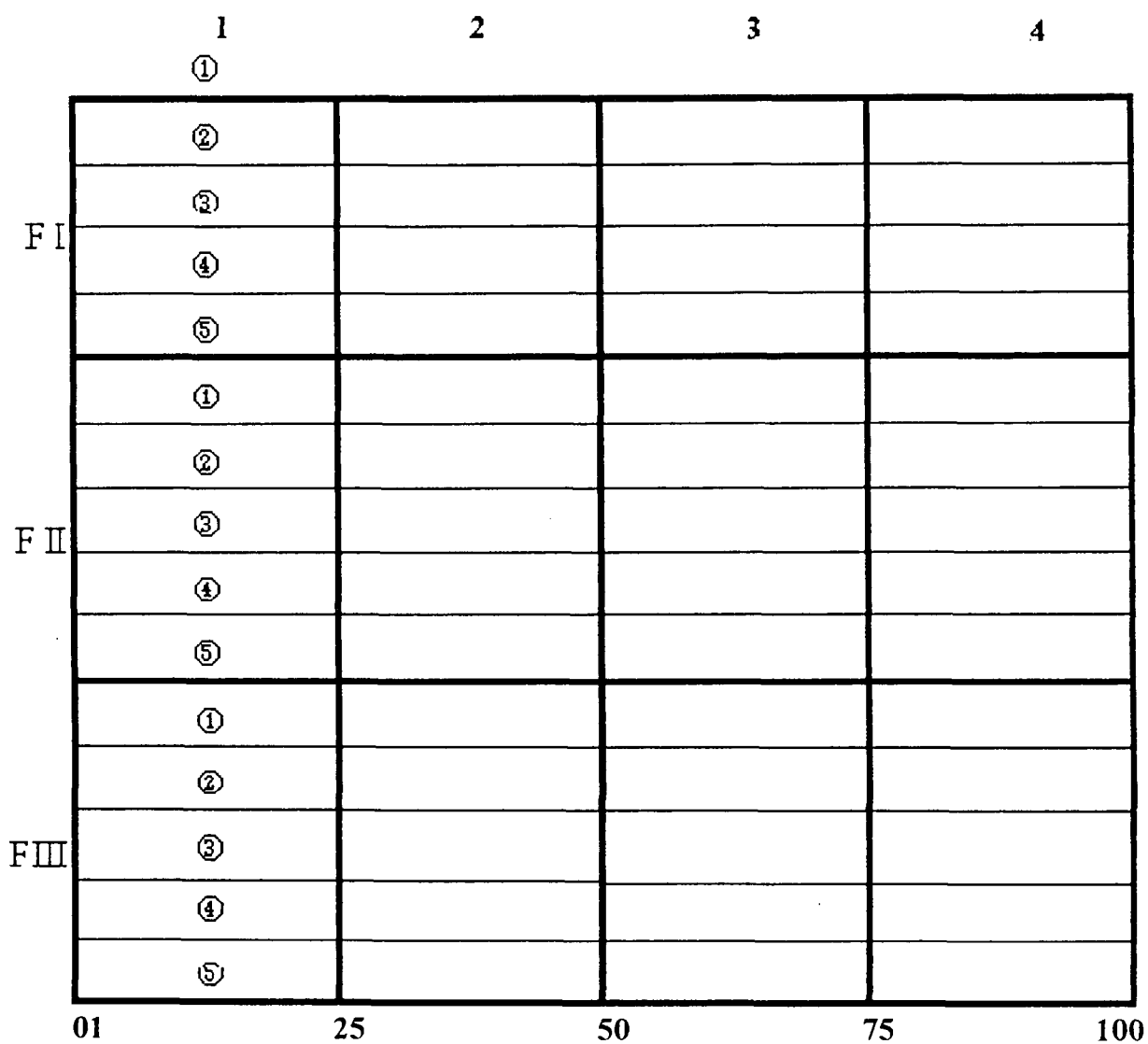
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em faixas por sistema de preparo do solo, num conjunto de cinco linhas para cada faixa, com quatro repetições e 125 plantas por parcela. No sistema de colheita adotado em São Miguel Arcanjo, a entrelinha onde permanece a galhada não sofre tráfego das máquinas, a mesma não necessitando de revolvimento. Esta entrelinha na colheita mecanizada se repete numa floresta de eucalipto a cada cinco linhas, constituindo-se estas cinco linhas, a faixa de teste para cada sistema de preparo, sendo as repetições ao longo destas linhas em número de quatro, com vinte e cinco plantas para cada repetição. Em São Miguel Arcanjo o experimento ocupou uma área total de 9000 m².

Foram testados os seguintes tratamentos :

- I – gradagem da entrelinha;
- II – sulcagem da entrelinha;
- III – testemunha (sem preparo de solo).

FIGURA 4 – CROQUI COM A DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS NAS DUAS ÁREAS



Onde:

F I, F II, F III – representam as faixas com cada tratamento;

1, 2, 3, 4 – repetições ao longo das faixas;

01 ... 100 – a primeira e última planta de cada linha ao longo da faixa, totalizando cem plantas em cada linha;

①... ⑤- as cinco linhas dentro de cada parcela, totalizando 125 árvores por parcela.

O equipamento usado na operação de sulcagem foi um sulcador monohaste na profundidade de 40 cm. Para gradagem, foi utilizada a grade pesada com 20 - 30 cm de profundidade. Ambos os implementos foram acoplados à um trator agrícola Valmet 985 S, 4 x 4.

No Município de Itatinga, a disposição dos tratamentos foi a seguinte:

- I – testemunha;
- II – gradagem na entrelinha;
- III – sulcagem na entrelinha.

A disposição dos tratamentos em campo corresponde ao mesmo croqui da área de São Miguel Arcanjo embora a área seja um pouco menor: 8.100 m². Para o preparo do solo foram utilizados o mesmo sulcador monohaste, trabalhando à uma profundidade de 40 cm e grade média com profundidade de 20 a 30 cm.

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 AVALIAÇÕES DAS ÁRVORES E ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO

Nas duas áreas estudadas foram feitas avaliações dendrométricas de altura e DAP (Diâmetro a Altura do Peito) de todas as árvores do experimento, antes do revolvimento do solo, 1997, e um ano depois nas quatro parcelas. As amostragens do solo foram feitas depois do revolvimento do solo efetuadas nas três linhas onde havia maior probabilidade de compactação: na linha do corte, empilhamento da madeira e baldeio.

Estas linhas foram selecionadas de acordo com informações prestadas previamente pela parte operacional da empresa, uma vez que não era possível identificar a

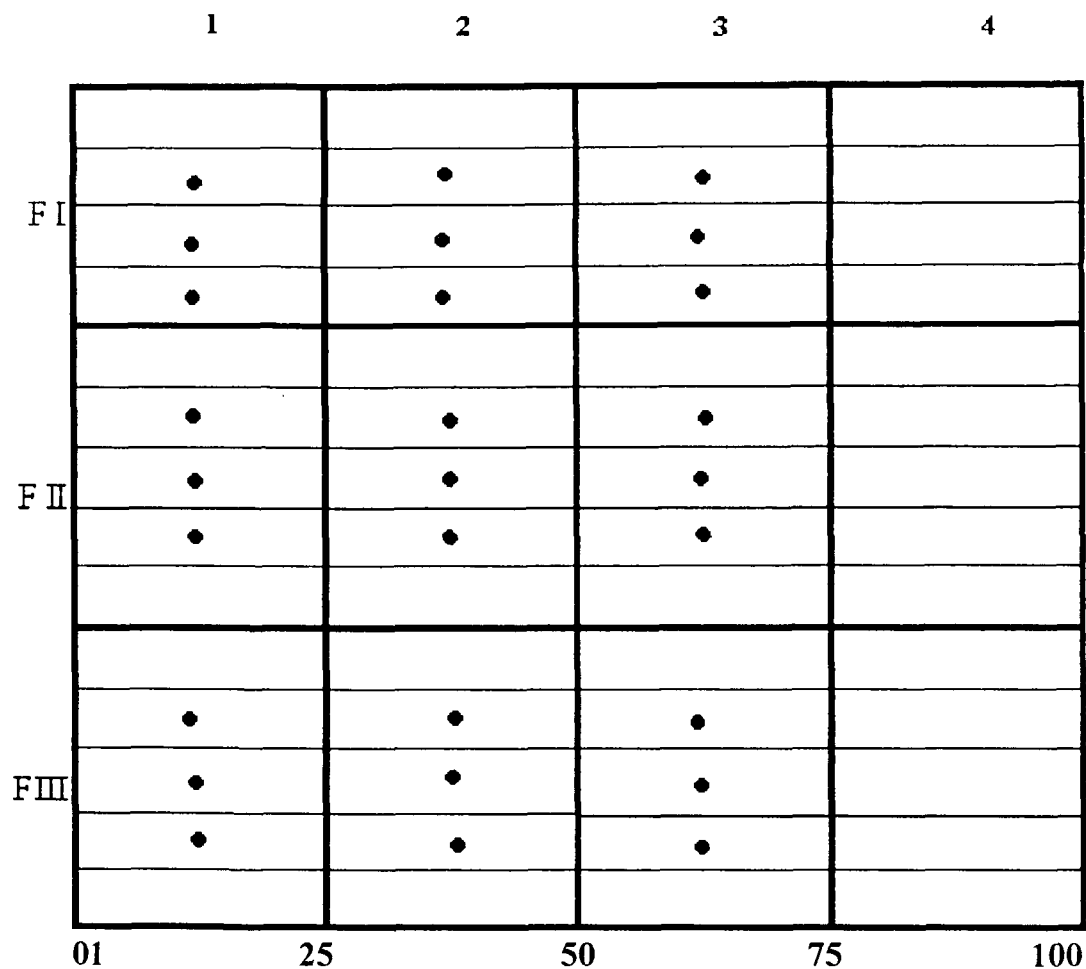
presença de sulcos caracterizando as linhas, em função da presença da galhada. Depois do revolvimento do solo, foram feitas avaliações com a finalidade de comparar as áreas revolvidas, ou seja, com os tratamentos de gradagem e sulcagem, em relação à testemunha sem nenhuma intervenção.

Para as análises químicas e granulométricas foram feitas tradagens nas três linhas selecionadas, por faixa ou tratamento a 50 cm de distância da linha, considerando apenas três das quatro parcelas, para cada tratamento em três profundidades: 0 -10; 10 - 20; 20 - 30 cm, tendo - se nove pontos de coleta por faixa, com três profundidades totalizando 27 amostras de solo, por tratamento. A análise da fertilidade, granulometria e densidade de partículas do solo foram as de rotina, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1979).

Para as análises físicas foram coletadas amostras de solo indeformadas, através de anéis volumétricos, nas mesmas linhas e parcelas onde se efetuou a amostragem para as análises químicas e granulométricas, nas mesmas profundidades de: 0-10; 10-20; 20-30 cm, e na mesma distância das linhas de plantas (50 cm).

Nas amostras indeformadas, foram realizadas as análises de densidade do solo, porosidade total , porosidade de aeração e curva de retenção de umidade, nas tensões de: 3, 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa, através da mesa de tensão e do Extrator de Richards. As análises foram executadas segundo a metodologia da EMBRAPA (1979).

FIGURA 5 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO, NAS DUAS ÁREAS



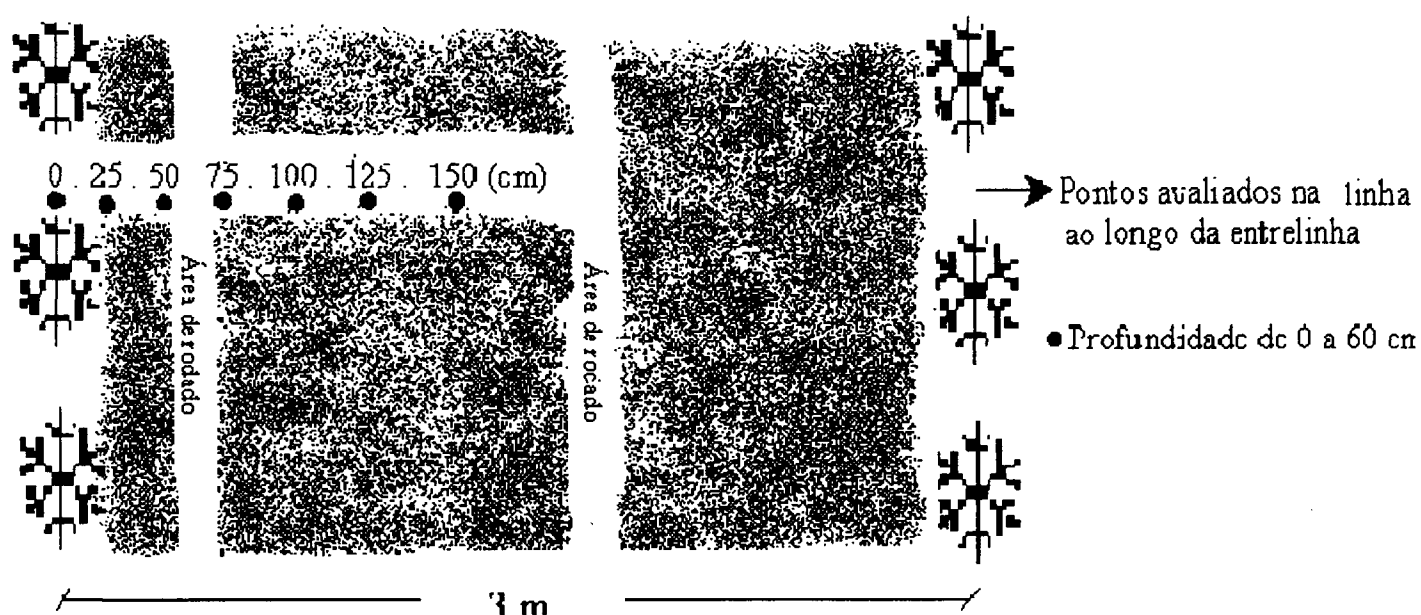
3.4.2 Resistência Mecânica

A resistência mecânica à penetração foi obtida através do penetrógrafo na linha de tráfego dos três tratamentos e nas quatro parcelas considerando-se pontos desde a linha de plantas (0), distanciando-se da mesma à 25, 50, 75, 100, 125 e 150cm, cobrindo a área do rodado e entre o rodado, em cada tratamento ou faixa. Normalmente a máquina passa a uma distância de 50 cm da linha, sendo este o ponto da formação de sulcos que não estavam evidentes no local. Em todas as parcelas de cada tratamento foi avaliada somente

a linha de tráfego, determinada segundo informações prévias obtidas sobre a área.

Os resultados de resistência mecânica do solo foram considerados até a profundidade de 35 cm, ou seja, semelhante à da coleta de amostras indeformadas para as análises físicas. A leitura dos diagramas para obter os valores de resistência foi efetuada através de um programa de digitalização denominado Techdig, com os valores convertidos de : kg/cm^2 para MPa.

FIGURA 6 - PONTOS AVALIADOS COM O PENETRÓGRAFO, EM CADA PARCELA, ABRANGENDO A ÁREA APROXIMADA DO RODADO E ENTRE O RODADO ENTRE AS DUAS LINHAS DE ÁRVORES, PARA AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.



3.5 MATERIAIS UTILIZADOS

A coleta de solo destinada à realização das análises químicas e granulométricas foi efetuada com trado. Para obtenção das amostras indeformadas para as análises físicas, foram usados anéis volumétricos de aço com volume de 70 cm³, para o solo argiloso (S. Miguel Arcanjo) e 130 cm³ para o solo de Itatinga. A determinação da curva de retenção de umidade foi feita em laboratório com a utilização do extrator de Richards.

A avaliação dendrométrica foi feita com o uso de paquímetro (DAP) e régua (altura) em São Miguel Arcanjo. Em Itatinga, devido a altura das árvores ser maior, sua determinação ficou à cargo da equipe técnica da Suzano, que obteve os valores através do clinômetro.

Os dados da resistência mecânica à penetração, foram obtidos com o penetrógrafo SC-60 da Soil Control, com penetração máxima de 60 cm e resistência de 76 kg/cm² ou de 0 a 1080 PSI.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises dos parâmetros físicos e químicos do solo e as avaliações dendrométricas, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e regressões lineares. A comparação dos resultados médios obtidos para cada variável foi feita através do Teste de Tukey.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Os resultados das análises de fertilidade do solo apresentaram diferenças significativas para o solo argiloso apenas para o Potássio, nas profundidades de 10 - 20 e 20 - 30 cm, apesar destes valores serem considerados baixos, sendo que para os demais elementos não houveram diferenças significativas, conforme apresentado na tabela 1:

TABELA 1 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - 1998

TRAT	C org (g/dm ³)			pH (CaCl ₂)			Ca + Mg (c.molc/dm ³)		
Prof.(cm)	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Test	60,91a	50,71a	53,51a	4,49a	4,24a	4,16a	7,70a	3,60a	2,40a
Grade	65,84a	50,00a	57,99a	4,47a	4,16a	4,09a	8,80a	2,80a	2,40a
Sulco	57,99a	53,31a	53,05a	4,54a	4,18a	4,09a	7,30a	3,50a	2,50a

TRAT	K (c.molc/dm ³)			P (mg/dm ³)			H + Al (c.molc/dm ³)		
Prof.(cm)	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Test	0,30a	0,10 b	0,04 b	3,60a	2,20a	1,00a	12,60a	11,90a	11,70a
Grade	0,41a	0,20 a	0,10 a	2,80a	2,60a	1,30a	13,00a	13,00a	12,30a
Sulco	0,34a	0,10 b	0,05 b	3,30a	2,00a	1,00a	12,10a	12,60a	12,10a

NOTA: Tratamentos seguidos pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey à 5 % .

No solo de textura média, as análises químicas demonstraram resultados maiores em alguns elementos comparativamente ao solo argiloso, isso se deve à aplicação complementar de resíduo de celulose nesta área na proporção de: 4000 Kg/ha e 350 Kg/ha de gesso, com adubação no plantio e em cobertura.

A testemunha teve melhor fertilidade na superfície, significativamente diferente em Potássio, Fósforo, Cálcio e Magnésio, conforme os dados apresentados na tabela 2. Este fato é atribuído ao não revolvimento do solo nesta área. Sem a incorporação do adubo e do resíduo, conseqüentemente, em superfície a testemunha apresentou valores mais elevados para estes elementos.

TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA - 1998

TRAT	C org (g/dm ³)			pH (CaCl ₂)			Ca + Mg (c.molc/dm ³)		
Prof.(cm)	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Test	18,20a	4,44a	2,98a	4,18a	4,27a	4,29a	1,34 a	0,98a	1,02a
Grade	15,86a	5,00a	3,12a	4,18a	4,28a	4,29a	1,30ab	0,99a	0,96a
Sulco	15,52a	4,63a	2,50a	4,14a	4,31a	4,29a	0,97 b	0,91a	0,79a

TRAT	K (c.molc/dm ³)			P (mg/dm ³)			H + Al (c.molc/dm ³)		
Prof.(cm)	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Test	0,038a	0,020a	0,013a	3,9 a	3,6a	1,4a	5,0a	4,2a	3,8a
Grade	0,031b	0,020a	0,018a	3,1 ab	1,8a	1,3a	4,9a	3,8a	3,6a
Sulco	0,028b	0,020a	0,021a	2,0 b	3,4a	3,8a	4,9a	4,2a	3,7a

NOTA: Tratamentos seguidos pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey à 5 % .

Os efeitos da compactação do solo sobre as características químicas, não são muito claros, alguns experimentos demonstram que a compactação aumenta o coeficiente de difusão de íons e outros demonstram que este processo sofre redução. CAMARGO (1997) cita que a influência da compactação na difusão de nutrientes (movem-se principalmente por difusão no solo, íons que reagem com a superfície das partículas, como é o caso do Potássio em certas condições e o Fósforo), ainda não é muito clara. O mesmo autor, citando CORNISH et al., (1984) esclarece que muitas vezes em densidades maiores de solo elementos como o Fósforo podem aumentar o contato com as raízes, aumentando potencialmente sua disponibilidade, entretanto ocorre redução no comprimento das raízes devido a menor taxa de alongação, reduzindo a virtual disponibilidade do elemento para as plantas.

Este fenômeno é também discutido por outros autores, para WOLKOWSKI (1990); HAKANSSON & MEDVEDEV(1995) a compactação do solo reduz a porosidade do mesmo, diminuindo a capacidade de movimento da água e do ar no solo e oferecendo maior resistência ao crescimento das raízes. Este processo aumenta a taxa de difusão dos nutrientes no solo e, com isto, aumenta a retirada de nutrientes por unidade de comprimento de raiz. Porém a retirada total de nutrientes é reduzida pelo menor

crescimento das raízes.

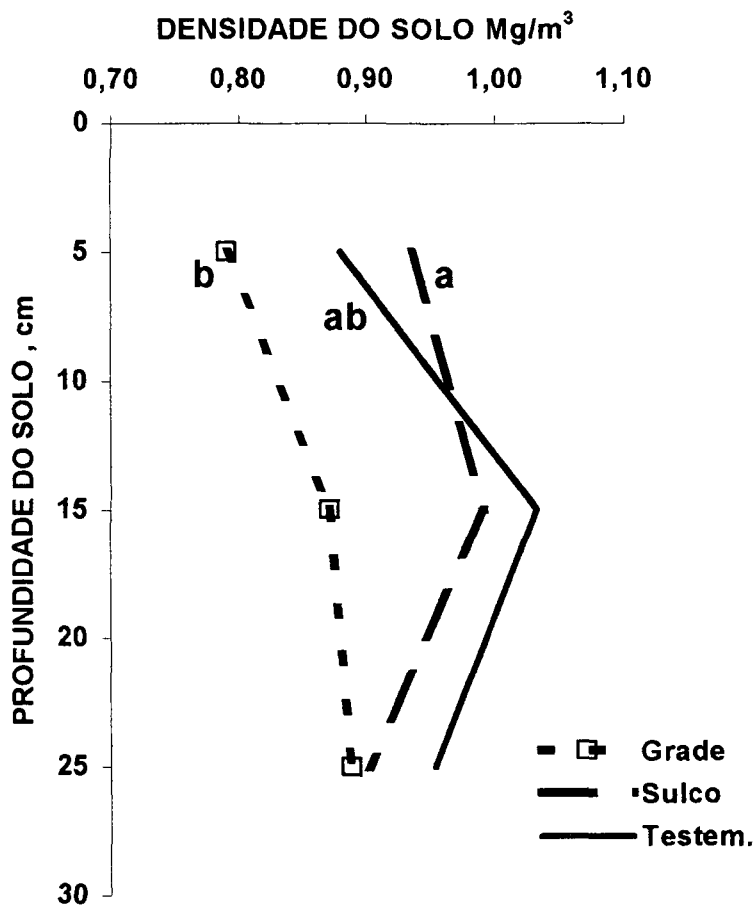
A adubação durante o crescimento da segunda rotação ou mesmo pouco antes do corte é relatada por BAENA et al., (1983) em um estudo testando diferentes dosagens de fertilizantes, concluindo que o melhor tratamento foi a aplicação de 400g de NPK (10-34-06) em sulco, na entrelinha, antes do corte, propiciando um maior crescimento na altura média das brotações. Também SIMÕES (1983) citado por OLIVEIRA et al. , (1994) considera que a fertilização com NPK deve ser feita de preferência, imediatamente antes do corte da árvore em sulco na entrelinha. STAPE et al., (1993) explicam que a brotação de *Eucalyptus grandis* aos quatro anos de idade, respondeu à fertilização passando de 100m³/ha para 130 m³/ha quando se utilizou NPK e calcário pós desbrota.

4.2 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

4.2.1 Densidade do Solo

O gráfico 1 mostra a variação da densidade para os três tratamentos nas três profundidades para o Latossolo Vermelho, de textura argilosa.

GRÁFICO 1 - DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, EM PROFUNDIDADE, EM SÃO MIGUEL ARCANJO -1998



NOTA: As letras diferentes mostram diferenças significantes entre os tratamentos pelo Teste de Tukey 5%.

No solo de textura argilosa, os resultados obtidos na análise desta variável, cujas amostras foram coletadas à 50 cm da linha de plantio, apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey 5 %, apenas para a profundidade de 0 - 10 cm, onde a gradagem apresentou os menores valores médios e a sulcagem mostrou valores pouco acima da testemunha. O quadro da análise da variância para este parâmetro encontra-se no anexo 1.

Os resultados obtidos para a grade também tendem a ser menores nas profundidades de 10 - 20 cm e de 20 - 30 cm em relação à sulcagem e a testemunha, sendo que os resultados obtidos para a testemunha foram os maiores nestas profundidades.

Aumentos na densidade do solo considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas, dependem da textura do solo e também do sistema radicular de cada espécie. Valores de densidade superiores à $1,49 \text{ Mg/m}^3$ em solos argilosos começam a apresentar restrições ao desenvolvimento das plantas e a partir de $1,58 \text{ Mg/m}^3$ tornam-se uma condição limitante para as raízes (USDA, 1999). CAMARGO (1997) considera valores críticos para solos de textura franco-argilosa à argilosa valores de $1,55 \text{ Mg/m}^3$. Para espécies florestais de rápido crescimento, GENT et al., (1984) consideram que valores de densidade de $1,4 \text{ Mg/m}^3$ em solos de textura argilosa na profundidade de 0 - 15 cm, são limitantes sendo que para a profundidade de 10 - 25 cm quando os valores se aproximam de $1,8 \text{ Mg/m}^3$ o crescimento de raízes cessa. Nenhum valor de densidade obtido nesta área se aproximou dos níveis críticos, considerados na literatura, inclusive a testemunha que representa os efeitos da colheita, não tendo nenhum revolvimento do solo.

Um fator importante a ser considerado é o sistema de colheita adotado na área que corresponde ao solo argiloso, ou seja, sistema de madeira curta onde uma maior quantidade de resíduos é mantida na superfície do solo do que no sistema de madeira

longa, onde pelo arraste das árvores inteiras a serapilheira também é removida, e o desgalhamento é feito em um pátio fora da área de corte.

Os menores valores de densidade do solo foram encontrados na camada de 0-10 cm, nos três tratamentos, com valores médios variando de 0,79 Mg/m³ à 1,04 Mg/m³. Estes valores são compatíveis aos encontrados por DEDECEK & GAVA (1997) para a mesma classe textural e uso do solo, com valores variando entre 1,06 Mg/m³ à 1,12 Mg/m³ na profundidade de 0 - 10 cm para 1,08 à 1,28 Mg/m³ na camada entre 10 - 20 cm. Sendo que na camada de 20 - 30 cm, os valores obtidos também são inferiores aos obtidos na camada superficial.

A explicação para os resultados menores na camada superficial se deve à manutenção da galhada e resíduos da colheita sobre a área. Em áreas florestais estes resíduos formam uma camada contínua sobre o solo, desta forma, aumentam a área de contato efetivo das rodas ou esteiras diminuindo o impacto causado e com isto reduzem a compactação da camada superficial do solo. Métodos tradicionais de corte e desbaste de florestas conduzem a um considerável aumento de resíduos de madeira, os quais decompõem-se lentamente, sendo que este material tem o efeito de proteger a superfície do solo do maquinário pesado (SOANE, 1990). STAPE et al., (1993) apontam que a compactação das linhas onde foi utilizado o *forwader* com a conseqüente queda na produtividade da segunda rotação pode ser minimizada se o tráfego das máquinas for realizado sobre 50 a 100% das galhadas geradas na colheita. Os autores, constataram a redução da compactação com a movimentação das máquinas sobre 50% das galhadas depositadas nestas linhas.

Outro aspecto que pode ser considerado, é a influência da matéria orgânica, sempre maior na superfície, considerando ainda que o primeiro corte é efetuado depois do sétimo ano do plantio acrescentando ao solo muito material orgânico que favorece a

recuperação parcial do solo. MELO et al., (1984) explicam que por ser pouco densa em relação aos minerais do solo e por favorecer a formação de grânulos, a matéria orgânica reduz a densidade aparente do solo. Nos solos argilosos, a matéria orgânica ocupa importante papel na recuperação do solo, uma vez que a plasticidade e a pegajosidade, deste tipo de solo, são atenuadas tornando-os facilmente trabalháveis quando úmidos (PAULA et al., 1998). Também, BALL et al., (1988) afirmam que os aumentos nos teores de matéria orgânica provocaram decréscimo na densidade de dois inceptissolos cultivados há vários anos.

Para a profundidade de 10 - 20 cm, os resultados da análise desta variável para os três tratamentos, de uma maneira geral, foram sempre os maiores. FERNANDES & VITÓRIA (1998) obtiveram os mesmos resultados avaliando os efeitos de máquinas sobre um Latossolo Vermelho, textura argilosa, na colheita florestal encontrando valores de 0,97 à 1,09 Mg/m³ de densidade do solo na camada entre 15 e 30 cm, resultados superiores aos valores encontrados na camada superficial, ao redor de 0,97 Mg/m³ à 1,03 Mg/m³. Também na profundidade de 30 - 50 cm os valores obtidos foram menores em relação a profundidade de 15 - 30 cm .

A grade pesada, normalmente é usada quando existem condições desfavoráveis para o preparo do solo, tais como: altas infestações de ervas daninhas e grandes quantidades de resíduos (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984). Alguns autores questionam o uso de grades para descompactação de solo, afirmando que este implemento oferece resultados eficientes até os 10 cm de profundidade, podendo provocar adensamentos ainda maiores, em função da pressão que exercem sobre os solos (RAB, 1998). Outros como GENT et al., (1984) concluem que a grade é eficiente na restauração da densidade na superfície entre 0 -15 cm de profundidade.

No Latossolo de textura argilosa em estudo, para os três tratamentos e para as

três profundidades, a gradagem teve os menores valores de densidade. O tratamento da sulcagem apresentou valores de densidade maiores que a gradagem, provavelmente, em função do menor grau de desagregação do solo promovido por este tratamento.

As análises feitas para avaliação desta variável, no Latossolo Amarelo, de textura média, não mostraram diferenças significativas em nenhuma das três profundidades (gráfico 2). Os valores de densidade, no geral, são maiores que os encontrados no solo argiloso, fato este devido à predominância de areia existente no solo de textura média. A testemunha, sem nenhuma intervenção, apresentou as menores densidades para as profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm. Na profundidade de 20 - 30 cm, a média dos valores obtidos foi a mesma da gradagem, no entanto menor que a da sulcagem.

O corte, desgalhamento e traçamento da madeira no solo de textura média, foi realizado com motosserra e o baldeio com trator agrícola e carreta de um eixo, o que não deveria gerar maiores densidades, como mostraram os dados obtidos para esta área, em função da menor quantidade de tráfego sobre a mesma. CAMARGO (1997) considera que para solos arenosos à franco-arenosos, os valores críticos de densidade estão em torno de $1,85 \text{ Mg/m}^3$ ocorrendo então a restrição ao desenvolvimento radicular quando os solos estiverem na capacidade de campo.

A profundidade de 0 - 10 cm em todos os tratamentos, foi a que apresentou as menores densidades. Deve-se considerar, que também nesta área, o resíduo permanece no local do corte reduzindo o impacto do peso das máquinas do baldeio sobre o solo e que normalmente as camadas superficiais do mesmo apresentam mais matéria orgânica do que em profundidade. Para os solos com maiores teores de areia, a manutenção da matéria orgânica influencia no aumento da retenção da água no solo, principalmente na superfície onde encontram-se a maioria dos nutrientes. Além disso, a matéria orgânica nestes

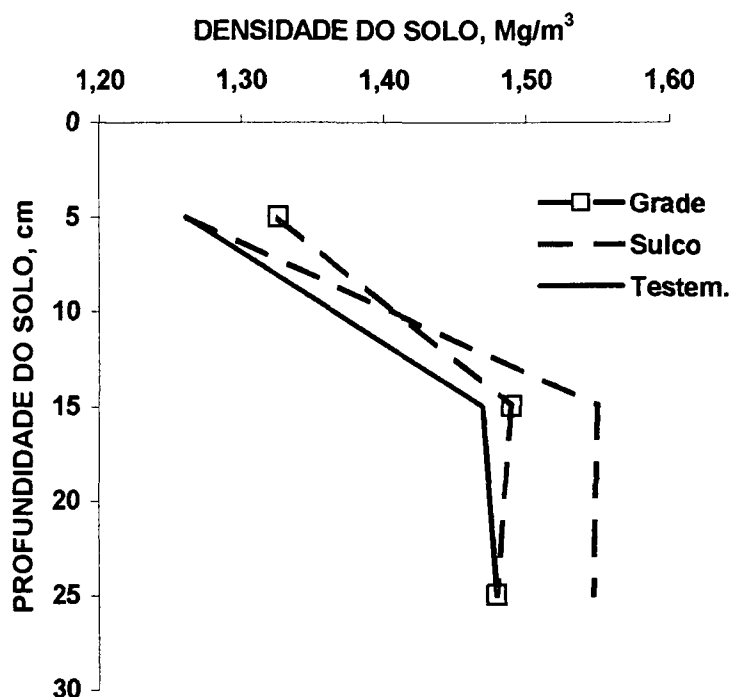
solos é indispensável favorecendo a atuação dos microorganismos na estabilização dos agregados (BARBOSA et al., 1998).

Neste solo, as maiores densidades obtidas foram encontradas na camada de 10 - 20 cm, mantendo estes valores até a profundidade de 20 - 30 cm, oscilando entre 1,48 Mg/m^3 à 1,55 Mg/m^3 . Resultados compatíveis com os obtidos por DEDECEK & GAVA (1997) analisando o impacto da colheita mecanizada em Areia Quartzosa, onde os maiores valores de densidade concentraram-se na profundidade de 20 - 30 cm, encontrando - se em torno de 1,55 à 1,66 Mg/m^3 .

A profundidade de 10 - 20 cm foi a mais afetada na avaliação da densidade do solo de textura média, apresentando os valores mais elevados e mantendo - os até a profundidade entre 20 - 30 cm. A gradagem mostrou valores pouco superiores à testemunha nestas duas profundidades, este aumento pode ser atribuído à própria pressão do rodado do trator e dos discos, mas o acréscimo na densidade não resultou em valores considerados críticos. A sulcagem, embora tenha apresentado os menores resultados de densidade na camada superficial, apresentou os maiores para profundidade de 10-20 a 20-30 cm. A operação de sulcagem neste solo, forçou muito o trator, mostrando-se inadequada para ocorrer em escala operacional, devido à destoca dos tocos antigos e por não descompactar os pontos mais críticos localizados, onde as rodas traseiras do trator estavam rodando. Também deve-se considerar o menor grau de desagregação do solo nesta operação.

O gráfico 2, ilustra o comportamento da densidade do solo de textura média em profundidade, para a região de Itatinga.

GRÁFICO 2 - DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA , EM PROFUNDIDADE, EM ITATINGA -1998



4.2.2 Porosidade Total do Solo

Para o Latossolo de textura argilosa em São Miguel Arcanjo, este parâmetro mostrou diferenças significativas, (tabela 3) na profundidade de 0 - 10 cm entre os três tratamentos, em função do revolvimento do solo obtido pela grade na superfície. O quadro da análise da variância para este parâmetro encontra-se no anexo 2.

O revolvimento pela grade obteve os maiores resultados de porosidade total tendo comportamento muito semelhante à sulcagem na profundidade de 10 - 20 cm. Os dois tratamentos de preparo do solo mostraram em geral, resultados de porosidade total mais elevados sendo que a sulcagem mostrou valores pouco inferiores aos da gradagem

da mesma maneira que a densidade na análise anterior.

No Latossolo Amarelo de textura média, os resultados obtidos para avaliação deste parâmetro não mostraram diferenças estatisticamente significativas quando os valores médios foram submetidos ao teste de Tukey 5%, entre os três tratamentos, nas profundidades avaliadas: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 cm, (tabela 3) no entanto os resultados obtidos para esta variável mostraram um comportamento diferenciado, de acordo com os tratamentos aplicados. Normalmente, os valores de porosidade total são menores que os obtidos para o solo argiloso. Isto deve-se a diferença de textura dos solos sendo que o de textura média apresenta maiores teores de areia e em função do arranjo destas partículas sólidas a porosidade total tende a ser menor.

De acordo com PREVEDELLO (1996) os solos diferem muito em porosidade, alguns valores comumente encontrados em solos arenosos variam entre 0,35 - 0,50 m^3/m^3 enquanto que, para solos argilosos oscilam entre 0,40 - 0,65 m^3/m^3 . MARTINS et al., (1998) analisando o impacto da exploração madeireira em atributos físicos do solo, obteve variações de 0,59 m^3/m^3 à 0,65 m^3/m^3 em Latossolo Roxo, sendo que os menores valores foram encontrados na área de trilha das máquinas, comprovando que a redução na porosidade total é um indicativo de que o tráfego das máquinas, afeta também este parâmetro.

4.2.3 Macroporosidade e Microporosidade

Os valores calculados para macro e microporosidade também foram submetidos a análise estatística, com a finalidade de avaliar seu comportamento para os três tratamentos nas três profundidades em que foram avaliados os parâmetros anteriores . Os macroporos são os mais importantes para drenagem do excesso de água do solo, após ocorrência de fortes chuvas ou inundações, sendo que são eles que afetam a aeração e drenagem. Nos microporos, fica retida parte desta água remanescente que garante a sobrevivência de muitas espécies vegetais (PREVEDELLO, 1996).

Não foram obtidas diferenças significativas para estas variáveis, entre os três tratamentos no solo de textura argilosa, em São Miguel Arcanjo (tabela 3). Os solos argilosos, apresentam uma maior microporosidade em relação aos de textura média e arenosa. No solo de textura argilosa percebe-se a porcentagem de macroporos, bastante inferior a de microporos. Os valores de microporosidade, foram pouco diferenciados em todos os tratamentos, sendo maiores na profundidade de 10 - 20 cm.

Também no solo de textura média, em Itatinga, as diferenças para a macro e microporosidade não foram estatisticamente significativas. Neste solo, os resultados de macroporosidade foram, em geral, maiores quando comparados com solos de textura argilosa. Os solos com maiores teores de areia, tendem a ter um número maior de macroporos. Já a microporosidade para o solo de textura média apresentou resultados muito semelhantes, em geral, para os três tratamentos e as três profundidades, manifestando os valores mais elevados na profundidade de 10 - 20 cm, para os tratamentos da gradagem e sulcagem. A testemunha no geral apresentou as menores porcentagens de microporos, sendo que a sulcagem e a gradagem apresentaram um comportamento semelhante em relação a esta variável.

A tabela 3, apresenta os valores médios de porosidade total, macro e microporosidade obtidos para os dois solos, em todas as profundidades e tratamentos avaliados.

TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE OBTIDOS À 50 cm DA LINHA DE PLANTIO, NAS TRÊS PROFUNDIDADES PARA TODOS OS TRATAMENTOS NOS DOIS SOLOS DE TEXTURAS DISTINTAS, 1998

SOLO	TRAT.	PROF. cm	POROSIDADE	MACRO	MICRO
			TOTAL	POROS	POROS
			%	%	%
Textura Média	TESTE.	0 a 10	54,94a	26,67a	28,00a
	GRADAGEM		52,62a	23,75a	29,00a
	SULCAGEM		54,91a	26,27a	29,00a
	TESTE.	10 a 20	45,48a	17,88a	28,00a
	GRADAGEM		44,72a	14,33a	30,00a
	SULCAGEM		42,52a	12,89a	30,00a
	TESTE.	20 a 30	48,86a	21,98a	27,00a
	GRADAGEM		48,95a	22,52a	26,00a
	SULCAGEM		46,64a	18,29a	28,00a
Textura Argilosa	TESTE.	0 a 10	66,15ab	18,31a	48,00a
	GRADAGEM		69,55a	24,75a	45,00a
	SULCAGEM		64,01b	16,13a	48,00a
	TESTE.	10 a 20	62,03a	12,78a	50,00a
	GRADAGEM		63,68a	14,23a	49,00a
	SULCAGEM		63,83a	15,35a	50,00a
	TESTE.	20 a 30	64,66a	15,20a	46,00a
	GRADAGEM		67,09a	20,81a	49,00a
	SULCAGEM		66,58a	20,39a	46,00a

NOTA: Tratamentos seguidos pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey à 5 %

Para permitir a comparação nos dois locais corrigiu-se a porcentagem de macro e microporos para 100%, sendo possível determinar quanto da porosidade total é composta pelos dois tamanhos de poros. Nota-se observando a tabela 4, que no solo de

textura média, até as profundidades avaliadas, as porcentagens de macro e microporos apresentam-se quase que na mesma proporção em praticamente todos os tratamentos, podendo-se dizer que uma redução na macroporosidade deste solo poderia ser favorável considerando a capacidade de retenção de água deficiente neste tipo de solo. A tabela 4 mostra as diferenças entre os valores de macro e microporosidade para as duas áreas experimentais.

TABELA 4 - POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE RELATIVAS DOS DOIS SOLOS, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998

solo	Prof.cm	Testemunha			Grade			Sulco		
		Porosidade rel. %			Porosidade rel. %			Porosidade rel. %		
		Total	Macro	Micro	Total	Macro	Micro	Total	Macro	Micro
Textura Argilosa	0 a 10	66,3	27,6	72,4	69,7	35,4	64,6	64,1	25,1	74,9
	10 a 20	62,8	20,4	79,6	63,2	22,5	77,5	65,3	23,4	76,6
	20 a 30	61,2	24,8	75,2	69,9	29,8	70,1	66,4	30,7	69,3
Textura média	0 a 10	54,7	48,8	51,2	52,7	45,0	55,0	55,3	47,6	52,4
	10 a 20	45,9	39,0	61,0	44,3	32,3	67,7	42,9	30,1	69,9
	20 a 30	49,0	44,9	55,1	48,5	46,4	53,6	46,3	39,5	60,5

Para o solo argiloso os valores de macroporosidade encontram-se em média em torno de 25 % menores do que no arenoso, naturalmente em função da textura, mesmo assim percebe-se que a testemunha, sem preparo do solo, manifesta os menores resultados.

4.2.4 Porosidade de Aeração

Os valores calculados para este parâmetro também foram submetidos à análise estatística com a finalidade de avaliar seu comportamento nos diferentes tratamentos e nas três profundidades. Esta variável foi determinada a partir dos dados da umidade volumétrica na capacidade de campo (10kPa), assumindo que esta corresponde ao teor de umidade retido no solo depois que o excesso de água gravitacional tenha sido drenado e o movimento descendente de água tenha decrescido de modo significativo (MONIZ, 1972).

PREVEDELLO (1996) considera que a porosidade de aeração não deve ser menor que 10 a 15%, principalmente dentro de dois a três dias, após ocorrer chuva ou irrigação. GRABLE (1971) aponta valores acima de 25% como boas condições de aeração, sendo que valores estabelecidos entre 25 e 10% podem ser limitantes e abaixo de 10% poderá ocorrer a deficiência de aeração.

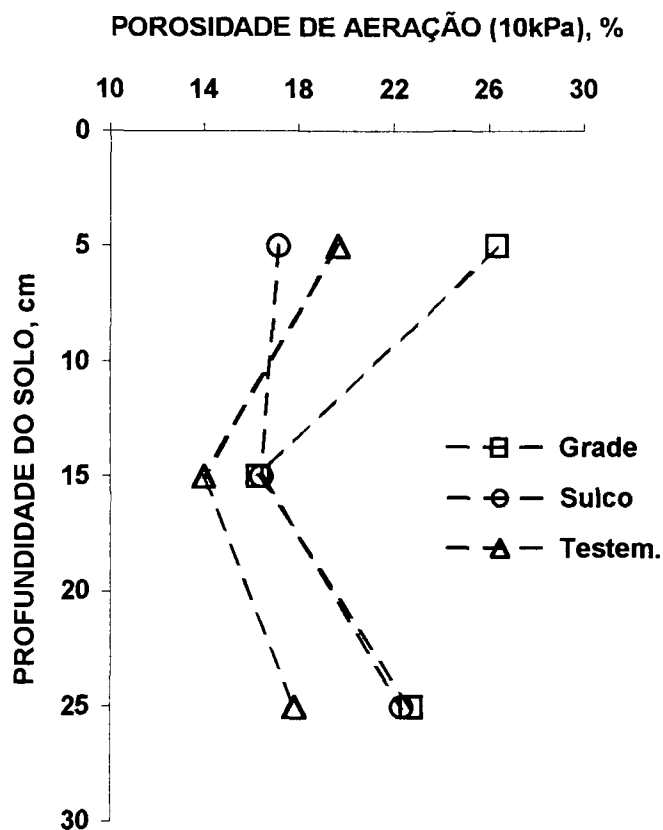
No solo argiloso o cálculo para porosidade de aeração, na tensão de 10 kPa não mostrou diferenças significativas entre os três tratamentos nas três profundidades.

Os valores obtidos para esta variável, para cada tratamento e profundidade correspondem aos valores obtidos para os parâmetros anteriores de porosidade total e densidade do solo. De forma geral, nenhum dos tratamentos mostrou valores críticos, ou seja, menores que 10% nos valores médios, no entanto algumas amostras dentro do tratamento de sulcagem e na testemunha apresentaram valores pouco abaixo deste. Embora muitos dos valores médios de porosidade de aeração estejam próximos à níveis considerados críticos, entre 10 e 15% a porosidade total não apresentou resultados considerados limitantes ocasionando restrições ao desenvolvimento das plantas. Uma explicação para isto, segundo PREVEDELLO (1996) é que quando a intensidade de compactação não é muito grande, a quantidade de poros de tamanho intermediário pode

ser aumentada, tendo conseqüentemente aumento na retenção de água nas tensões intermediárias, embora os poros internos dos agregados possam permanecer inalterados.

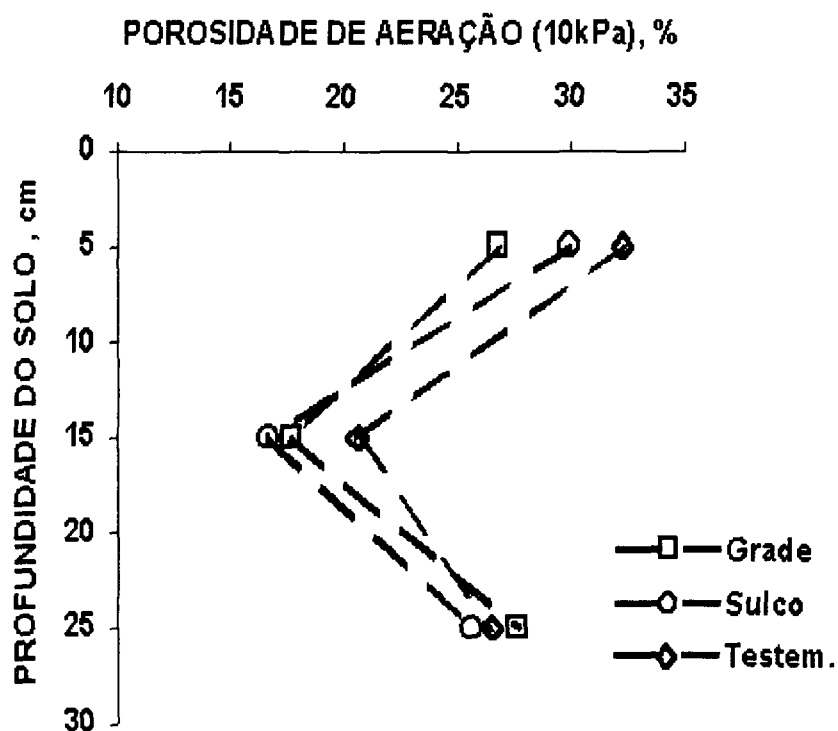
O gráfico 3 ilustra as variações ocorridas na avaliação desta variável, onde percebe-se que os resultados obtidos para a testemunha entre 10 e 20 cm são os que mais se aproximam dos valores considerados limitantes ao bom desenvolvimento das plantas.

GRÁFICO 3 - POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO ARGILOSO, EM PROFUNDIDADE, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998



O gráfico 4, ilustra as variações ocorridas na avaliação desta variável para o solo de textura média.

GRÁFICO 4 - POROSIDADE DE AERAÇÃO NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM PROFUNDIDADE, PARA OS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO, ITATINGA - 1998



No solo de textura média os resultados para o cálculo da porosidade de aeração na tensão de 10 kPa, também não mostraram diferenças significativas entre os três tratamentos e as três profundidades avaliadas. A profundidade entre 10 - 20 cm no geral, mostrou os menores valores para todos os tratamentos, concordando com as outras

variáveis anteriormente analisadas nesta mesma profundidade. Percebe-se que no tratamento da sulcagem os valores médios obtidos são os que mais se aproximam dos valores tidos como críticos, no entanto este tratamento, bem como a testemunha, apresentaram os maiores incrementos de crescimento em altura e DAP nas avaliações dendrométricas executadas na área do solo de textura média. Esta situação pode estar relacionada ao fato de que uma menor aeração gerada por uma compactação de pouca intensidade favorece um maior conteúdo de água retido no solo de textura média apresentando efeitos positivos. Outro aspecto que pode ser considerado é a menor desagregação do solo na operação da subsolagem apresentando conseqüentemente menor porosidade de aeração.

4.2.5 Conteúdo de Água na Saturação (%)

Os gráficos 5 e 6 mostram o comportamento dos três tratamentos em relação ao conteúdo de umidade na saturação, nos dois tipos de solo. Os dados obtidos na avaliação do conteúdo de água na saturação também foram submetidos à análise estatística sem nenhuma diferença significativa entre os três tratamentos e nas três profundidades.

O solo de textura argilosa, apresentou valores maiores de umidade em relação ao solo de textura média. No solo de textura argilosa, a testemunha apresentou os menores valores em todas as profundidades, o que concorda com os valores de porosidade total, também menores, quando esta variável foi avaliada anteriormente. A gradagem apresentou valores pouco diferenciados em relação à sulcagem, mas ambos os tratamentos foram superiores à testemunha.

O solo de textura média, apresentou os maiores valores na saturação para a gradagem nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm. A testemunha e a sulcagem na profundidade de 0-10 cm apresentaram praticamente os mesmos valores, sendo que para

as profundidades de 10-20 e 20-30 cm a testemunha foi um pouco maior.

De acordo com PREVEDELLO (1996) a capacidade de retenção de água para os solos com maiores teores de areia é mais baixa, normalmente, perdem quase toda água, já no processo inicial de secagem, liberando quantidades menores de umidade entre tensões intermediárias e altas. Já os solos argilosos, em função da sua porosidade total maior e mais uniforme, apresentam os maiores valores de água na saturação ou próximo dela, declinando de maneira suave e gradativa com aumento da tensão.

GRÁFICO 5 - CONTEÚDO DE UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO NA SATURAÇÃO, PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA NOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.

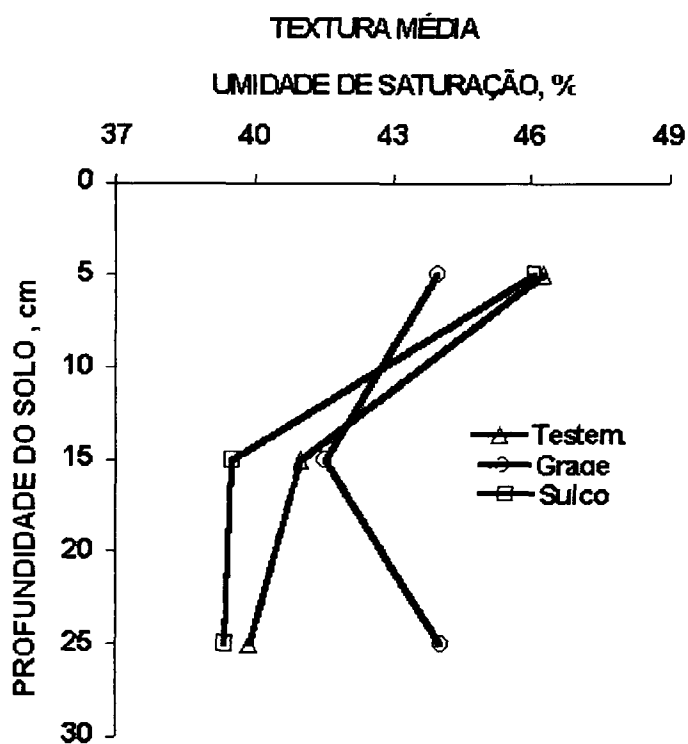
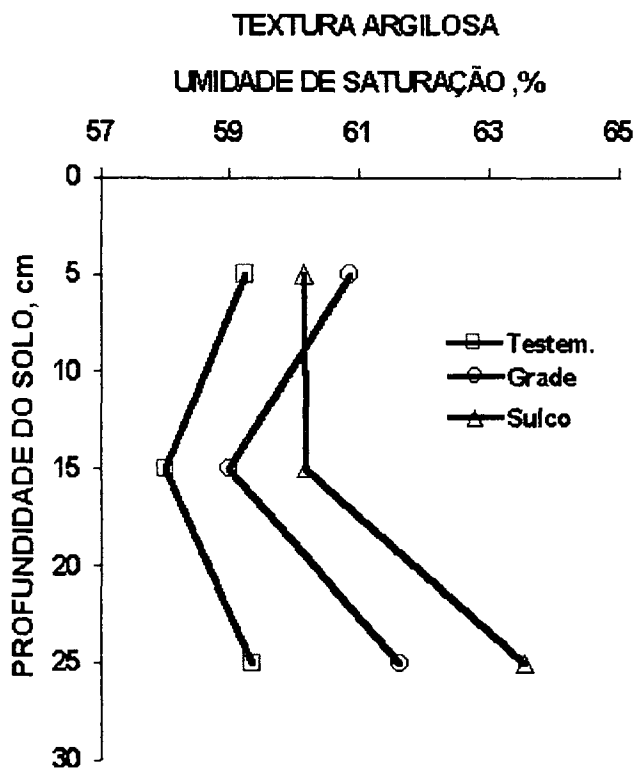


GRÁFICO 6 - CONTEÚDO DE UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO NA SATURAÇÃO, PARA O SOLO DE TEXTURA ARGILOSA NOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998



4.2.6 Conteúdo de Água no Solo

As seqüências dos gráficos 7 e 8 demonstram o comportamento da retenção de água no solo para os três tratamentos, em todas as profundidades, nas sete tensões avaliadas, para as duas áreas experimentais. Os dados obtidos na determinação da umidade volumétrica do solo, nas sete tensões observadas em laboratório, para as duas áreas foram submetidos à análise estatística e não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos nas três profundidades avaliadas.

No solo de textura argilosa, na profundidade de 0 - 10 cm, a gradagem apresentou os menores valores de umidade volumétrica em função do revolvimento superficial favorecendo uma maior evaporação de água, lembrando que este tratamento também manifestou a menor porcentagem de microporos nesta profundidade.

Neste solo em todos os tratamentos, a profundidade de 10 - 20 cm em geral, foi a que apresentou as maiores porcentagens de umidade. Este fato pode ser justificado pela boa porcentagem de microporos existente neste solo, uma vez que o acréscimo de densidade, não sendo crítico, tenha sido responsável pelo aumento da microporosidade, conseqüentemente retendo mais água no solo.

A gradagem, em geral, teve os resultados menores de umidade volumétrica, concordando com os maiores valores de macroporosidade, na análise deste parâmetro anteriormente analisado. A profundidade de 20 - 30 cm teve comportamento semelhante à profundidade de 10 - 20 cm.

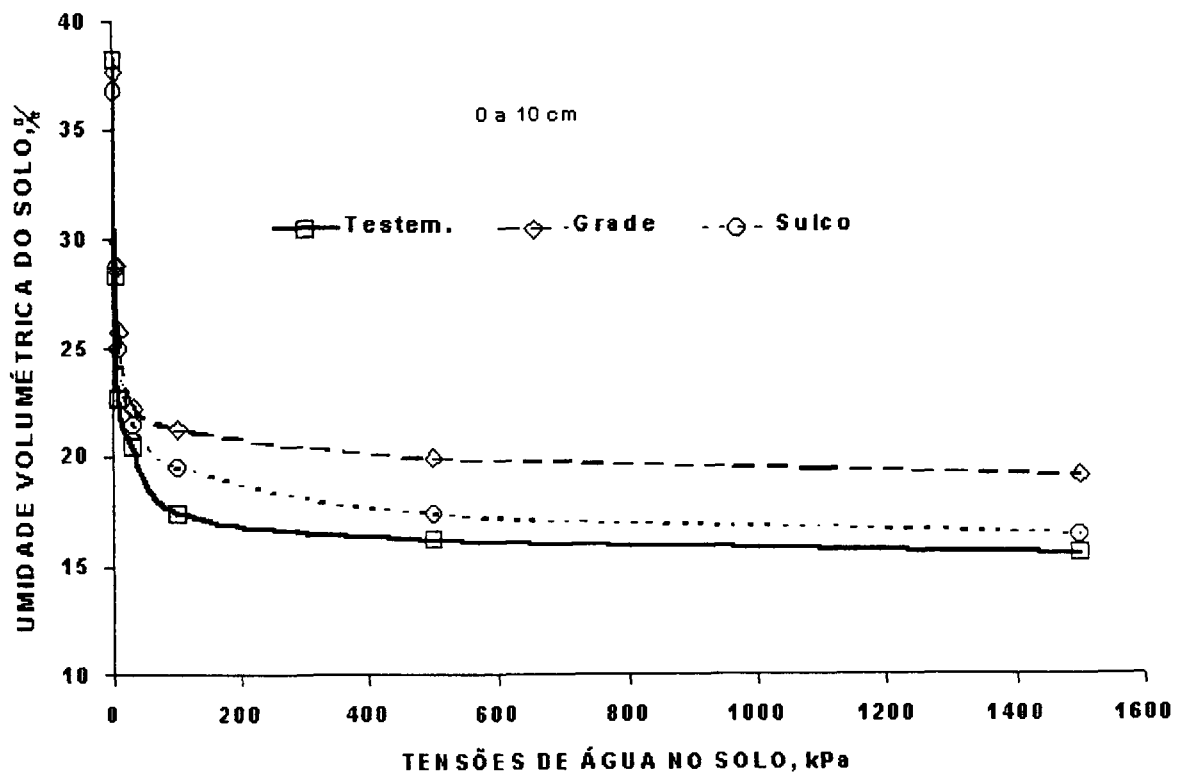
No solo de textura média, em função da maior macroporosidade, em geral, os resultados de umidade volumétrica foram menores do que para o solo de textura argilosa. Este fato demonstra o grande problema deste solo com relação à água disponível, e que uma redução na macroporosidade poderia beneficiá-lo.

Na camada superficial, as menores densidades do solo concordaram com teores de água mais elevados. Na profundidade entre 10 - 20 cm, todos os tratamentos apresentaram um maior conteúdo de água. Esta profundidade manifestou valores maiores de densidade do solo, o que normalmente sugere uma redução na retenção de água, no entanto a quantidade de microporos evidenciada neste solo justifica este comportamento. Desta forma, a necessidade do preparo de solo de textura média, na condição de estudo, pode ser questionada considerando que um leve acréscimo na densidade do solo, longe de níveis críticos obviamente, poderia ser favorável considerando que a capacidade de

armazenamento de água nestes solos normalmente é precária.

A profundidade entre 20 - 30 cm, manifestou valores pouco menores de conteúdo de água não apresentando comportamento muito diferenciado entre os três tratamentos.

GRÁFICO 7 - CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM TODAS AS TENSÕES AVALIADAS, NAS TRÊS PROFUNDIDADES E TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998



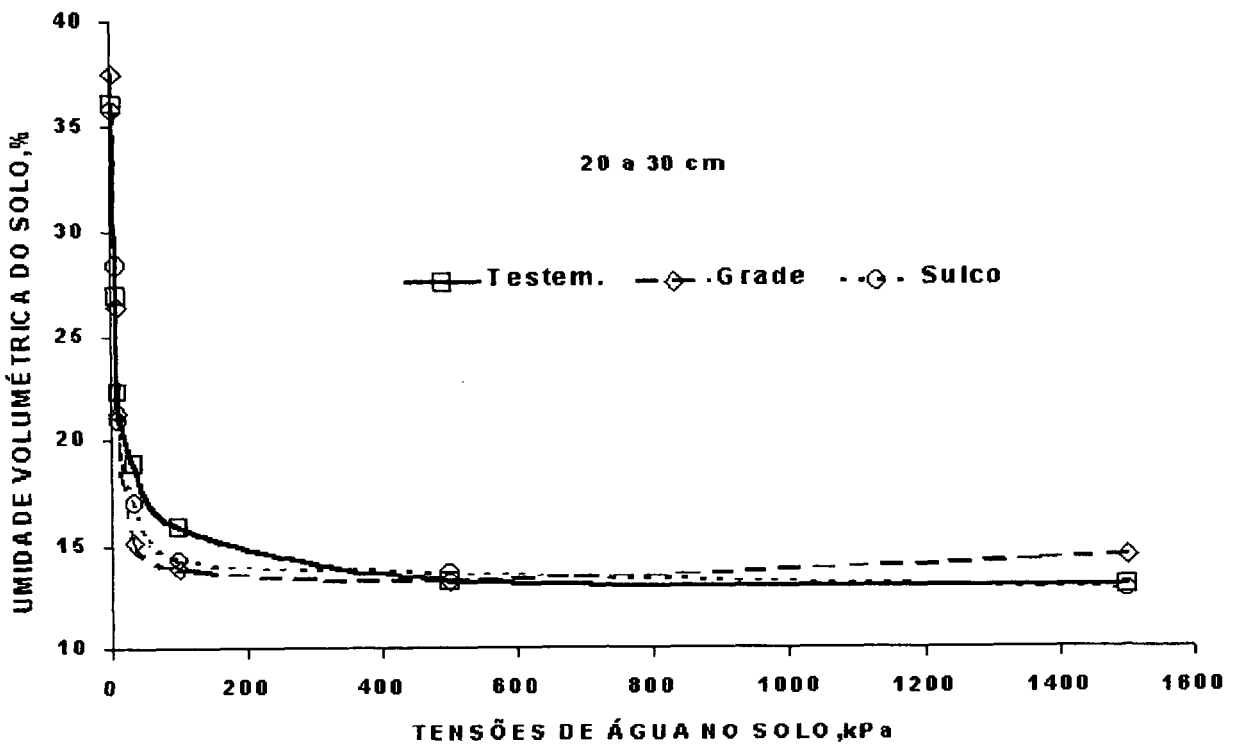
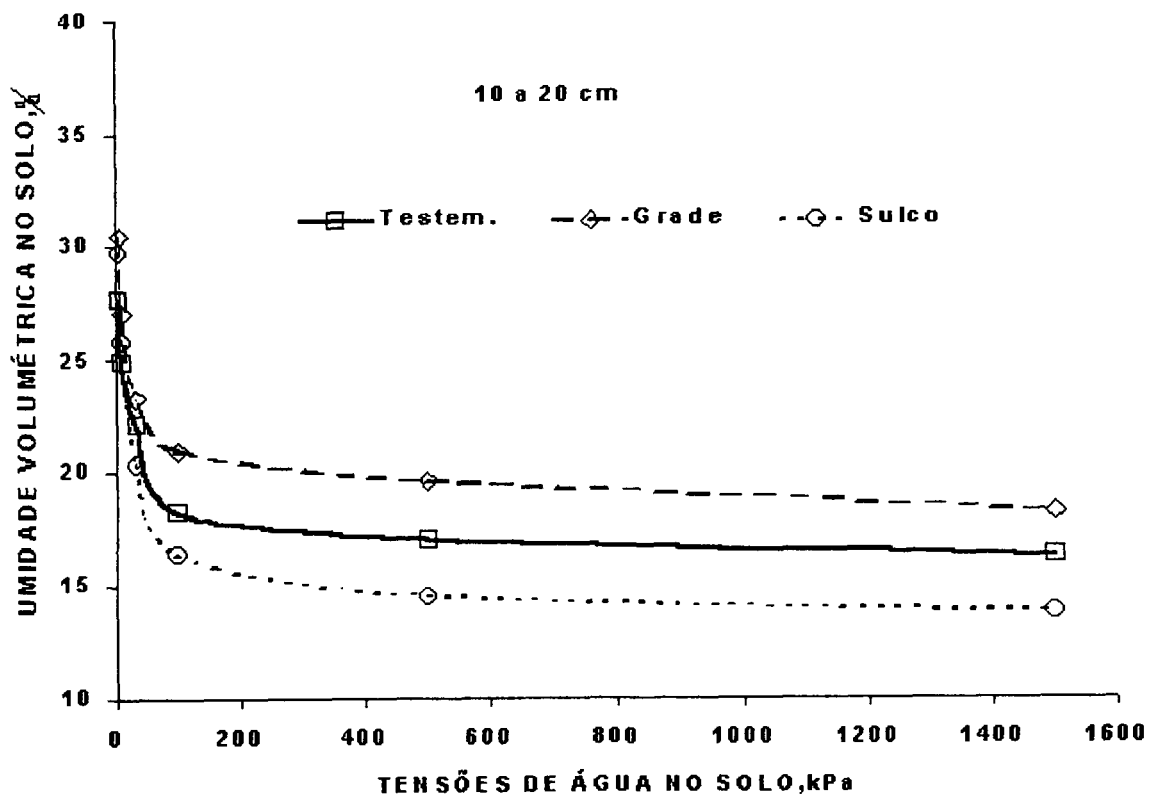
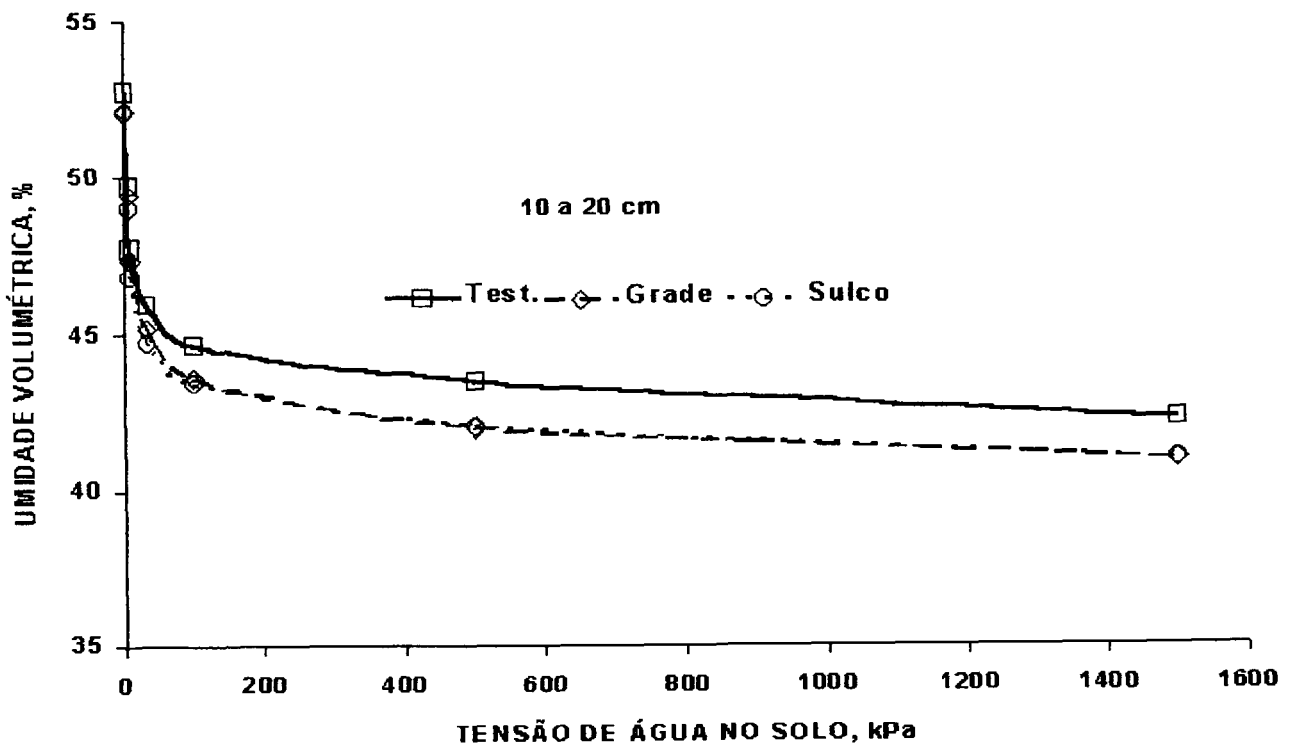
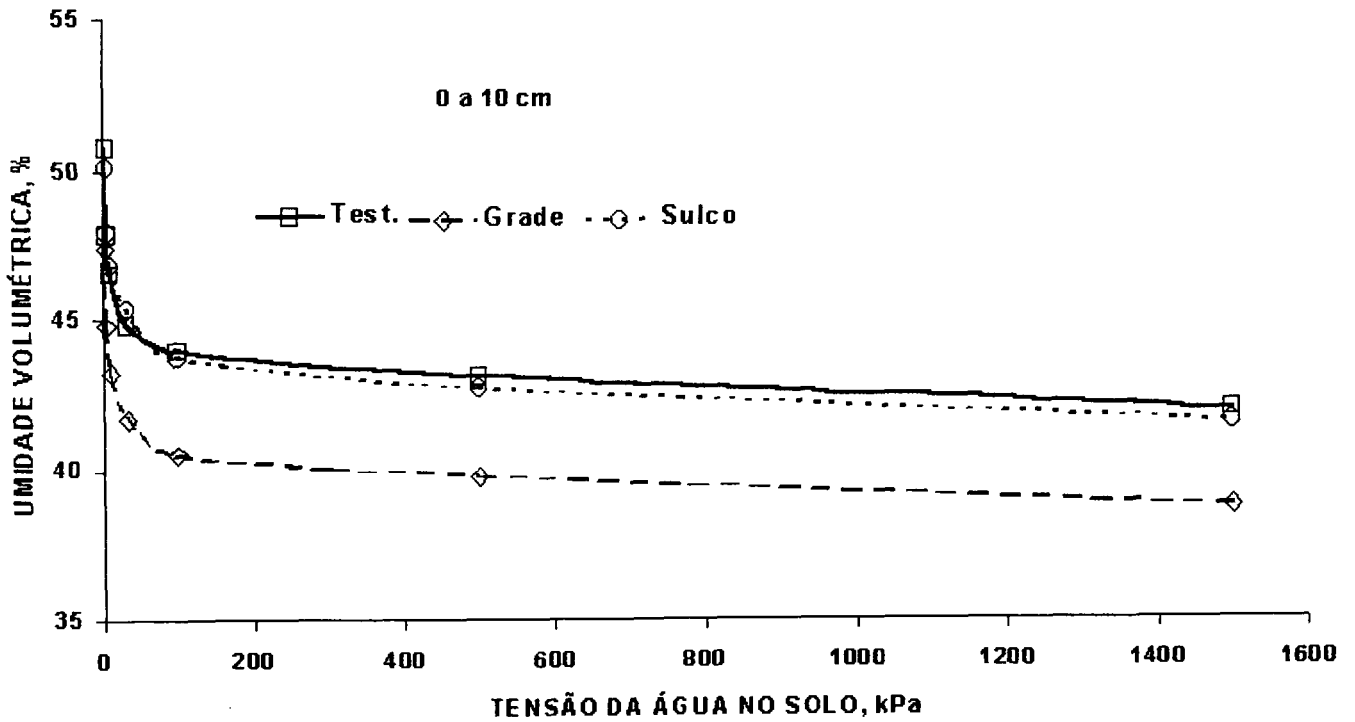
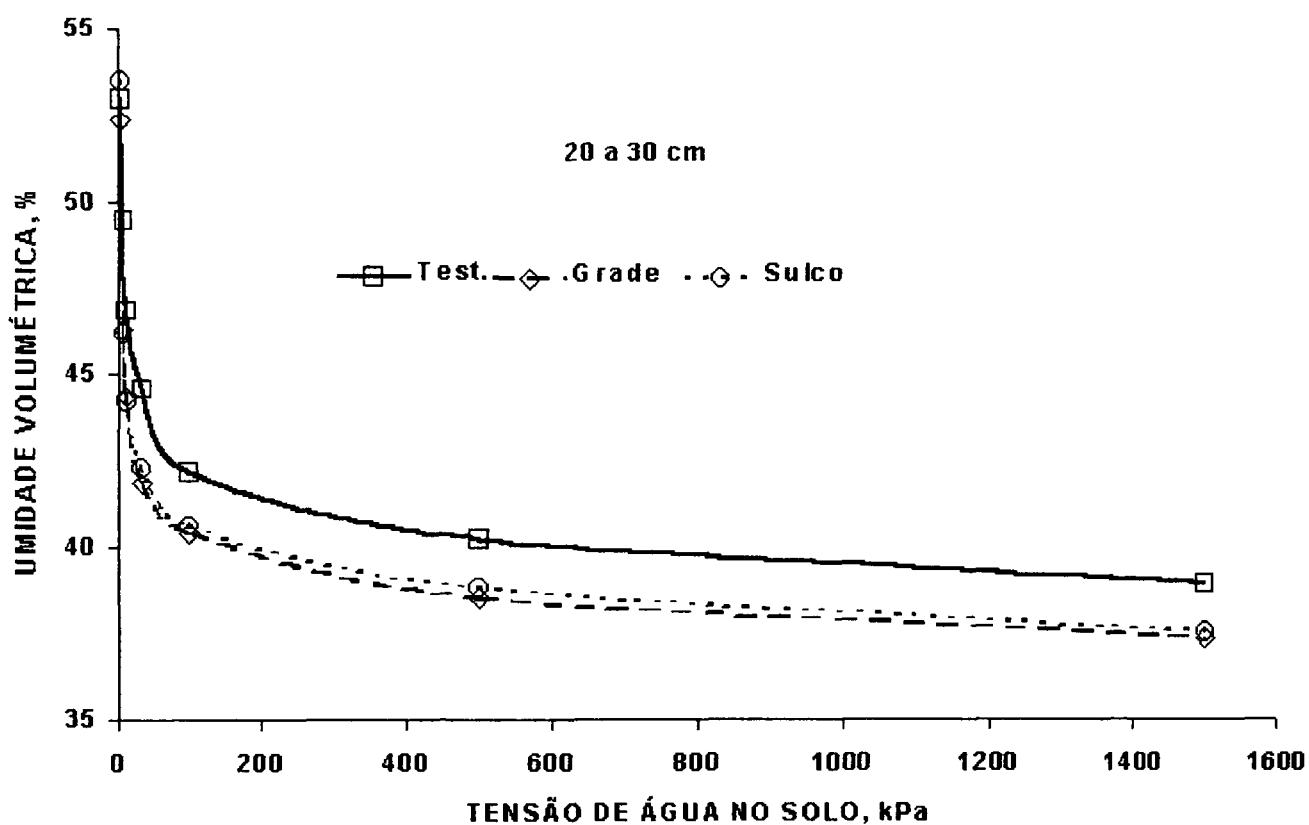


GRÁFICO 8 - CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, EM TODAS AS TENSÕES AVALIADAS, NAS TRÊS PROFUNDIDADES E TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO - 1998.





4.2.7 Resistência Mecânica do Solo à Penetração

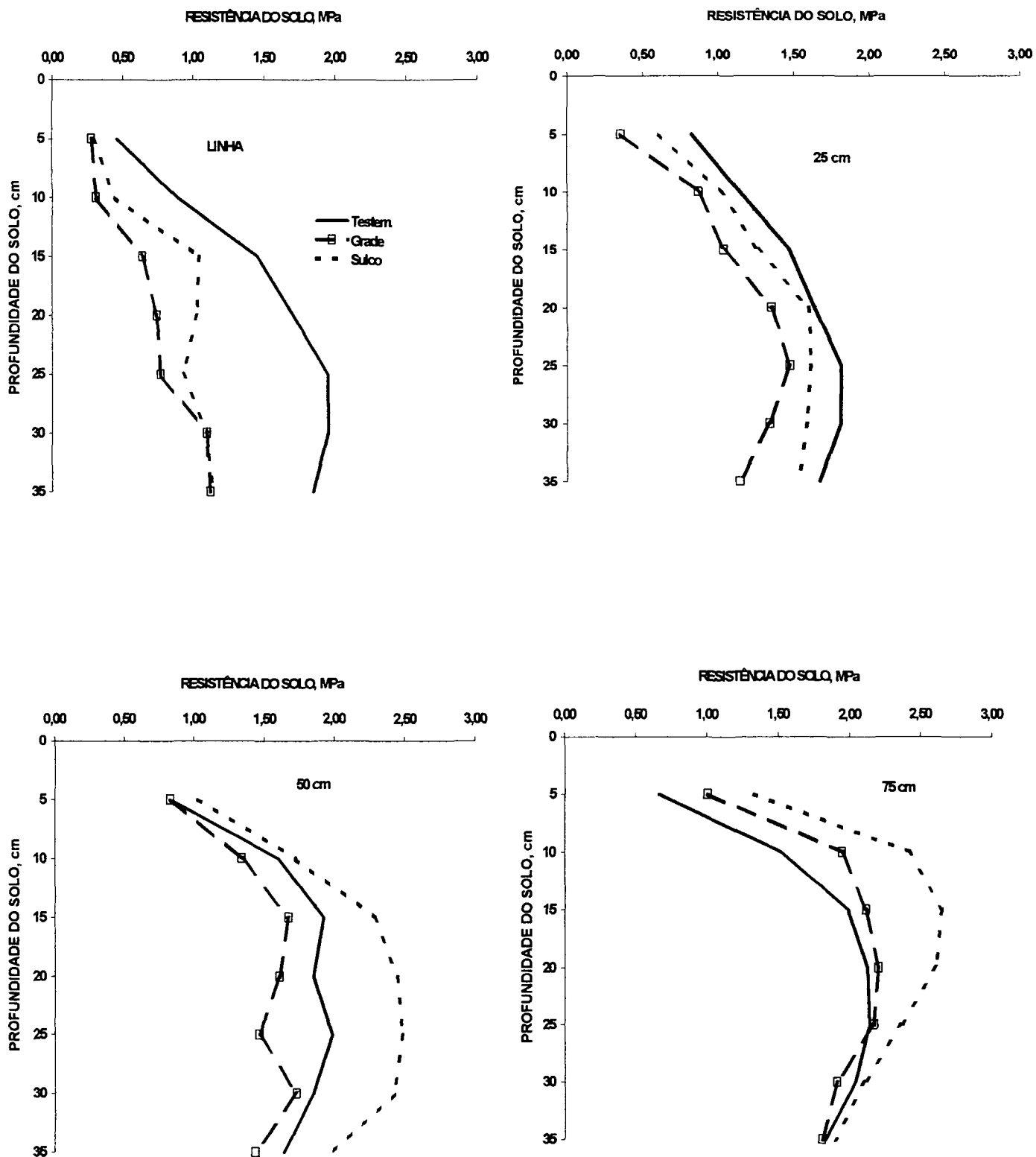
Os valores de resistência mecânica à penetração submetidos à análise estatística foram obtidos em uma profundidade compreendida entre 0 a 60 cm, no entanto, foram consideradas as profundidades entre 0 e 35 cm, que correspondem aproximadamente a mesma profundidade onde foram obtidas as amostras indeformadas utilizadas na análise dos parâmetros anteriores. Os dados obtidos para esta variável, foram coletados na mesma época das avaliações dendrométricas, depois do preparo do solo. Para os dois solos, estas amostragens foram realizadas no mesmo dia, sendo que, os valores de umidade gravimétrica calculados no período da amostragem encontram-se no anexo 3.

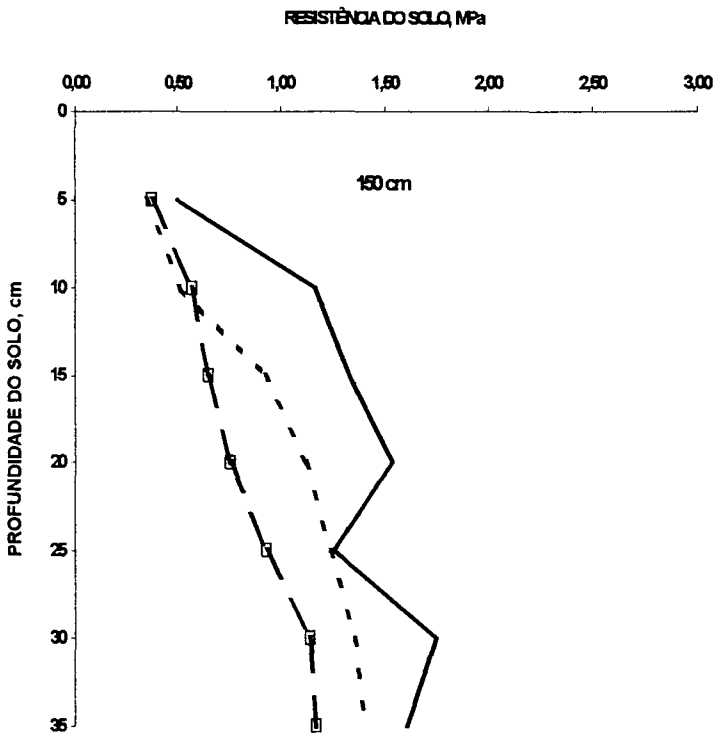
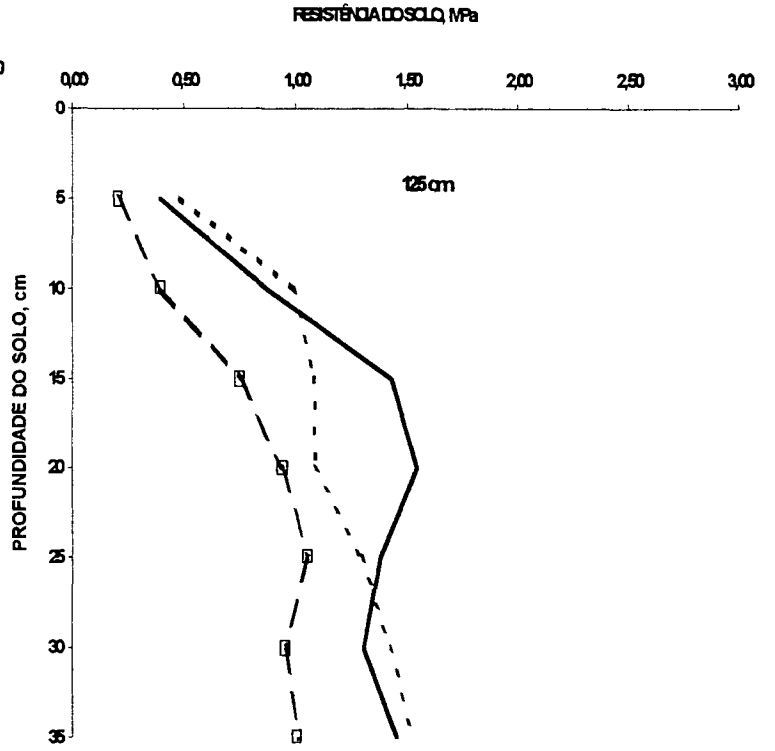
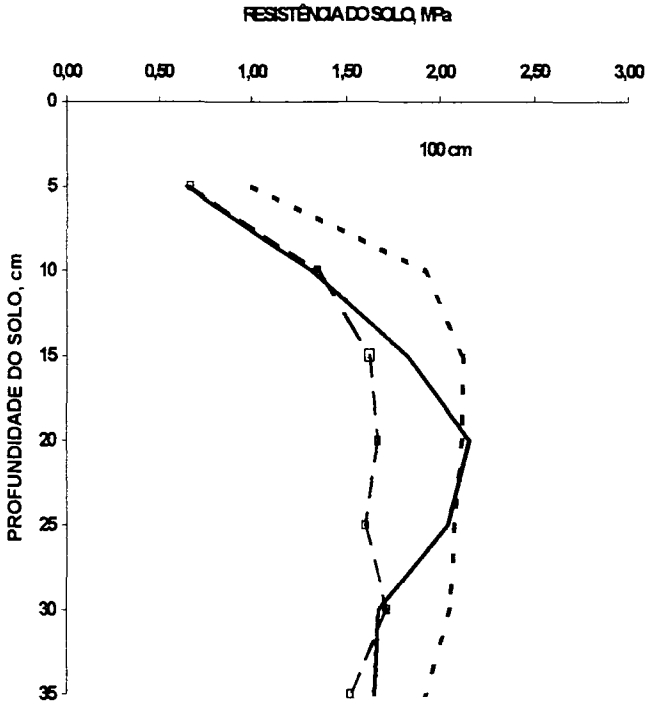
No solo de textura argilosa, as amostragens foram realizadas em setembro de 1999, este mês teve uma taxa de precipitação de 73 mm, segundo dados de meteorologia da empresa, provavelmente não houve excesso de umidade interferindo nas amostragens. Para o solo de textura média, não foram fornecidos dados de precipitação do ano de 1999, mas a taxa de precipitação média para o período de 97/98 foi em torno de 127 à 131 mm. Os sulcos provenientes do rodado das máquinas na colheita ou preparo do solo não estavam evidenciados nas duas áreas experimentais.

Para o solo de textura média não foram obtidos resultados significativos entre as profundidades e distâncias dos pontos avaliados. Os pontos considerados na linha, em geral, foram os que apresentaram os menores valores de resistência à penetração à exceção da testemunha que apresentou valores maiores em todas as profundidades. As determinações feitas à 50 e 75 cm da linha concentram o efeito do rodado das máquinas na colheita e também do rodado do trator no preparo do solo. No ponto considerado à 75 cm de distância da linha de plantio a resistência mecânica à penetração na gradagem e sulcagem aumentou excedendo 2 MPa nos valores médios obtidos entre 15 e 30 cm de profundidade, também a testemunha concentrou seus maiores valores nesta profundidade.

Nota-se que a partir de 125 cm de distância da linha de plantio os resultados obtidos são menores nos tratamentos com revolvimento. A sulcagem a 100 cm de distância da linha ainda demonstrou acréscimos nos valores obtidos em função da menor desagregação do solo nesta operação, no entanto também declinou nas distâncias de 125 e 150 cm. É importante ressaltar que nenhum dos valores obtidos chegou a 3 MPa. Segundo SANDS et al. (1979) solos com resistência acima deste valor causam severa restrição ao crescimento das raízes. O gráfico 9, mostra a seqüência das distâncias e profundidades avaliadas, nos três sistemas de preparo do solo de textura média.

GRÁFICO 9 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NO SOLO DE TEXTURA MÉDIA, EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO, EM PROFUNDIDADE E EM SETE DISTÂNCIAS DA LINHA DE PLANTIO -1998





Para o solo de textura argilosa, nos pontos avaliados na linha de forma geral, foram constatados valores baixos de resistência mecânica à penetração, com um comportamento pouco distinto entre a sulcagem e a testemunha, entretanto mais elevados para a gradagem principalmente na superfície. As determinações à partir de 25 cm da linha, começam a mostrar aumentos mais evidentes nos valores obtidos para os três tratamentos, embora a gradagem mostre valores mais reduzidos na superfície.

Entre 25 e 50 cm percebe-se um aumento da resistência mecânica da mesma maneira que no solo de textura média em função da área de rodado do trator na execução das operações de sulcagem e gradagem e na testemunha que mantém os efeitos da colheita no solo, pelo rodado das máquinas no corte e transporte da madeira. Estes pontos concentraram os maiores valores médios de resistência. A área da gradagem apresentou 1,77 MPa aos 30 cm de profundidade na distância de 50 cm da linha. No entanto estes dados ainda são inferiores quando comparados aos obtidos por FERNANDES et al., (1998) para uma área submetida ao auto-carregável, em Latossolo Vermelho na profundidade entre 15 - 30 cm, onde os valores encontram-se entre 2,27 à 2,49 MPa.

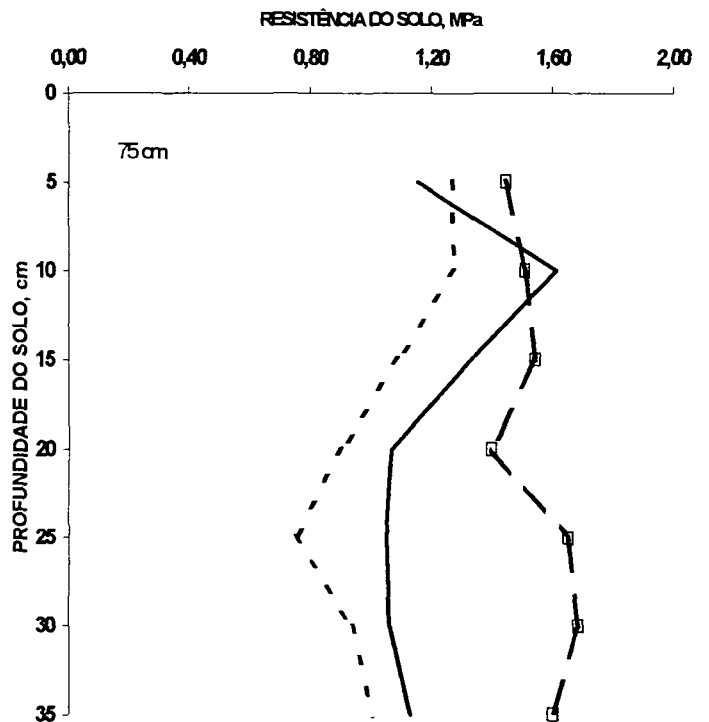
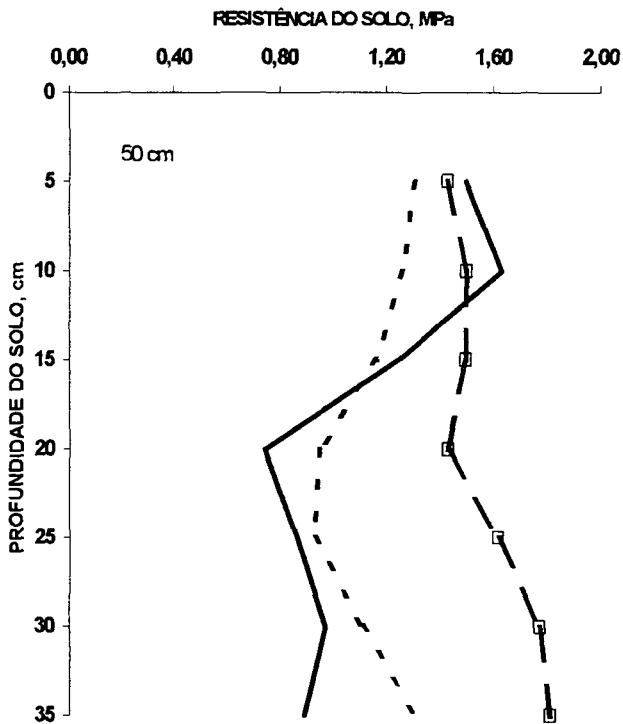
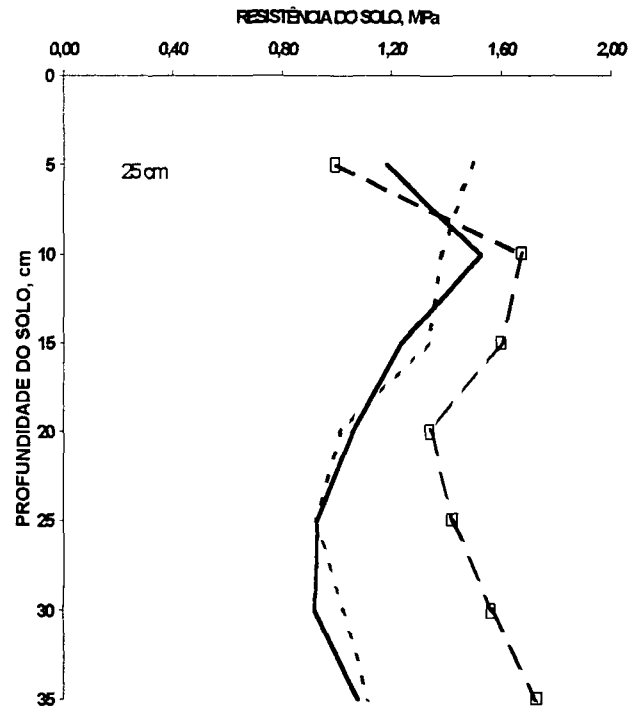
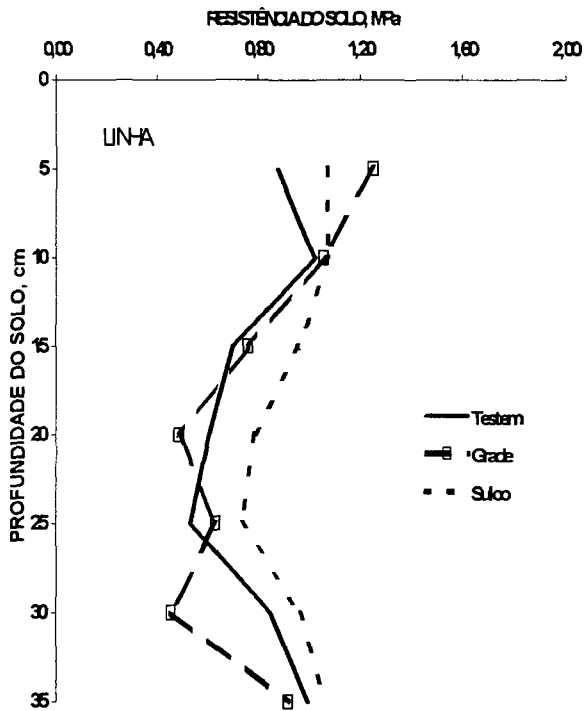
Na determinação feita no ponto de distância de 75 cm da linha de plantio, a gradagem difere bastante dos demais tratamentos, apresentando altos resultados nesta variável da superfície até a profundidade de 35 cm, sendo que para a sulcagem a exceção da superfície os valores foram bem menores, inclusive em relação à testemunha. A partir de 100 cm de distância da linha, os tratamentos da gradagem e sulcagem tendem a proporcionar valores menores em relação a testemunha na superfície, o que pode se considerar um efeito decorrente do revolvimento do solo mais evidente à estas distâncias, ou seja, no meio das duas linhas de plantas.

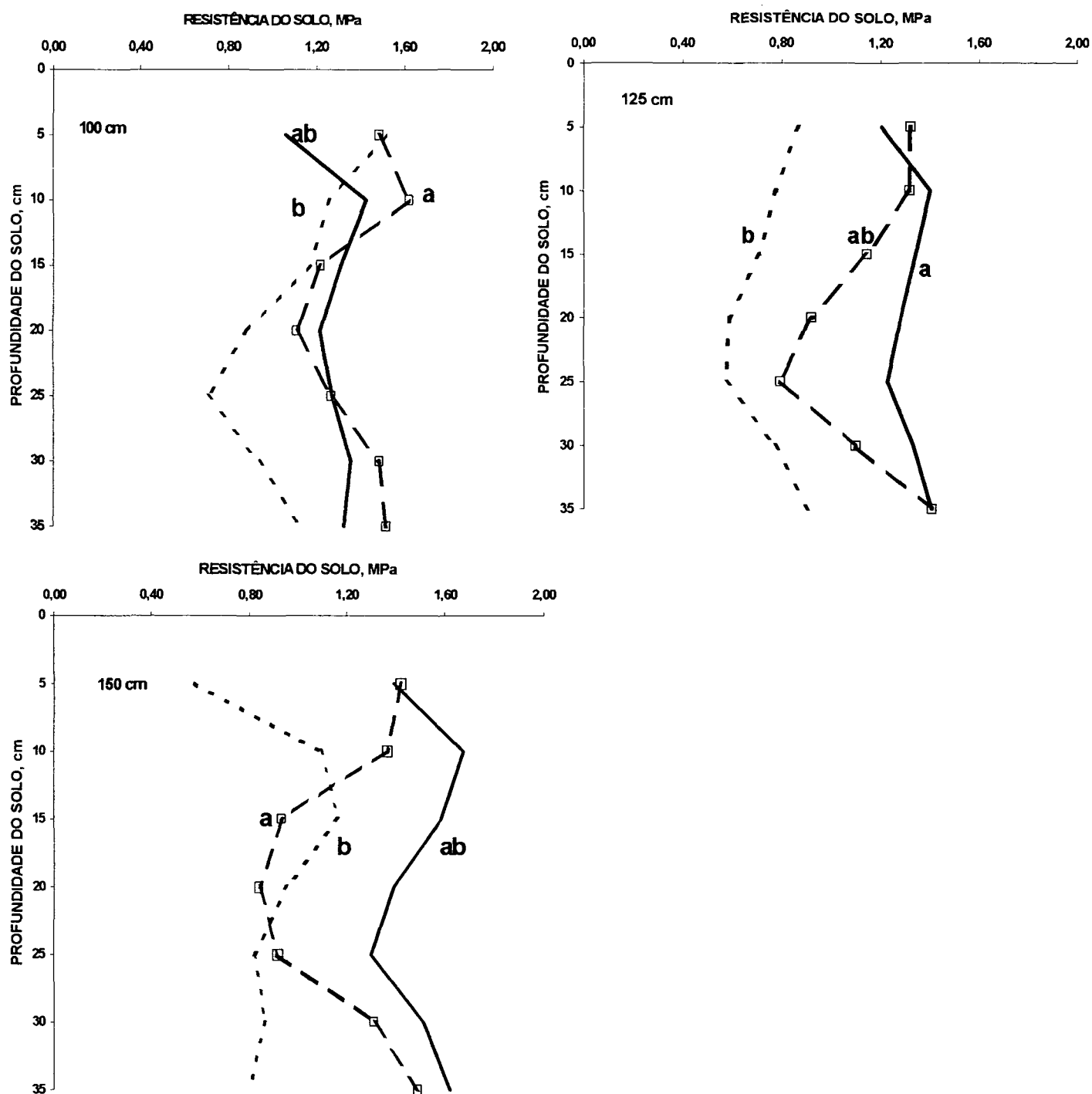
De forma geral os valores obtidos para esta variável no solo de textura argilosa, são inferiores aos esperados uma vez que todo o processo do corte e retirada da madeira

foi mecanizado. No entanto esta situação pode ser justificada considerando a quantidade de serapilheira existente na área. MARTINS et al., (1998) também constatou valores baixos de resistência à penetração do solo em áreas florestais submetidas ao corte mecanizado com valores médios de: 1,10 MPa na trilha da máquina e 1,03 MPa entre a trilha, em latossolo roxo em condições semelhantes à condição de estudo observada no solo de textura argilosa com relação à quantidade de serapilheira sobre o solo. Também JOHNSON et al., (1979) citados por SOANE (1990), relatam que a resistência à penetração no sulco do rodado de um *skidder* foi 104 kPa na ausência da serapilheira contra somente 80 kPa abaixo da camada de folhas. Portanto a remoção do material resultante da colheita ou desbaste pode conduzir a um aumento da compactação nas áreas florestais.

Na distância de 100 cm da linha de plantio foram verificadas diferenças significativas na profundidade de 10cm entre os três tratamentos, sendo que a sulcagem manifestou os menores valores. Também diferiram significativamente os resultados encontrados entre 15 e 25 cm de profundidade na determinação feita à 125 cm de distância da linha, novamente mostrando o efeito do revolvimento do solo sobretudo na sulcagem. Na distância de 150 cm da linha de plantio houveram diferenças significativas para os resultados obtidos na superfície (5 cm de profundidade), mostrando valores para sulcagem bastantes inferiores aos outros dois tratamentos. Os quadros da análise da variância onde foram obtidos resultados significativos para esta variável encontram-se nos anexos 4, 5, 6 e 7. De forma geral, a sulcagem apresentou os menores valores de resistência mecânica do solo à penetração, tendo teoricamente uma melhor resposta em função do revolvimento do solo do que a gradagem. O gráfico 10, mostra a seqüência de distâncias e profundidades avaliadas, para os três tratamentos.

GRÁFICO 10 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA, EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO, EM PROFUNDIDADE E EM SETE DISTÂNCIAS DA LINHA DE PLANTIO, 1998





NOTA: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, nas seguintes distâncias e profundidades:
 100 cm da linha - na profundidade de 10 cm
 125 cm da linha - na profundidade de 15 e 20 cm
 150 cm da linha - na superfície (5 cm)

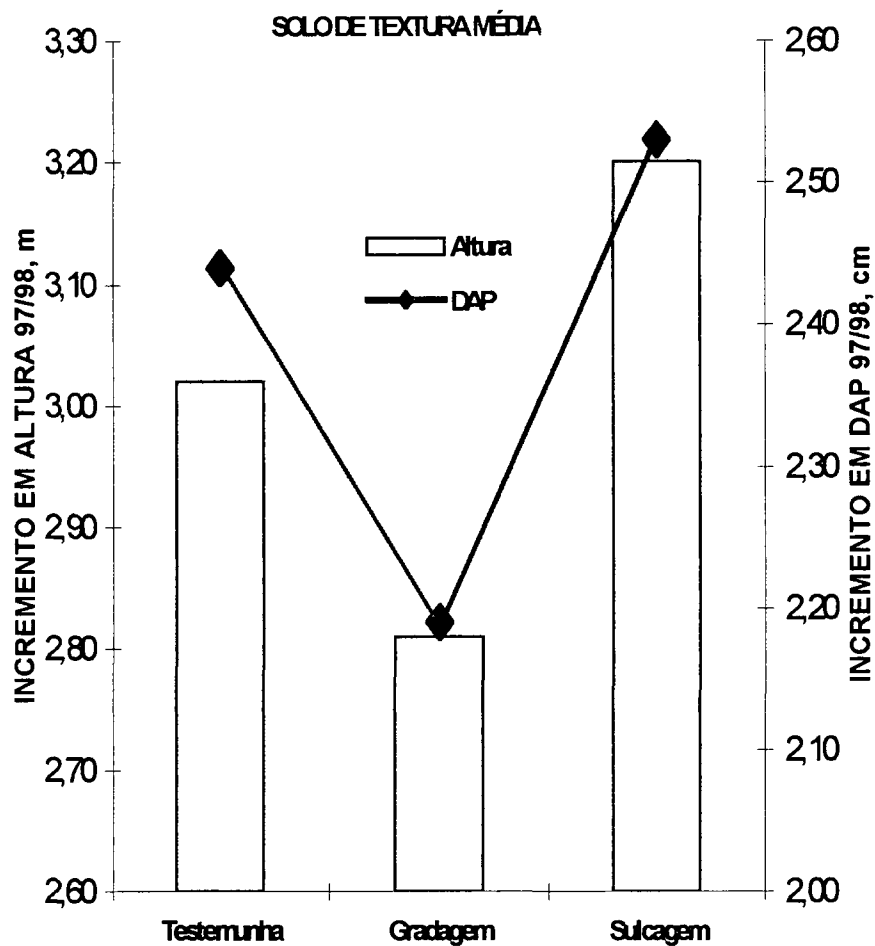
4.3 AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS

As avaliações dendrométricas foram feitas antes e depois do preparo do solo, nos anos de 1997/1998, sendo que o incremento em altura e diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores, obtidos no experimento foram submetidos à análise estatística visando relacionar as respostas do crescimento com o sistema de preparo do solo utilizado. Os gráficos 11e 12, ilustram os resultados obtidos no incremento em altura e DAP mostrando as diferenças de acordo com o sistema de preparo do solo, nas duas áreas experimentais.

No latossolo de textura média, em Itatinga, não foram constatadas diferenças significativas entre os três tratamentos para as variáveis incremento em altura e DAP. O maior crescimento em altura foi verificado no tratamento da sulcagem bem como os maiores valores médios de incremento em DAP, sendo que a gradagem obteve crescimento inferior, inclusive em relação à testemunha.

No solo de textura argilosa, na avaliação do incremento em diâmetro (DAP), os tratamentos da gradagem e da sulcagem mostraram maiores incrementos diferindo significativamente da testemunha ao nível de 1% pelo teste de Tukey. Com relação ao incremento em altura, os tratamentos não diferiram significativamente embora a sulcagem tenha apresentado um crescimento bastante expressivo para esta variável enquanto que a testemunha apresentou os menores valores médios de incremento em altura. Nota-se que os tratamentos envolvendo o preparo do solo, em geral, foram mais favoráveis para o solo de textura argilosa, em São Miguel Arcanjo. Ainda assim, no solo de textura média percebe-se que na área submetida à sulcagem houveram os maiores incrementos em DAP e altura, enquanto que a gradagem apresentou os menores sendo inferiores até mesmo à testemunha.

GRÁFICO 11 - INCREMENTO EM ALTURA E DAP DE *Eucalyptus saligna* DE ACORDO COM OS SISTEMAS DE PREPARO PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA - 1998



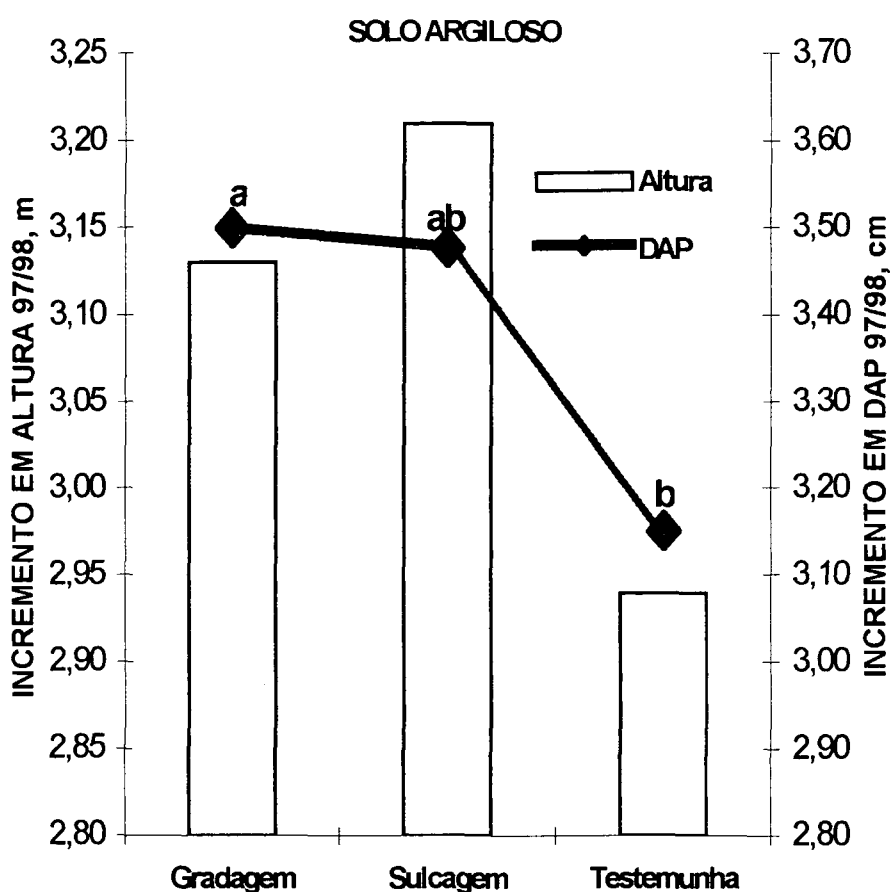
A capacidade de retenção de água do solo é um dos fatores que pode limitar o crescimento de eucalipto, principalmente em solos com maiores teores de areia grossa que tendem à uma redução da capacidade de armazenamento de água e transporte de nutrientes no solo (CORREIA et al., 1996).

Tendo em vista estas considerações pode-se dizer que embora a gradagem tenha manifestado valores mais baixos de resistência mecânica do solo à penetração ao longo da entrelinha, parece ter sido menos eficiente que a sulcagem. A operação de sulcagem, nesta área de estudo foi dificultada pela presença de tocos sendo inadequada para ocorrer em escala operacional, de acordo com informações da parte técnica da empresa. Mesmo assim, a área submetida à subsolagem apresentou resultados de incremento em altura e DAP superiores aos outros dois tratamentos. A testemunha, sem preparo do solo, apresentou maiores incrementos em altura e DAP, do que a área submetida à gradagem, o que permite avaliar a real necessidade de preparo do solo na rebrota no solo de textura média na condição de estudo, uma vez que, um certo aumento na densidade e resistência do solo longe de valores críticos obviamente, parecem ter favorecido um melhor crescimento. Desta forma, bastaria tomar os cuidados necessários durante a colheita como trafegar sobre a galhada, escolha da época adequada com relação à umidade do solo, tipo de máquinas, etc.

A gradagem, neste solo, manifestou os menores incrementos tanto em altura como em DAP. Este fato pode ser explicado uma vez que o revolvimento superficial incorporando a serapilheira seja menos eficiente que mantê-la em cobertura onde favorece a manutenção da umidade do solo na superfície, considerando que nesta camada a areia está quase sempre seca, afetando assim o transporte e absorção de nutrientes. O aumento da aeração na camada superficial deste solo, favorecido pelo revolvimento com a grade tende a aumentar a evaporação da água do solo, o que conseqüentemente acaba afetando o melhor aproveitamento do adubo, que apresenta normalmente uma maior concentração nesta camada. Considerando as limitações dos solos de textura média à arenosa com relação ao armazenamento de água, percebe-se que a manutenção da serapilheira desempenha importante função com relação a este aspecto, podendo-se ainda

constatar que deixá-la sobre a superfície do solo sem incorporá-la, pode ser a melhor alternativa. No latossolo de textura argilosa os incrementos em altura e DAP, apresentaram resultados distintos. No incremento em DAP, tanto a gradagem quanto a sulcagem, diferiram significativamente em relação à testemunha (gráfico 12). O quadro da análise da variância para este parâmetro encontra - se no anexo 8.

GRÁFICO 12 - INCREMENTO EM ALTURA E DAP DE *Eucalyptus saligna* DE ACORDO COM OS SISTEMAS DE PREPARO PARA O SOLO ARGILOSO - 1998



NOTA : Para o incremento em DAP, as letras distintas mostram diferenças significantes entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey 1%.

Na avaliação do incremento em altura, a sulcagem mostrou valores mais elevados que os obtidos para a gradagem porém os dois tratamentos foram melhores que a testemunha. A gradagem apresentou valores maiores de resistência mecânica do solo entre 5 - 15 cm de profundidade, a partir de 75 cm da linha de plantio, provavelmente a camada de resíduos da colheita presentes na área, possa ter influenciado na redução da eficácia deste tratamento, ao contrário da sulcagem que diminuiu a resistência do solo em profundidade.

O uso do ripper ou do subsolador é amplamente discutido em trabalhos de pesquisa, estando entre os métodos mais usados tanto para o estabelecimento como para a regeneração de sítios florestais, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas que ganha estabilidade, atingindo profundidades maiores. As diferentes profundidades de preparo do solo afetam o incremento em altura e DAP das árvores, tornando-se possível obter os melhores resultados quando executado entre 20 - 25 cm de profundidade ou mais, sendo que normalmente o preparo raso (10 cm de profundidade) manifesta as piores respostas (KALAGHE & MANSY, 1989).

MACNABB & HOBBS (1989) afirmam que o uso do ripper em profundidades do solo inferiores à 50 cm geralmente não produz muito efeito no crescimento de espécies florestais, atribuindo este fato ao menor revolvimento de solo nesta condição. DEDECEK et al., (2000) avaliando sistemas de preparo do solo em áreas compactadas pela colheita mecanizada de pinus, constataram que as maiores médias na altura destas plantas foram obtidas com o uso de ripper numa profundidade variando entre 20 e 45 cm, de acordo com a maior potência do trator, sendo que onde a profundidade foi maior os resultados de altura foram superiores em até 0,50 m.

Percebe-se, de maneira geral, que a produtividade do eucalipto é afetada pelas alterações geradas nas propriedades físicas do solo. CORREIA et al., (1996)

estabelecendo relações entre características de diferentes camadas de solo e produtividade de eucalipto, concluíram que as características químicas só apresentaram efeitos sobre a produtividade quando consideradas em conjunto com as propriedades físicas do solo, sendo que na determinação da produtividade do eucalipto as variáveis físicas do solo foram mais importantes.

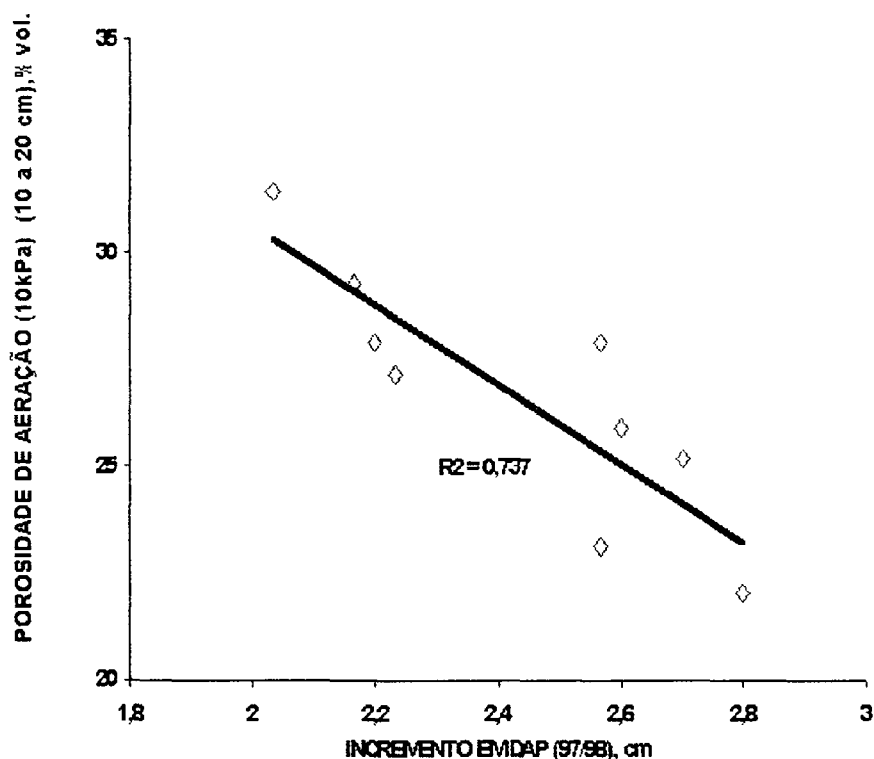
4.4 CORRELAÇÕES OBTIDAS NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

A correlação negativa obtida entre a variável porosidade de aeração e incremento em DAP para o solo de textura média, na profundidade entre 10 - 20 cm (gráfico 13), comprova que uma redução na macroporosidade deste solo foi favorável à um maior crescimento da planta, considerando que o aumento na microporosidade garantiu maiores conteúdos de água nesta mesma profundidade. É bom lembrar que estes valores encontram-se fora de níveis críticos, considerando que estão estabelecidos em uma faixa entre 20% à 35%. No entanto para a densidade do solo, os maiores valores representaram em geral, um menor incremento em DAP (gráfico 14) e o aumento na porosidade total na profundidade entre 0 - 10 cm, foi responsável por um maior incremento em DAP (gráfico 15). Deve-se considerar que nos três tratamentos a profundidade entre 0 - 10 cm foi a que apresentou as maiores porcentagens de poros e uma distribuição bastante equilibrada entre macro e microporos.

No solo de textura argilosa, foram obtidas boas correlações tanto para altura quanto para o DAP. Aumentos na porosidade de aeração na profundidade entre 20 - 30 cm, favoreceram o incremento em altura (gráfico 16), bem como a porosidade total nesta mesma profundidade e na profundidade entre 10 - 20 cm, concordando com os dados para este solo, onde a testemunha sem nenhum revolvimento de solo foi a que apresentou a menor porosidade total e mais se aproximou dos níveis críticos na

porosidade de aeração manifestando os menores incrementos de crescimento.

GRÁFICO 13 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (10 - 20 cm) E INCREMENTO EM DAP DA REBROTA DE *Eucalyptus saligna*, ITATINGA - 1998



Os gráficos 14 e 15 ilustram as correlações obtidas entre a densidade do solo e porosidade total para profundidade entre 0-10 cm e o incremento em DAP. Observa-se que há um benefício para as plantas com a redução da porosidade de aeração (gráfico 15), mas não quando se traduz em redução de densidade ou de porosidade total do solo.

GRÁFICO 14 - CORRELAÇÃO ENTRE DENSIDADE DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (0-10cm) E INCREMENTO EM DAP, DA REBROTA DE *Eucalyptus saligna*, ITATINGA - 1998

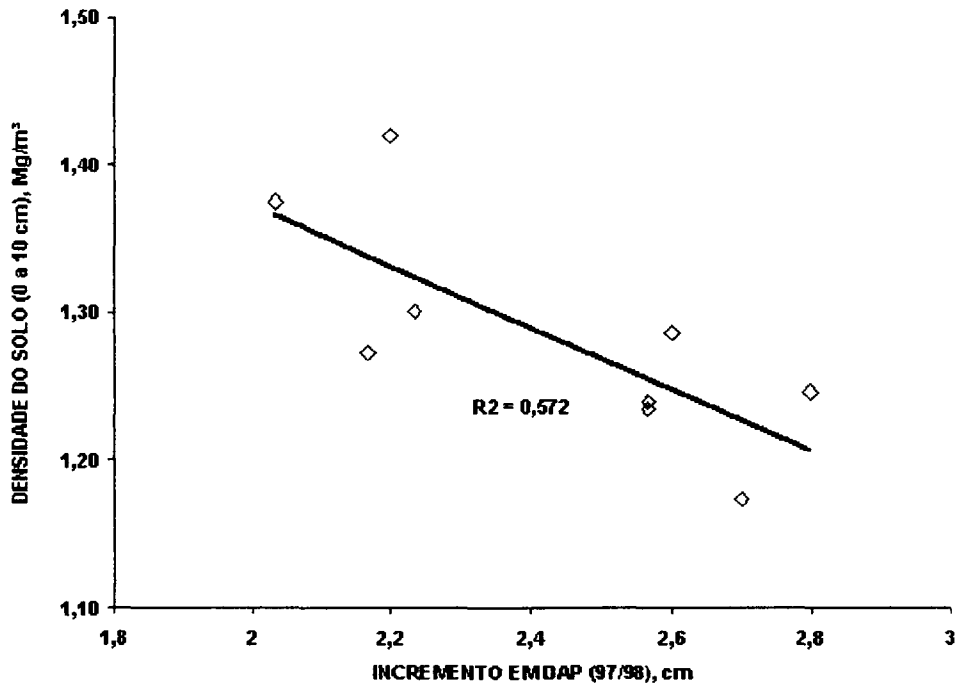
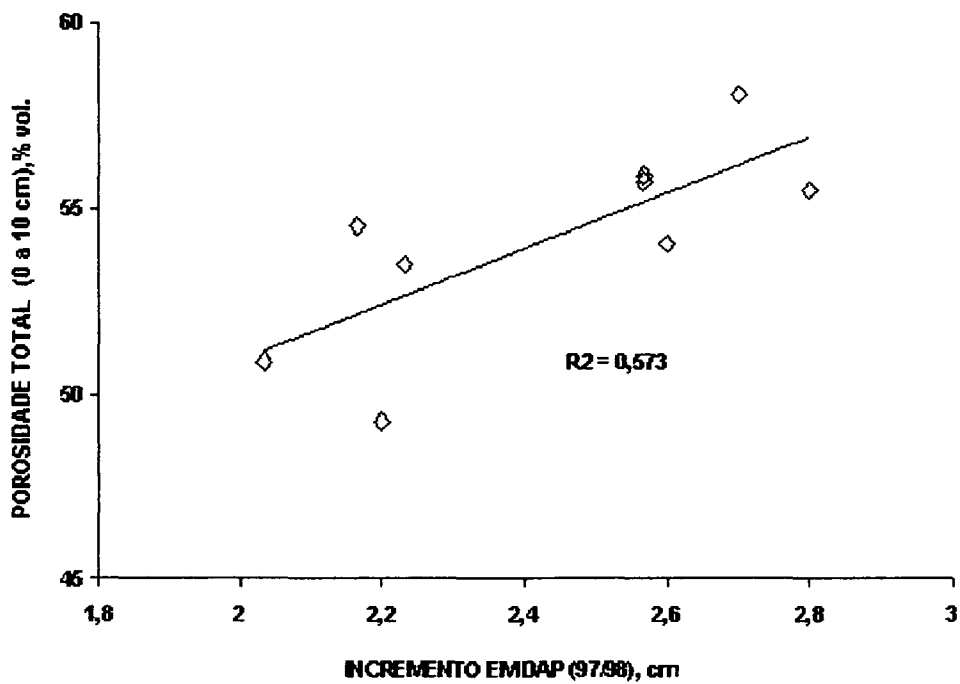
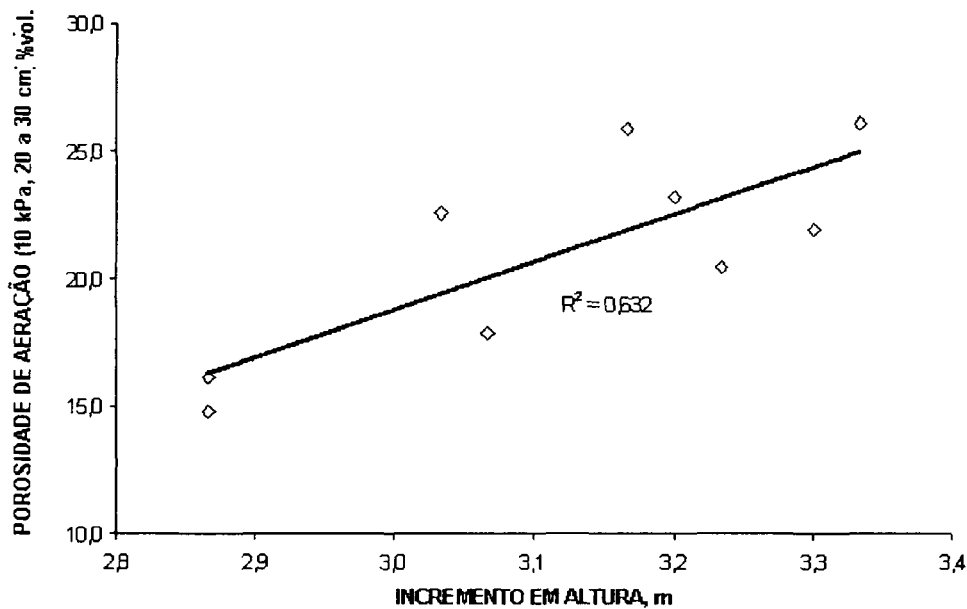


GRÁFICO 15 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE TOTAL DO SOLO DE TEXTURA MÉDIA (0-10 cm) E INCREMENTO EM DAP, DA REBROTA DE *Eucalyptus saligna*, ITATINGA - 1998



O gráfico 16 ilustra a correlação obtida para o solo de textura argilosa, em São Miguel Arcanjo, entre porosidade de aeração do solo e incremento em altura da rebrota de eucalipto.

GRÁFICO 16 - CORRELAÇÃO ENTRE POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA (20 - 30 cm) E INCREMENTO EM ALTURA DA REBROTA DO *Eucalyptus saligna*, SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998



A resistência mecânica do solo, para o solo de textura média apresentou correlações muito baixas em todas as profundidades e distâncias avaliadas não permitindo explicar variações na produtividade (considerando incremento em altura e DAP) através desta variável. No entanto, no solo de textura argilosa, em São Miguel Arcanjo, na distância de 125 cm da linha de plantio nas profundidades de 20 e 25 cm, foram obtidas boas correlações demonstrando que o revolvimento do solo em uma maior profundidade favoreceu o incremento em altura, sendo possível constatar que a sulcagem

pode ser empregada no preparo do solo na rebrota, com resultados satisfatórios. Deve-se lembrar que a sulcagem nesta distância avaliada apresentou diferenças significativas com relação aos demais tratamentos, apresentando os menores valores de resistência mecânica do solo à penetração mantendo-os até a profundidade de 35 cm.

As correlações obtidas, ilustradas, nos gráficos 17 e 18 mostram o comportamento desta variável na distância e profundidade consideradas.

GRÁFICO 17 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA DO SOLO E INCREMENTO EM ALTURA NA REBROTA DE *Eucalyptus saligna*, A 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTAS E 20 cm DE PROFUNDIDADE, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998

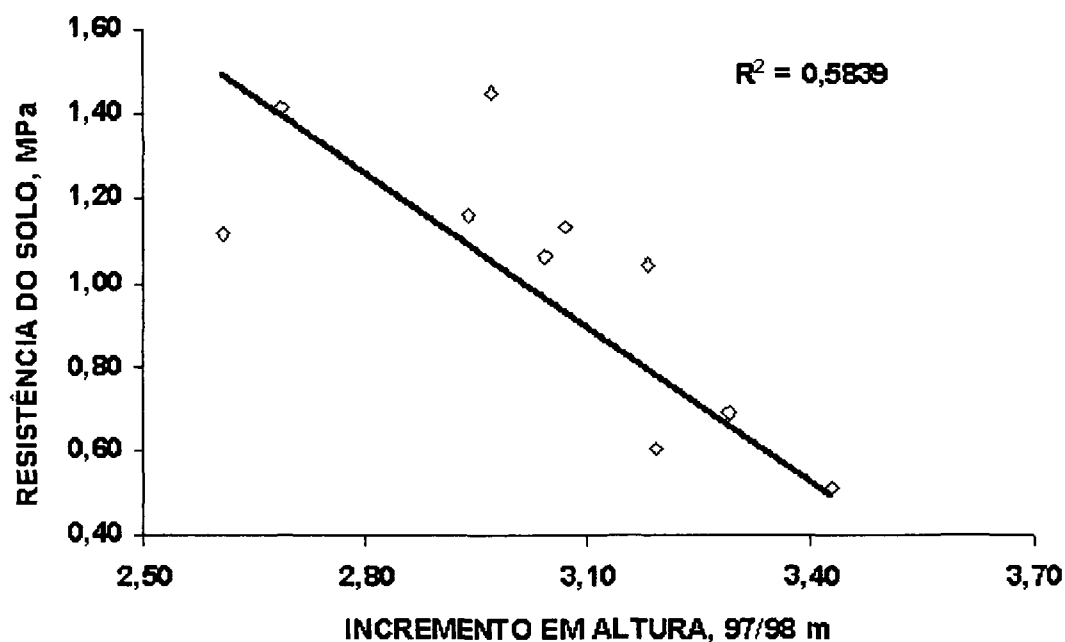
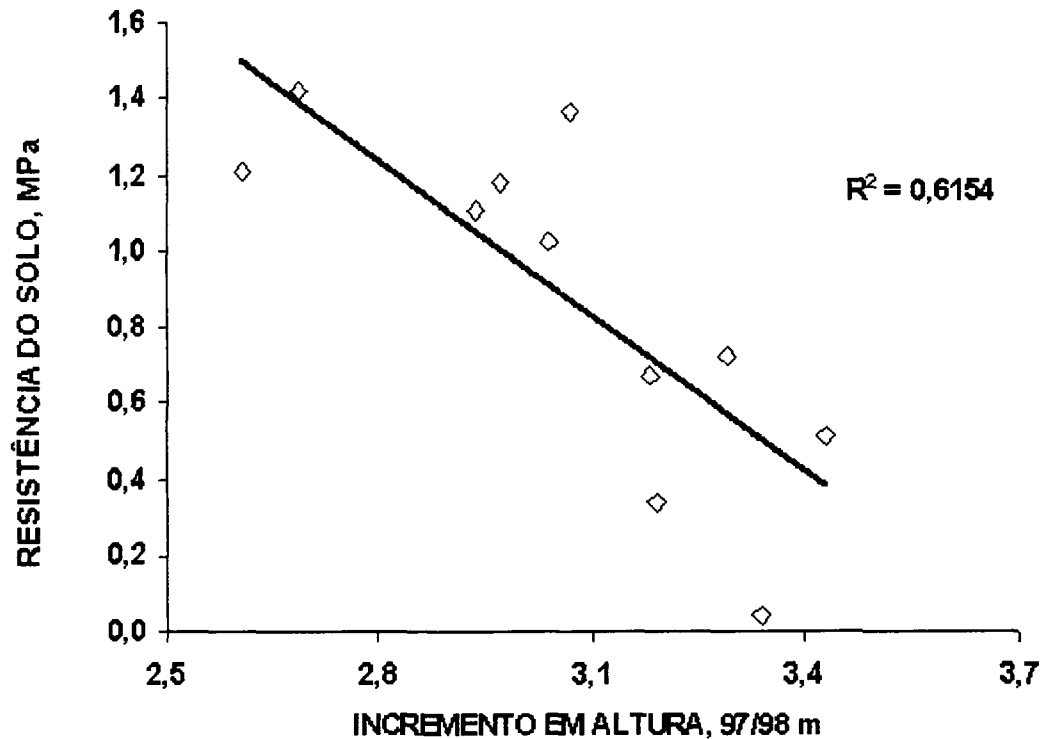


GRÁFICO 18 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA DO SOLO E INCREMENTO EM ALTURA DA REBROTA DE *Eucalyptus saligna*, NA DISTÂNCIA DE 125 cm DA LINHA DE PLANTAS, E 25 cm DE PROFUNDIDADE, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO - 1998



Entre a resistência mecânica do solo na profundidade de 20 - 25 cm e a densidade do mesmo entre 10 - 20 cm de profundidade, percebe-se o aumento da primeira variável em função da segunda apresentando boa correlação na avaliação à 50 cm de distância da linha de plantio (gráfico 19) para ambos os solos. Ainda, o gráfico 20 demonstra para o solo de textura média boa correlação entre a resistência mecânica avaliada à 30 - 35 cm de profundidade e densidade do solo (20 - 30 cm).

GRÁFICO 19 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NA PROFUNDIDADE ENTRE 20 - 25 cm E DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) 10 - 20 cm AVALIADAS NA DISTÂNCIA DE 50 cm DA LINHA DE PLANTIO PARA OS DOIS SOLOS - 1998.

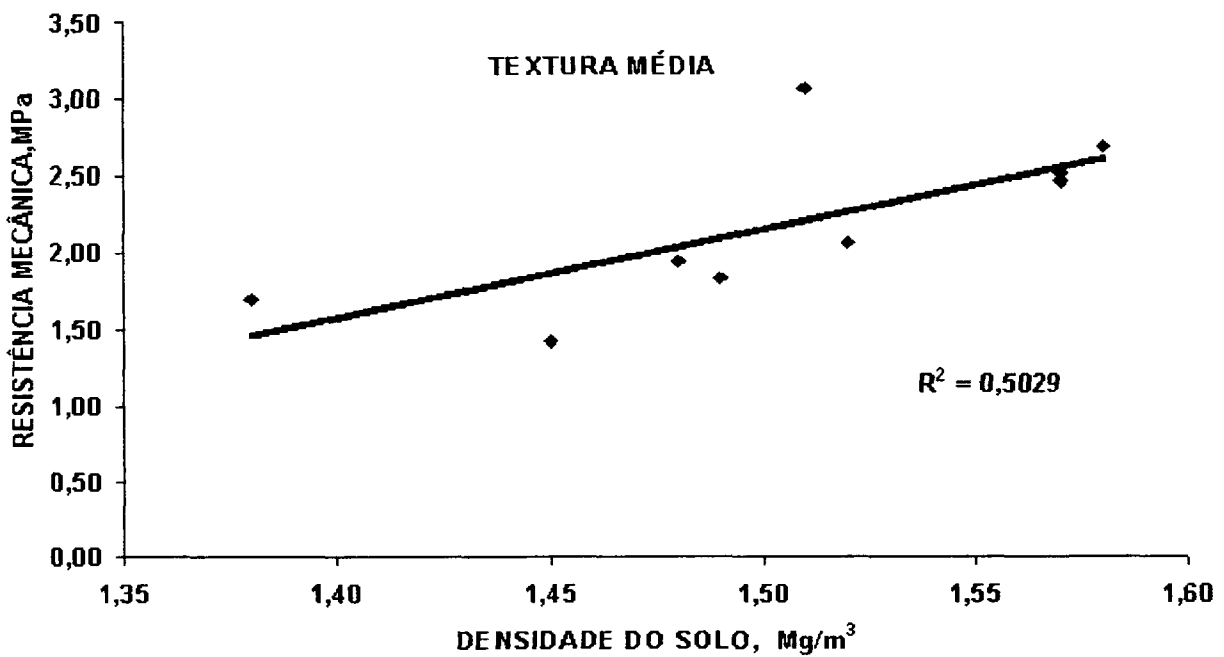
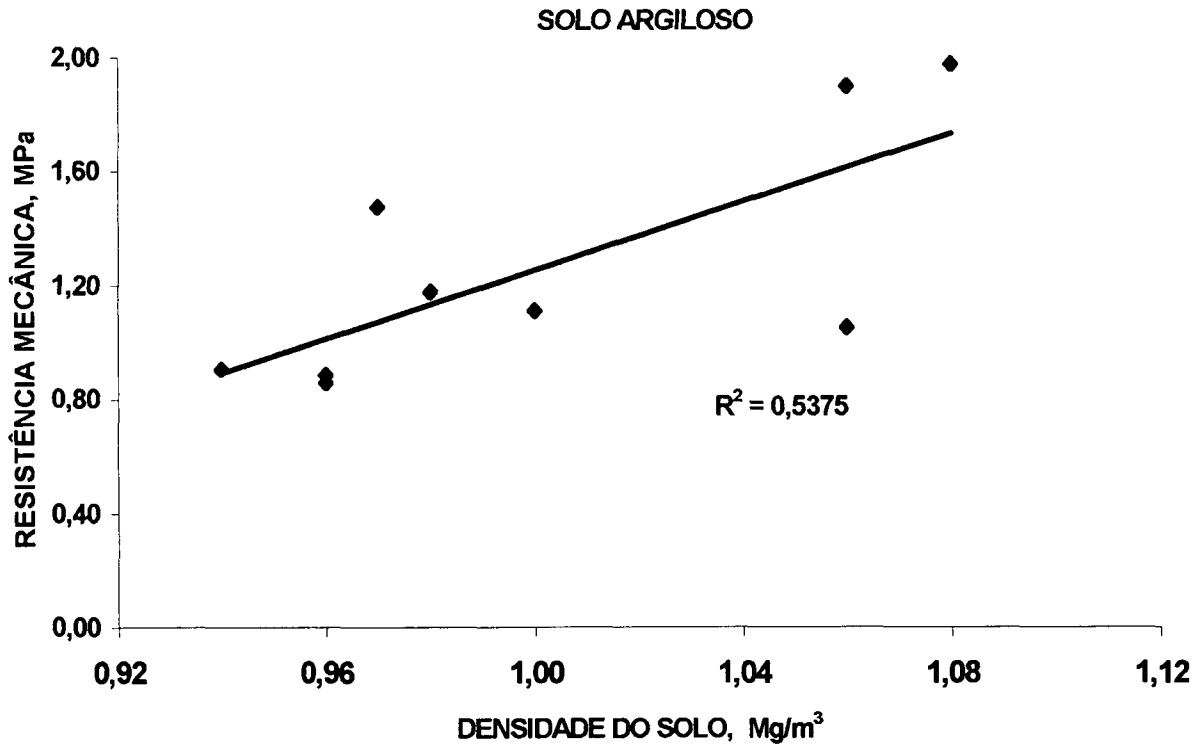
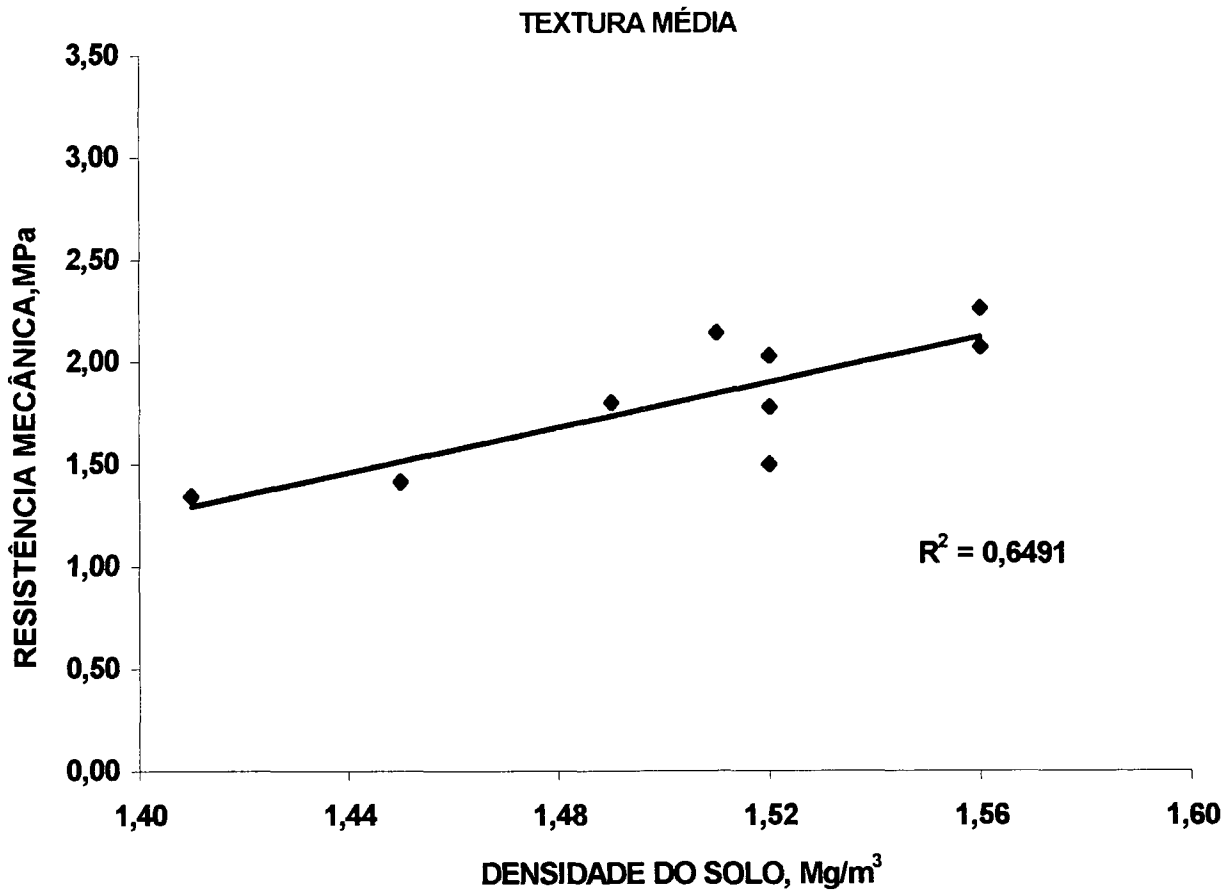


GRÁFICO 20 - CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO (MPa) NA PROFUNDIDADE ENTRE 30 - 35 cm E DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) 20 - 30 cm AVALIADAS NA DISTÂNCIA DE 50 cm DA LINHA DE PLANTIO PARA O SOLO DE TEXTURA MÉDIA - 1998.



5. CONCLUSÕES

- O adensamento do solo em função das operações mecanizadas de colheita foi mais evidente na camada entre 10 e 20 cm para ambos os solos, sendo que no solo de textura média valores maiores de densidade do solo mantêm-se até 30 cm de profundidade. No entanto a camada superficial para os dois solos recupera sua estrutura com o tempo.
- Os efeitos do preparo do solo na condição de estudo foram mais evidentes no solo de textura argilosa do que no de textura média na avaliação da produtividade de rebrota.
- No solo de textura argilosa houveram diferenças significativas para o incremento em dap na rebrota de *Eucalyptus saligna* após o revolvimento na profundidade entre 30 e 40 cm dois anos depois do corte raso. O incremento em altura, mesmo não apresentando diferenças estatísticas significativas foi superior nas áreas submetidas ao preparo de solo.
- No tratamento de subsolagem para o solo argiloso, foram obtidas boas correlações na distância de 125 cm da linha de plantio (entrelinha) nas profundidades de 20 e 25 cm, entre a resistência mecânica à penetração do solo e crescimento em altura, demonstrando que o revolvimento do solo em uma maior profundidade favoreceu o incremento em altura, concluindo que a sulcagem pode ser empregada no preparo do solo na rebrota, com resultados satisfatórios.
- No solo de textura média, o tratamento da sulcagem mostrou melhor desenvolvimento de plantas que na testemunha, no entanto não houveram diferenças estatísticas significativas para o incremento em altura e dap na rebrota desta espécie, neste solo um ano após o revolvimento. Já o revolvimento pela grade (20 - 30 cm) manifestou menor incremento em altura e dap. Um leve adensamento no solo de textura média, favoreceu um aumento na microporosidade na camada entre 10 - 20 cm de profundidade, favorecendo uma maior retenção de água neste tipo de solo.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. I.; SILVEIRA, D. A. e PASSOS, R. Manejo visando a conservação e recuperação de solos altamente susceptíveis a erosão sob os aspectos físicos, químicos e biológicos. **Informe Agropecuário**. EPAMIG, v. 19, n. 191, p. 49-58, 1998. Belo Horizonte/ MG.
- ASSIS, R. L. e BAHIA, V. G. Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. **Informe Agropecuário**. EPAMIG, v. 19, n. 191, p. 71-78, 1998. Belo Horizonte/ M G.
- BAENA, E. S.; MORA, A. L. e OSÓRIO, R. S. Efeito de algumas práticas silviculturais na brotação de *Eucalyptus saligna* Smith. **Silvicultura**, v. 8, p. 617-622, 1983.
- BALL, B. C.; LANG, R. W.; O' SULLIVAN, M. F. and FRANKLIN, M. F. Cultivations and nitrogen requirements for continuous winter barley on a gleysol and a cambisol. **Soil & Tillage Research**, v. 13, p. 333-352, 1988.
- BARBOSA, Z.; BAHIA, V. G. e PAULA, M. B. Atuação da biota do solo na formação e estabilização de agregados e na estruturação dos solos, influenciando o controle da erosão. **Informe Agropecuário**. EPAMIG, v. 19, n. 191, p. 59-65, 1998. Belo Horizonte/ MG.
- BERRY, C. R. Subsoiling improves growth of pine on Georgia Piedmont site. **USDA Forest Service Research**, note SE - 284, 3 p., 1979.
- CAMARGO, O. A. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba. Abril. p. 132., 1997.
- CASTRO, O. M. Cultivo Mínimo e propriedades físicas do solo. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 34-42, Curitiba, 1995.
- CINTRA, F. L.D.; FONTES, H. R. & LEAL, M. L. da S. Distribuição do Sistema radicular do coqueiro gigante do Brasil submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 327-332, 1996.
- CONSTANTINI, A. Impacts of pinus plantation management on selected physical properties of soils in the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. **Commonwealth Forestry Review**, v. 74, n. 3, p. 211-223, 1995.
- CORREIA, J. R.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. e CRUZ, C. D. Análise de trilha (" PATH ANALYSIS") no estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa/ MG, v. 20, n. 2, p.161-169, 1996.

- CORNS, I. G. W. Compaction by forestry equipment and effects on coniferous seedling growth on four soils in the Alberta Foothills. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 18, n. 1, p. 75-84, jan. 1988, Canadá.
- CRUISE, R. M. and GUPTA, S. C. Soil compaction mechanisms and their control. **Soil Management for Sustainability and Water Conservation**. R. Lal and F. J. Pierce, Editors Papers from a Workshop in Edmonton. Alberta, august, cap. 4, p. 19-24, 1991.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. e FONTES, L. E. F. Vocabulário de Ciência do Solo, p. 90, Campinas/ SP, 1993.
- DEDECEK, R. A. e GAVA, J. L. Compactação do solo pela colheita de eucalipto: sua avaliação e efeito na produtividade de rebrota. **IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus**. Salvador, Brasil, 24 -29 august, 1997.
- DEDECEK, R. A.; MENEGOL, O. e BELLOTE, A. F. J. Avaliação da compactação do solo em plantios jovens de *Pinus taeda*, com diferentes sistemas do preparo do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, jan./jun., p. 5-21, 2000.
- DEPIERI, O. A.; POSSAMAI, E e CADINI, M. T. G. O sistema atual de colheita de florestas mecanizado na Champion Papel e Celulose e sua influência na condução de clones híbridos de eucaliptos. In: **X Seminário de Atualização Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Curitiba, 1998.
- EIRA, A. F. Influência da cobertura morta na biologia do solo. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 16-33, Curitiba, 1995.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, v. 1, Rio de Janeiro, 1979.
- FENNER, P. Relações entre o tráfego de veículos e as deformações físicas dos solo florestais. In: **IX Seminário de Atualização Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Curitiba, 1996.
- FERNANDES, H. C. e VITORIA, E. L.; Avaliação dos níveis de compactação de um solo florestal em relação à trafegabilidade das máquinas. **Revista Árvore**. Viçosa, Minas Gerais, v. 22, n. 4, p. 521-526, 1998.
- FROEHLICH, H. A.; MILES, D. W. R. and ROBBINS, R. W. Growth of young *Pinus ponderosa* and *Pinus contorta* on compacted soil in Central Washington. **Forest Ecology and Management**, v. 15, p. 285-293, Amsterdam, 1986.
- GENT, J. A.; BALLARD, A.; HASSAN, A. E. and CASSEL, D. K. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 48, p. 173-177, 1984.

GHUMAN, B. S. and LAL, R. Effects of soil wetness at the time of lands clearing on physical properties and crop response on and utisol in Southern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v. 22, p. 1-11, Amsterdam, 1992.

GONÇALVES, J. L. M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 43-60, Curitiba, 1995.

GUERIF, J. Effects of compaction on soil strength parameters. **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier Science, cap. 9, p. 191-213, 1994.

HAKANSSON, I. and MEDVEDEV, V. W. Protection on soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, v. 35, p. 85-97, Amsterdam, 1995.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. and RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, v. 11, p. 239-282, Amsterdam, 1988.

HERBAUTS, J.; BAYAD, J. and GRUBER, W. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium. **Forest Ecology and Management**, v. 87, p. 193-207, 1996.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A. and OUWERKERK, VAN C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v. 35, p. 23-36, 1995

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

JAKOBSEN, B. F. & GREACEN, E. L. Compaction of sandy forest soils by forwader operations. **Soil & Tillage Research**, v. 5, n. 1, p. 55-70, 1985.

KALAGHE, A. G. and MANSY, W. Effect of different site-preparation intensities on growth of *Pinus patula* at Sao Hill, Tanzania. **Forest Ecology and Management**, v. 29, p. 29-38, Amsterdam, 1989.

KANTOLA, M. e HARSTELA, K. Manual de tecnologias apropriadas às operações florestais em países em desenvolvimento - parte 2. Programa de Treinamento Florestal Publicação n. 9 Direção Nacional de Educação Vocacional do governo da Finlândia. Helsink. p. 202, 1994.

KOOISTRA, M. J. and TOVEY, N. K. Effects of compaction on soil microstructure. **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier Science, cap. 5, p. 91-111, 1994.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil & Tillage Research**, v. 27, n. 1-8, Amsterdam, 1993.

- MAC DONAGH, P. M. Avaliação técnico-econômica da extração de *Pinus sp.* utilizando tratores com garra no sul do Brasil. Curitiba, 1994. **Dissertação de Mestrado**. Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
- MCNABB, D. H. and HOBBS, S. D. Shallow tillage fails to increase 5 year growth of ponderosa pine seedlings. **Northwest Science**, v. 63, p. 241-245, 1989.
- MCKYES, E. Soil properties and plant growth. **Soil Cutting & Tillage**. Elsevier Science. cap. 5, p. 105-124, 1985.
- MAIA, J. L. S., CONDI, L. G. B., TIBURCIO, V. C. S. Colheita florestal e meio ambiente na Duratex. In: : **IX Seminário de Atualização Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Curitiba, 1996.
- MALINOVSKI, R. e MALINOVSKI, J. R. Evolução dos sistemas de colheita de pinus na região sul do Brasil. p. 138, Fupef. Curitiba, 1998.
- MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**. EPAMIG, v. 19, n. 147, p. 52-56, 1987. Belo Horizonte/ MG.
- MARTINS, S. S.; COUTO, L.; TORMENA, C. A. e MACHADO, C. C. Impactos da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. **Revista Árvore**. Viçosa, Minas Gerais, v.22, n. 1, p. 69-76, 1998.
- MAZUCHOWSKI, J. Z. e DERPSCH, R. Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas. Acarpa, p. 68, Curitiba, 1984.
- MELO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A. e KIEHL, E. J. **Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Nobel, 1984 p. 400
- MHANDO, M.L.; MALIONDO, S. M. and MUGASHA, A. G. Early response of *Eucalyptus saligna* to sites preparation and fertilisation at Sao Hill, Tanzania. **Forest Ecology and Management**, v. 62, p. 303-311, 1993.
- MISRA, R. K. & GIBBONS, A.K. Growth and morphology of eucalypt seedling - roots, in relation to soil strength from compaction . **Plant and Soil**, v. 182, n 1, p.1 - 11, 1996.
- MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. USP, Polígono, São Paulo, 1972.
- NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. **Soil Science Society American Journal**, v. 60, p. 1629-1642, 1996.
- NORRIS, C. H. and STUART, R. Regeneration methods. . Institute for Commercial Forestry Research. **Annual Research Report**, p. 35-69, 1995.

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

OLIVEIRA, V. A. B.; NOVAIS, R. F. e NEVES, J. C. L. Raízes e tocos de mudas de *Eucalyptus* como fontes de nutrientes para as brotações. **Revista Árvore**, Viçosa/ MG, v. 18, n. 1, p. 22-32, 1994.

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

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

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. 1,3, p. 215-229. 1994.

RAB, M. A. Impact of timber harvesting on soil disturbance and compaction with reference to residual log harvesting in East Gippsland, Victoria - a review. **Native Forest Research**, Department of Conservation and Environment, Victoria, Australia, p. 18, 1992.

RAB, M. A. Rehabilitation of snig tracks and landings following of *Eucalyptus regnans* forest in the Victorian Central Highlands - a Review **Australian Forestry**, v. 61, n. 2, p. 103-113, 1998.

RAB, M. A. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus reganans* forest of southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 84, n. 1-3, august, p. 159-176, 1996.

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

REISINGER, T. W. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the south. **Journal of Applied Southern Forestry**, v. 12, n. 1, february, 1988.

ROESLER, E.X. e MOREIRA, A. M. Sistemas de preparo do solo após colheita florestal mecanizada de *Pinnus taeda*. **X Seminário de Atualização em Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Anais, p. 197-215, Curitiba, 1998.

SALMERON, A. e RIBEIRO, R. S. Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. In: **X Seminário de Atualização Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. Anais, p. 95-106, Curitiba, 1998.

SANDS, R. and BOWEN, G. D. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. II. Effects of compaction on root configuration and growth of radiata pine seedlings. **Australian Forest Research**, n. 8, p. 163-170, 1978,

SANDS, R.; GREACEN, E. L. and GERARD, C. G. Compaction of sands soils in radiata pine forests: I. A Penetrometer Study. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, n. 1, p. 101-113, 1979.

SCOPEL, I.; ROCHA, H. O.; MALINOVISKI, J. R. e KOPYAMA, M. Riscos de compactação do solo na produção florestal. In: **Seminário de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal**. p173-193, Curitiba, 1992.

SEIXAS, F.; RUMMER, R. e STOKES, B. J. A colheita de madeira nos Estados Unidos: a busca do manejo sustentado em equilíbrio com o meio ambiente. In: **IX Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal**. p.73-94, Curitiba, 1996.

SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. e CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 2, p. 91-95, Campinas/ S P, 1986.

SMITH, C. T. Journal of the N.Z. Institute of Forestry Inc.- **New Zealand Forestry**, august, p. 19-21, 1994.

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

SMITH, C. W. **Soil compaction**. . Institute for Commercial Forestry Research. **Annual Research Report**, p. 70-105, 1995.

SOANE, B. D. The Role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, 16, 179-201 n. 1-2, 1990.

SOANE, B. D. and OUWERKERK, C. VAN Soil compaction problems in world agriculture. **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier Science, cap. 1, p. 1-21, 1994.

STAPE, J. L.; MADACHI, J.C.; BACACICCI, D. D. e OLIVEIRA, M. C. Manejo de brotação de *Eucalyptus spp*: Resultados Técnico-Operacionais. Circular Técnica, n. 183, agosto de 1993, IPEF, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais-Piracicaba-SP.

THEODOROU, C.; CAMERON, J. N. and BOWEN, G. D. Growth of roots of different *Pinus radiata* genotypes in soil at different strength and aeration. **Australian Forestry**, v. 54, n. 1,2, p. 52-59, 1991.

USDA, In: **National Soil Survey Handbook**, "Bulk densit, One-tenth Bar or One-third Bar. Internet <http://webofscience.fapesp.br/CIW.cgi?&new.USA>, 1999.

VOMOCIL, J. A. and FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the ASAE**, v.4, n. 2, p. 242-246, 1961.

VOORHEES, W.B. Relative Effectiveness of Tillage and Natural Forces in Alleviating Wheel-Induced Soil Compaction. **Soil Science Society American Journal**, v. 47, p. 129-133, 1983.

WARKOTSCH, P. W.; HUYSSSTEEN, VAN L. and OLSEN, G. J. Identification and quantification of soil compaction due to various harvesting methods - a case study. **South African Forestry Journal**, n. 170, p. 8-15, september, 1994.

WHITMAN, A. A.; BROKAW, V. L. and HAGAN, J. M. Forest damage caused by logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. **Forest Ecology and Management**, v. 92, 1-3, p. 87-96, 1997. Amsterdam.

WOLKOWSKI, R. P. Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrients availability and crop growth: a review. **J. Prod. Agric.**, v. 3, n. 4, p. 460-469, 1990.

WORRELL, R. and HAMPSON, A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils - a review. **Forestry**, v. 70, n. 1, p. 61-84, 1987.

WRONSKI, E. B. Impact of tractor thinning operations on soil and tree roots in a karri forest. **Australian Forestry Research**. n. 14, p. 319-332, Western Australia, 1984.

WRONSKI, E. B. and MURPHY, G. Responses of forest crops to soil compaction. **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier Science, cap. 14, p. 317-342, 1994.

XU, X.; NIEBER, J. L. and GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 56, p. 1743-1750, 1992.

ANEXOS

ANEXO 1 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA DENSIDADE DO SOLO NA PROFUNDIDADE ENTRE 0 - 10 cm, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO	95
ANEXO 2 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE ENTRE 0 - 10 cm, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO	95
ANEXO 3 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO (g/g) NO MOMENTO DA AVALIAÇÃO COM O PENETRÓGRAFO PARA AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	96
ANEXO 4 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 100 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 10 cm DE PROFUNDIDADE.....	96
ANEXO 5 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 15 cm DE PROFUNDIDADE.....	97
ANEXO 6 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 20 cm DE PROFUNDIDADE.....	97
ANEXO 7 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 150 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 5 cm DE PROFUNDIDADE.....	98
ANEXO 8 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE INCREMENTO EM DAP PARA O SOLO ARGILOSO - SÃO MIGUEL ARCANJO.....	98

ANEXO 1 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA DENSIDADE DO SOLO NA PROFUNDIDADE ENTRE 0 - 10 cm, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0.0996234	0.0498117	4.8509	0.01669
Residuo	24	0.2464433	0.0102685		
Total	26	0.3460667			

C.V. = 11.662%

ANEXO 2 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE ENTRE 0 - 10 cm, NO SOLO DE TEXTURA ARGILOSA - SÃO MIGUEL ARCANJO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	140.6757886	70.3378943	4.6445	0.01930
Residuo	24	363.4638354	15.1443265		
Total	26	504.1396240			

C.V. = 5.846%

ANEXO 3 - VALORES MÉDIOS DE UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO (g/g) NO MOMENTO DA AVALIAÇÃO COM O PENETRÓGRAFO PARA AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

SOLO	PROFUNDIDADE cm	UMIDADE GRAVIMÉTRICA (g/g)
TEXTURA MÉDIA	0 a 10	0,07
	10 a 20	0,09
	20 a 30	0,09
	30 a 40	0,09
	40 a 50	0,09
	50 a 60	0,09
TEXTURA ARGILOSA	0 a 10	0,37
	10 a 20	0,42
	20 a 30	0,45
	30 a 40	0,43
	40 a 50	0,42
	50 a 60	0,41

ANEXO 4 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 100 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 10 cm DE PROFUNDIDADE

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0.0268707	0.0134354	6.1396	0.02065
Residuo	9	0.0196947	0.0021883		
Total	11	0.0465655			

C.V. = 2.999%

ANEXO 5 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 15 cm DE PROFUNDIDADE

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0.1092240	0.0546120	5.7535	0.02433
Residuo	9	0.0854282	0.0094920		
Total	11	0.1946522			

C.V. = 6.802%

ANEXO 6 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 20 cm DE PROFUNDIDADE

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0.1339748	0.0669874	5.4349	0.02800
Residuo	9	0.1109290	0.0123254		
Total	11	0.2449038			

C.V. = 8.034%

ANEXO 7 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO ARGILOSO, SÃO MIGUEL ARCANJO, À 150 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO E 5 cm DE PROFUNDIDADE

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0,1228750	0,0614375	5,4784	0,0254
Residuo	9	0,1009300	0,0112144		
Total	11	0,223805			

C.V. = 8.034%

ANEXO 8 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE INCREMENTO EM DAP PARA O SOLO ARGILOSO - SÃO MIGUEL ARCANJO

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Trat.	2	0.9621510	0.4810755	6.4855	0.00450
Residuo	33	2.4478491	0.0741772		
Total	35	3.4100001			

C.V. = 8.058%