

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO PÓ DE LÃ DE CARNEIRO EM ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

POR

ANTÔNIO JAVAREZ JÚNIOR

Orientador:

Prof.Dr. NEWTON ROBERTO BONI

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Antônio Javarez Júnior e aprovada pela Comissão Julgadora em 20 de setembro de 1996. Campinas, 21 de maio de 1997

[Assinatura]
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Campinas, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração de Água e Solo, obtenção do título de Mestre

Campinas, SP

Setembro de 1996

9422526



UNIDADE	78C
N.º CHAMADA:	7328a
V.	Ex
TOMBO BC/	32280
PROG.	281/97
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	27/11/97
N.º CPD	

CM-00103579-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

J328a

Javarez Júnior, Antônio.

Avaliação da aplicação do pó de lã de carneiro em algumas características físicas e químicas do solo / Antônio Javarez Júnior.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Newton Roberto Boni.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Resíduos orgânicos - Reaproveitamento. 2. Resíduos industriais. 3. Física do solo. 4. Química do solo I. Boni, Newton Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

À Antonio e Clarice Javarez,

os melhores pais que uma pessoa poderia desejar;

e Cristina, Marcelo, Mateus e Osvaldo

com muito amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Newton Roberto Boni, pela confiança, compreensão e paciência na condução deste trabalho;

Aos Prof. Dr Carlos Roberto Espíndola e Durval Rodrigues de Paula Júnior, membros de meu comitê de orientação, pela contribuições e principalmente por toda a atenção dispensada;

Aos Prof. Dr. Jairo Antônio Mazza e Luiz Antônio Daniel, pelas sugestões apresentadas durante o exame de qualificação;

À Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, pelo acolhimento, pela liberdade que me deu e o apoio em todo o processo envolvido na realização de uma dissertação;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do mestrado;

Ao Instituto de Zootecnia, Sede de Nova Odessa - SP, nas pessoas do Dr. Paulo Bardauil e Eng. Agrônomo Darcy, pelas condições oferecidas para a realização deste trabalho; e aos funcionários, os quais não poderia me esquecer jamais pela excelente acolhida e boa vontade no desenvolvimento do trabalho de campo;

Ao CNPQBA, pelo apoio e empréstimo de equipamentos importantes para a realização deste trabalho;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela realização de análises químicas;

À Célia P. Gonçalves, técnica do Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP, pela grande ajuda prestada na realização das “pouquíssimas” análises físicas, pelo empenho, paciência e carinho de todos os dias durante o tempo em que invadi e tomei conta do laboratório;

À Aninha (Ana Paula, famosa “for windows”) e Marta, pela enorme paciência de Jó e por todo o carinho, vocês são super;

Aos funcionários André, Anésio, Clovinho, Edgar, Mara, Suzeli, Rose e a todos os outros que com boa vontade e carinho sempre se dispuseram a ajudar;

À todos os GRANDES AMIGOS que muito contribuíram, quer de forma direta ou indireta, para o desenvolvimento deste trabalho e, principalmente, por tornarem menos infeliz minha adaptação a CAMPINAS.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	v
LISTAS DE TABELAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
2.2. MATÉRIA ORGÂNICA	6
2.3. DENSIDADE DO SOLO E DE PARTÍCULAS	9
2.4. POROSIDADE	11
2.5. ESTRUTURA DOS SOLOS	12
2.6. ÁGUA NO SOLO	17
2.7. FERTILIDADE	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO	23
3.3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO DE CAMPO	26
3.3.1. Trabalho preliminar	26
3.3.2. Instalação do experimento	29
3.4. PERÍODO E FORMA DE AMOSTRAGEM	32
3.5. ANÁLISES REALIZADAS	33
3.5.1. Análise granulométrica	33
3.5.2. Densidade do solo e de partículas	33
3.5.3. Porosidade	34
3.5.4. Estabilidade de agregados em água, álcool e benzeno	34
3.5.5. Curva característica de umidade	35
3.5.6. Análises químicas	36
3.5.7. Análise da cultura	36
3.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. DENSIDADE DO SOLO E DE PARTÍCULAS	39
4.2. POROSIDADE	44
4.3. ESTRUTURA DO SOLO	51
4.4. CURVA CARACTERÍSTICA DE UMIDADE	59
4.5. FERTILIDADE DO SOLO	63
4.6. DESENVOLVIMENTO DA CULTURA	77
4.6. REGRESSÃO LINEAR	78
7. CONCLUSÕES	82
7. LITERATURA CONSULTADA	84

Lista de Figuras

Figura 01 - Podzólico Vermelho Amarelo epiálico latossólico.....	23
Figura 02 - Incorporação de 40 t/ha de resíduo de lã de carneiro com uma passagem da enxada rotativa.	31
Figura 03 - Incorporação de 40 t/ha de resíduo de lã de carneiro com duas passagem da enxada rotativa.	31
Figura 04 - Alterações na Densidade do solo ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	40
Figura 05 - Relação entre o volume de poros totais (VPT) determinados pelos métodos direto e indireto	46
Figura 06 - Alterações no VPT ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.(método indireto)..	46
Figura 07 - Alterações no volume de poros totais (VPT), macro e micro porosidade ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro... ..	50
Figura 08 - Alterações na estabilidade de agregados em água ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	52
Figura 09 - Alterações na estabilidade de agregado com pré tratamento em álcool ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	56
Figura 10 - Alterações na estabilidade de agregando com pré tratamento em benzeno ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro... ..	58
Figura 11 - Alterações no teor de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	62
Figura 12 - Alterações no teor de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	68
Figura 13 - Alterações no teor de nitrogênio total ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	68
Figura 14 - Alterações na Relação C/N ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	71
Figura 15 - Alterações no pH ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro	73
Figura 16 - Alterações na Saturação por base (V%) ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	73
Figura 17 - Alterações na Saturação por alumínio (m%) ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.....	76

Lista de Tabela

Tabela 01 - Valores de análises físicas de amostras coletadas no perfil do solo que se apresenta na área experimental.	24
Tabela 02 - Valores de análises químicas de amostras coletadas no perfil do solo que se apresenta na área experimental.	24
Tabela 03 - Composição química do resíduo resultante do processamento da lã de carneiro pela Cia. Prada Indústria e Comercio.....	25
Tabela 04 - Médias de 16 determinações de densidade do solo, coletadas em novembro de 1995, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.....	40
Tabela 05 - Médias de 16 determinações de densidade de partículas, coletadas em novembro de 1995, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.....	43
Tabela 06 - Médias de determinações de volume total de poros obtidos de análises realizadas pelos métodos direto e indireto	45
Tabela 07 - Médias de 4 determinações de macro e microporosidade, amostradas em novembro de 1995, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.....	49
Tabela 08 - Médias de 16 determinações de estabilidade de agregados em água, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo, 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.	52
Tabela 09 - Médias de 16 determinações de estabilidade de agregados, embebidas em álcool,, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo, 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.....	56
Tabela 10 - Médias de 16 determinações de estabilidade de agregados, embebidas em benzeno, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo, 30, 60 e 120 dias após a incorporação.	57
Tabela 11 - Médias de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, coletadas em novembro de 1995	60
Tabela 12 - Médias de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, referente coletas realizada 60 dias após a incorporação do resíduo	60

Tabela 13 - Médias de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, referente coletas realizada 120 dias após a incorporação do resíduo	61
Tabela 14 - Médias de 4 determinações de matéria orgânica, nitrogênio total e Relação C/N das amostras coletadas em novembro de 1995, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo	65
Tabela 15 - Médias de 4 determinações de fertilidade do solo, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo.....	65
Tabela 16 - Médias de 4 determinações de fertilidade do solo, referente as amostras coletadas 60 dias após a incorporação do resíduo.....	66
Tabela 17 - Médias de 4 determinações de fertilidade do solo, referente as amostras coletadas 120 dias após a incorporação do resíduo.....	66
Tabela 18 - Médias de determinações de altura e diâmetro de plantas, produção do milho em espiga e grãos e rendimento de grãos.....	78
Tabela 19- Valores de índice de determinação (R^2) e coeficiente de correlação (r), para os confrontos das regressões lineares das amostras coletadas 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo	81

RESUMO

O aumento na produção de resíduos, provenientes principalmente de indústrias, tem provocado nos últimos anos crescente preocupação com o destino que é dado aos mesmos, pois acarretam problemas sérios de armazenamento e descarte, devido a sua carga poluidora e ao grande volume produzido. Muitos destes resíduos são constituídos basicamente por materiais orgânicos, sendo possível a sua reutilização. Dentre as várias formas de utilização, a aplicação do resíduo orgânico de forma direta ao solo apresenta-se com grandes perspectivas. O pó de lã é proveniente da industrialização da lã de carneiro, sendo produzido em grandes quantidades e apresentando problemas sérios de descarte. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a possibilidade de uso deste resíduo em aplicação direta ao solo e qual o seu efeito sobre algumas características do solo e na cultura do milho. Incorporou-se ao solo o pó residual de lã de carneiro nas quantidades de 0, 5, 10, 20 e 40 t/ha e 40 t/ha em deposição superficial, sendo realizadas coletas de amostras em diferentes épocas no decorrer do ensaio. A baixa densidade do resíduo ($0,04 \text{ g/cm}^3$) foi responsável de forma direta pela redução nos valores de densidade do solo (D_s) e de partículas (D_p), bem como no aumento do volume de poros total (VPT) e macroporosidade. O tratamento com incorporação de 40 t/ha do resíduo foi o que apresentou maiores variações, sendo seus valores para as coletas feitas no início (antes do preparo do solo) e no final do experimento, respectivamente, de D_s 1,42 e $1,13 \text{ g/cm}^3$, de VPT 47,44 e 57,78% e macroporos 8,53 e 23,89%. O tratamento com aplicação de 40 t/ha do resíduo, mas sem a incorporação com a enxada rotativa, apresentou variações inferiores. A estabilidade de agregados sofreu redução dos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) determinados no início do ensaio para as demais amostragens, as quais apresentaram resultados semelhantes entre si. A análise química demonstrou que o resíduo proporcionou a diminuição dos valores de pH no decorrer do ensaio, com exceção da testemunha que apresentou elevação, sendo que as maiores alterações ocorreram nos tratamentos com presença de maiores quantidades do resíduo. Houve incremento significativo nos teores de matéria orgânica e N total no solo em todos os tratamentos referentes a amostragem realizada 60 dias após a incorporação, diminuindo em seguida. De forma geral, houve diminuição da fertilidade do solo. A aplicação do resíduo de lã de carneiro no solo é viável, sendo possível a sua utilização como fonte de matéria orgânica e condicionador físico do solo. É recomendável, entretanto, que outros estudos sejam conduzidos, no sentido de se avaliar o efeito prolongado deste resíduo no solo, a sua viabilidade operacional e econômica.

ABSTRACT

The increase in the production of residues proceeding mainly from industries, has provoked growing preoccupation with its destination, because they have caused serious problems of storage and discard due to its pollutant charge and the great volume produced. Many of these residues are composed basically of organic materials, allowing its reutilization. In the midst of several ways of utilization, the application of organics residue in straight on the soil, has shown great perspectives. The woolen powder, derived from the woolen industrialization, has been produced in large amount and consequently presenting serious problems of discard. Thus, the aim of this present study was to evaluate the real possibility of using this residue in straight application of the soil and its effect on some soil characteristics and the cultivation of maize. The residue was incorporated at 0, 5, 10, 20 and 40 t/ha and superficial deposition of the 40 t/ha. Samples were collected in different periods during the assay. The low density of residue ($0,04 \text{ g/cm}^3$) was responsible directly for the reduction of bulk density and particle density, as well as the increase the pores volume total and macroporosity. The treatment with incorporation of 40 t/ha residue was the one that presented greater variations. Values found in the collect made at the beginning (before tillage) and in the end of experiment, were respectively, 1,42 and $1,13 \text{ g/cm}^3$ (soil density), 47,44 and 57,78% (pores volume total) and 8,53 and 23,98% (macropores). However, the treatment without residue incorporation did not show similar modifications, being always inferior. Aggregate stability suffered decrease of medium pondered diameter (MPD) determined in the beginning of the assay in relation to the other samples, which presented similar results. In general, there was a diminution of the soil fertility, occurring a reduction of nutrients values with an increasing in aluminum tenor, soil acidity, organic material (on the 60 days after incorporation of residue) and total nitrogen. By analyzing the cultivation of maize was observed that the residue did not influenced none of the studied characteristics. Therefore it is possible the application of woolen residue on soil as a source of organic material and physical soil conditioner.

1. INTRODUÇÃO

O aumento na produção de alimentos e fibras, tem proporcionado um acréscimo na produção de resíduos agroindustriais, acarretando um grande problema de destinação dos mesmos pela fonte geradora, bem como para toda a sociedade, uma vez que sua taxa de geração do resíduo é maior que a de degradação, provocando impactos ambientais.

A grande produção desses resíduos tem provocado nos últimos anos crescente preocupação em todos aqueles que se envolvem com qualquer tipo de atividade produtiva ou de transformação, pois já não é mais concebível o simples descarte desses de maneira direta.

Dentre a variedade de resíduos gerados, os organo-minerais apresentam-se na seguinte situação: por um lado são produzidos em grande quantidade, acarretando problemas sérios de armazenamento e descarte; em outra perspectiva, a produção de grandes volumes e pelos altos teores de matéria orgânica e mineral que contém, apresentam ampla possibilidade de reutilização através dos mais variados sistemas e formas.

Muitas são as indústrias, principalmente na região sudeste do Brasil, que produzem resíduos orgânicos em quantidade elevada e que a princípio seriam passíveis de reaproveitamento à nível industrial, ou de aplicação direta ao solo na forma de adubos orgânicos, o que pode ser economicamente viável.

Um resíduo a ser aplicado no solo deve apresentar determinadas características favoráveis: não possuir elementos patogênicos e nem possuir uma concentração de metais pesados superior àquela na qual a concentração no solo ultrapasse os limites aceitáveis pela legislação vigente, ser biodegradável dentro de um padrão de tempo razoável, não formar substâncias tóxicas e possuir boa relação entre carbono e nitrogênio.

O pó de lã é um subproduto da industrialização da lã de carneiro utilizada na fabricação de chapéu, casacos e outros produtos, sendo rico em matéria orgânica, nitrogênio e outros elementos considerados fertilizantes. Este material não apresenta contaminação por patógenos ou metais pesados, porém, é descartado pela indústria, em virtude de atualmente não se visualizar nenhuma outra possibilidade de utilização.

Em uma indústria de Limeira-SP, a produção deste resíduo é elevada, e seu descarte envolve custos onerosos à empresa e à sociedade local, pois a sua deposição em aterros sanitários municipais implica na ocupação de grandes áreas e em altos custos no descarte.

A exemplo do que ocorre no Estado São Paulo, outras regiões do país também processam a lã de carneiro, sendo que do processo industrial resulta um resíduo (pó) que é descartado. Este e outros resíduos poderiam ser utilizados como fonte de nutrientes (compostagem, aplicação direta no solo, cobertura para horta, etc.), ao invés de ser simplesmente descartado como um rejeito qualquer.

Para se determinar a possibilidade de uso dos resíduos na agricultura, deve-se analisar a atuação dos mesmos como agentes que promovam alterações nas características físicas e/ou químicas do solo, favorecendo um melhor desenvolvimento das plantas. Portanto, é o objetivo deste trabalho:

- Avaliar a possibilidade de uso do resíduo da lã de carneiro direto no solo, utilizando-o como fonte de matéria orgânica e condicionador do solo;
- Analisar a influência da aplicação de diferentes quantidades do resíduo sobre algumas das características físicas e químicas do solo, bem como o seu efeito na intensidade das alterações promovidas nas características do solo
- Verificar a influência de diferentes quantidades do resíduo na cultura de milho (*Zea mays* L.).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais

Toda atividade humana provoca mudanças no solo, mas a intensidade varia com o grau de distúrbio, sendo que as transformações podem ser positivas ou negativas. Sabe-se que os constituintes minerais e orgânicos do solo estabilizam-se a dadas condições e quando elas mudam, espera-se alguma mudança daquele estado de equilíbrio (COSTA, 1985).

O uso intensivo do solo na exploração agrícola tem levado a um desgaste prematuro de sua camada superficial. Muitas vezes, a utilização indiscriminada do solo é agravada pelo seu manejo inadequado, com o uso excessivo de máquinas (DANIEL et al., 1995). Segundo COSTA (1985) a capacidade do solo de suportar essas condições varia com a sua classe, pois dois solos diferentes podem ser degradados fisicamente em períodos de tempo bem distintos.

Para VIEIRA (1985) os fatores relacionados com o preparo do solo que podem causar modificações físicas no perfil são: intensidade de revolvimento, tipo de equipamento, manejo de resíduos vegetais e suas condições de umidade no momento de preparo.

Aração e gradagem, enterrando os resíduos vegetais e pulverizando o solo, é a técnica de preparo de solo mais usual sendo denominada de convencional. Essa técnica tem acelerado o processo erosivo, deixando muitas áreas impróprias para a agricultura. Uma outra

resíduos culturais na superfície, provocando alterações no solo diferentes daquelas resultantes do preparo convencional (CASTRO, 1987).

Para DANIEL et al. (1995), na formação de camadas de solo compactado em decorrência de diferentes sistemas de manejo do solo, pode-se afirmar que, de uma forma geral, cada sistema de mobilização e cultivo, em função do equipamento utilizado, confere ao perfil agropedológico diferentes situações de compactação.

ALLISSON (1973) afirma que o cultivo ou o revolvimento do solo aumenta sua atividade biológica, o que atribui à melhor aeração decorrente dessa mobilização, sendo que o cultivo ano após ano é capaz de reduzir sensivelmente o conteúdo de matéria orgânica do solo, acarretando a deterioração de suas propriedades físicas.

Diversos autores são citados por FERNANDES (1993), onde se confirma o efeito do cultivo sobre o teor de matéria orgânica, provocando sua redução. Porém, a maioria dos trabalhos consideram apenas os aspectos quantitativos da matéria orgânica, deixando de lado a sua qualidade, que possui a mesma importância, pois o manejo do solo afeta a quantidade mas também a qualidade (COSTA, 1985).

A matéria orgânica do solo é amplamente responsável, direta ou indiretamente, por um ambiente físico favorável ao crescimento das culturas, sendo que ela atua na agregação do solo, umidade, atividade microbiana e penetração de raízes (KONONOVA, 1975). No que concordam Browning & Milan, citados por LONGO (1994), pois a incorporação de matéria orgânica favorece a infiltração da água, diminui a tendência de dispersão das partículas do solo, reduz as perdas de terra por erosão e beneficia a relação água-ar nos solos.

Para LASSUS (1990) além da quantidade, também a constituição dos resíduos orgânicos incorporados tem influência sobre certas características químicas e biológicas do solo, como a sua capacidade de troca de cátions (CTC) e a composição de sua microflora.

Nas zonas tropicais, onde o processo de estabilização microbiológica da matéria orgânica é relativamente rápido, o conhecimento da quantidade e composição da mesma é relevante quando se procuram estabelecer sistemas de cultura adaptados à recuperação e conservação de solos agrícolas.

LAMBAIS (1992) cita que os resíduos orgânicos têm sido utilizados há séculos para melhorar a produção agrícola, através de sua incorporação direta no solo. Eles são considerados fertilizantes de baixo teor de nutrientes, contendo normalmente apenas 10 a 20% dos nutrientes encontrados nos fertilizantes químicos, e para que se tenha o efeito NPK equivalente, os resíduos orgânicos devem ser aplicados numa dosagem 5 a 10 vezes superior (COSTA, 1989).

O autor afirma ainda que existe uma variada fonte de materiais que pode ser utilizada como adubo orgânico. São geralmente resíduos de origem animal ou vegetal e subprodutos agroindustriais com alto teor de carbono. A composição química e o valor fertilizante destes produtos dependem do tipo e origem do material utilizado.

A incorporação de materiais orgânicos deve ser realizada como uma alternativa de complementação para melhorar as condições específicas de um dado solo, com provável redução de custos, ou ainda dentro de um plano estabelecido de reciclagem de resíduos disponíveis localmente e que poluam o ambiente (IGUE et al., 1984).

No Brasil, ainda existe um desconhecimento muito grande com relação a produção, disponibilidade e localização dos resíduos agroindustriais. No que diz respeito a volumes, os

valores obtidos em São Paulo na safra 82-83 dão uma idéia da distribuição do material orgânico, sendo que 53,8% dos resíduos provém da agricultura, 46,1% da agroindústria e 0,1% do lixo urbano (COSTA, 1989).

Um dos principais cuidados que devem ser tomados quando da utilização de resíduos industriais é à sua qualidade. É importante conhecer a qualidade e a quantidade de seus componentes, tomando-se o cuidado com a presença de alguns poluentes que podem existir, como é o caso dos metais pesados (COSTA, 1989).

2.2. Matéria orgânica

Segundo ALLISSON (1973), a matéria orgânica é o centro de todas as atividades da vida do solo, incluindo aquelas da microflora, da micro e mesofauna e do sistema radicular das plantas superiores, atuando como fonte de alimento para as várias formas de vida encontradas no solo.

De acordo com BAVER et al. (1972), a matéria orgânica é fonte de energia e nutrientes para os microrganismos, quando incorporada ao solo, contribuindo assim para um sensível aumento na atividade e população microbiana. A partir de sua mineralização pelos microrganismos são adicionados ao meio elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Em geral, o teor de matéria orgânica de um solo depende do tipo e manejo deste solo, do clima local, e está em equilíbrio com estes fatores, sendo, portanto, difícil alterá-los. Além disso, a matéria orgânica adicionada ao solo se decompõe rapidamente, permanecendo

apenas uma pequena fração do material inicial como substância humificada estável (COSTA, 1989).

Segundo Broder et al., citados por MELLO (1994), o padrão de decomposição dos resíduos é afetado por fatores químicos e climáticos. Browning & Milan, citados por LONGO (1994), evidenciam ainda que fatores como solo, clima, população microbiana, tipo e quantidade de matéria orgânica influenciam a resposta que se pode esperar após a aplicação de resíduos orgânicos ao solo.

Considera-se que apenas o húmus, constituído principalmente por ácidos húmicos e polissacarídeos, influi significativamente na maiorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Já a fração não humificada é uma importante fonte de alimento e energia para os macro e microrganismos, além de estimular o crescimento de raízes (LONGO, 1994).

MINHONI et al. (1990) relatam que a velocidade de decomposição reflete o grau de biodegradabilidade do material orgânico adicionado ao solo. A biodegradabilidade, segundo LAMBAIS (1992), diminui com a redução do tamanho da cadeia, sendo as formas insaturadas menos biodegradáveis do que as saturadas, da mesma forma que as cadeias ramificadas em relação às lineares e as cíclicas em relação as abertas.

Desta forma, os açúcares, amidos e proteínas simples são os que se decompõem em primeiro lugar; a seguir há a decomposição da proteína bruta e da hemicelulose. Os outros compostos, como celulose, lignina e gorduras são os mais resistentes ao processo de decomposição (MIYASAKA et al., 1983).

O teor de N presente na matéria orgânica é um fator importante a ser considerado na decomposição da mesma. Segundo ALLISSON (1973), o teor de nitrogênio do húmus é de 5,0

a 5,5%, com uma relação C/N de 9 a 12. Se o material de origem for muito rico em nitrogênio, considerável quantidade de amônia é liberada, enquanto que no caso de materiais mais pobres, a decomposição pode ser mais demorada, mas todo o nitrogênio será assimilado pelos microrganismos do solo e talvez algum nitrogênio seja adicionado de fontes exteriores, de modo a produzir um húmus com cerca de 5% de nitrogênio.

Segundo TSAI et al. (1992), as alterações na constituição do ar do solo governam o crescimento e atividade da microbiota, pois CO₂ e O₂ são necessários ao desenvolvimento. É pouco provável que um solo torne-se suficientemente aerado a ponto de satisfazer toda biota, devido à dificuldade de movimentação gasosa nos poros, baixa difusão de O₂ em meio líquido e microambientes em que os microrganismos estão situados.

Quando os teores de O₂ no solo são inferiores a 8%, há indução de processos anaeróbicos, principalmente em microssítios onde a difusão gasosa é lenta, sendo que esses valores podem variar em função do tipo de solo. Teores médios de O₂ favorecem processos como a fixação biológica de nitrogênio, a humificação microaerofílica e a imobilização de nitrogênio. Baixas tensões de O₂, tanto quanto tensões muito altas, diminuem a produção de nitratos. (TSAI et al., 1992)

Segundo PRIMAVESI (1990), a estabilidade dos grumos não depende apenas de existir matéria orgânica no solo, mas que estas sejam decompostas, principalmente por bactérias aeróbias.

2.3. Densidade do solo e de partículas

A densidade do solo é uma medida muito útil a ser tomada quando se pensa em manejo do solo. De modo geral, ela aumenta com o tempo de cultivo do solo (CASTRO, 1987).

JORGE (1985) afirma que a densidade do solo é um valor variável para um mesmo tipo de solo, alterando-se de acordo com a estrutura. Diz ainda que o manejo incorreto de uma terra de cultura provoca a compactação, alterando a estrutura e, conseqüentemente, a densidade do solo.

LASSUS (1990), trabalhando em um Podzólico Vermelho Escuro durante dez anos, com o manejo de nove sistemas de cultura, constatou que em todos os tratamentos a matéria orgânica está compreendida mais superficialmente, sendo que menos de 5% da matéria orgânica está entre 3,0 e 7,5 cm.

A compactação superficial do solo tem sido apontada como sendo uma consequência da mecanização agrícola. Comparando-se a densidade do solo nos sistemas de preparo de solo convencional e plantio direto, observa-se que o plantio direto apresentou um aumento significativo na camada superficial, por não sofrer o revolvimento periódico e pela presença de resíduos das culturas anteriores, o que também ocorre no solo sob preparo convencional, porém, com a presença da área adensada denominada de pé-de-arado (CASTRO, 1987).

NOVAK (1987) considera que a tendência do aumento da densidade do solo após a passagem de máquinas agrícolas não determina, necessariamente, prejuízos ao desenvolvimento das plantas, pois a compactação em alguns solos pode aumentar a quantidade de água retida na faixa de disponibilidade para as plantas.

DANIEL et al. (1995) demonstraram que, de maneira geral, tratamentos onde há maior grau de mobilização do solo, tais como arado de disco, grades aradoras e enxada rotativa, expressam valores altos de resistência do solo a penetração, indicando formações e presença de camadas compactadas.

Há um efeito direto sobre a densidade do solo e de partículas, resultante da simples presença da matéria orgânica (COSTA, 1985), sendo que a sua adição em grandes quantidades, tende a diminuir os valores de densidade do solo na superfície, da mesma forma que o cultivo de gramíneas. O cultivo intensivo, por outro lado, age de forma contrária, aumentando os valores de densidade do solo (BUCKMAN & BRADY, 1967)

Segundo COSTA, (1985) a densidade do solo também é influenciada de forma indireta pela matéria orgânica adicionada ao solo, resultante do efeito modificador da mesma na estrutura do solo.

Entretanto, JORGE et al. (1991) constataram que a aplicação de doses de 40 e 80t/ha de lodo de esgoto, de uma única vez e de forma parcelada durante quatro anos respectivamente, não apresentou diferença nos valores de densidade do solo.

O conteúdo de matéria orgânica pode ter influência sobre a densidade de partículas de um solo, sendo que, de modo geral, em horizontes superficiais, a densidade de partículas tem valor mais baixo do que em horizontes subsuperficiais. Isso se deve ao menor peso específico da matéria orgânica em relação ao mesmo volume de sólidos minerais (Lyon & Buckman, citados por FERNANDES, 1993).

GUIMARÃES et al. (1996), estudando a variabilidade da densidade do solo em diferentes sistemas de preparo, constataram que não ocorrem diferenças nas áreas de preparo de

solo com escarificador e arado de discos, apresentando valores superiores quando comparado com o preparo com enxada rotativa, porém, este foi o preparo de solo que apresentou maior uniformidade nas densidades amostradas.

2.4. Porosidade

JORGE et al. (1991), trabalhando com a aplicação de doses de lodo de esgoto tem um Latossolo Vermelho Escuro, constataram não haver diferença significativa de porosidade total entre os tratamentos estudados. Verificaram ainda que nos tratamentos que receberam doses únicas foi favorecida a criação de macroporos, enquanto que nos tratamentos que receberam 80 t/ha de lodo de esgoto fracionadas em quatro anos, houve o favorecimento do aumento relativo de microporos, beneficiado pela criação de agregados grandes e como consequência de uma decomposição menor do material orgânico.

Novak, citado por DANIEL et al. (1995), estabelece um limite mínimo de 10% para macroporosidade, o qual não interfere de forma negativa no desenvolvimento das plantas.

LONGO (1994), trabalhando com perfis em solos sob vegetação natural e eucalipto e em solos com cana-de-açúcar que receberam vinhaça “in natura”, vinhaça biodigerida ou que não receberam vinhaça, verificou que de maneira geral, o cultivo promoveu uma redução na quantidade de macroporos, chegando a apresentar camadas de adensamento nos horizontes subsuperficiais.

SOUZA e COGO (1978), estudando a unidade de mapeamento São Jerônimo -RS, em três sistemas de manejo, constataram que a densidade e a porosidade são afetadas pelo

cultivo, que provoca alterações na relação massa/volume do solo, tanto na camada arável quanto nas subjacentes.

Entretanto, CASTRO (1987) constatou que a porosidade não apresentou diferença significativa entre o preparo de solo convencional e o plantio direto, mesmo nas camadas onde o densidade do solo foi significativamente diferente, notando-se apenas uma tendência de aumento da microporosidade na camada entre 10 e 20 cm do preparo convencional, onde a densidade do solo teve aumento mais acentuado e também menor macroporosidade nas camadas mais superficiais.

2.5. Estrutura dos solos

A estrutura do solo fornece condições importantes para o desenvolvimento vegetal, tais como aeração, disponibilidade de água e minerais e crescimento de raízes, sendo que a sua alteração, reduzindo a percentagem de espaços vazios acima de um certo valor crítico, provoca modificações na relação solo-planta, afetando, com isso, o crescimento das culturas e sua produtividade (OADES, 1984; GUIMARÃES, 1996).

A suscetibilidade do solo a lixiviação, erosão e outros impactos está muito relacionada à sua estrutura, sendo um reflexo dos impactos positivos ou negativos das práticas de manejos adotadas. O cultivo do solo altera sua estabilidade estrutural e reduz a quantidade de matéria orgânica. O que torna a agregação uma das mais importantes características do solo a ser considerada.

A matéria orgânica é um dos principais agentes cimentantes das partículas primárias e secundárias do solo, influenciando, portanto, seu estado de agregação, favorecendo sua aeração e aumentando a capacidade de retenção de água (LONGO, 1994).

Segundo COSTA (1985), atualmente é comum se referir a complexo argilo-orgânico no solo, que é formado pela ligação de compostos orgânicos com sua fração argila, constituindo uma proteção da matéria orgânica de grande interesse ao manejo do solo.

PRIMAVESI (1990) afirma que a bioestrutura do solo consiste em sua forma grumosa, com grumos de diâmetro entre 0,5 e 2,0 mm, estáveis em água, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Esta estrutura depende da matéria orgânica e da vida do solo, pois a micro, meso e macrofauna, assim como as raízes das plantas, influem sobre os grumos. A autora define agregados primários ou de formação química referindo-se à argila floculada, e agregados secundários aqueles cuja estabilidade depende da presença da matéria orgânica e da atividade biológica.

Diversos constituintes orgânicos e inorgânicos participam da união de partículas do solo, sendo a interação entre microorganismos, raízes de plantas e os polímeros orgânicos (húmus) com partículas minerais do solo (argila, silte, areia e óxidos de ferro e manganês) responsável pela origem dos macros e microagregados, base da estrutura do solo (HARRIS et al., 1966). A importância relativa dessas substâncias agregantes varia muito e é dependente da condição ambiental sob a qual os agregados são formados.

Tem-se relacionado a estabilidade dos macroagregados com o conteúdo de matéria orgânica do solo, mas as correlações obtidas não tem sido muito positivas. OADES (1984)

sugere que a quantidade de matéria orgânica, por si só, não é diretamente responsável pelo número e estabilidade dos macroagregados.

Para ARINGHIERI e SEQUI (1978) e DOMAAR (1983) a estabilidade de agregados pode depender mais da disposição da matéria orgânica em relação às partículas minerais do que da quantidade.

Outro fator importante na estabilidade dos agregados é a qualidade da matéria orgânica, como é salientado por UZÊDA (1995), no que concorda SIQUEIRA (1986), o qual ainda afirma que o efeito agregante de materiais orgânicos rapidamente decompostos pelos microorganismos (glicose e polissacarídeos) aumentam a estabilidade estrutural, porém com um efeito pouco duradouro. Segundo COSTA (1985), espera-se um efeito efêmero do resíduo orgânico mais rico em nutrientes, já que sua decomposição é mais rápida.

BAVER e FARWORTH (1972) citam que somente a matéria orgânica sem transformação biológica, não tem efeito sobre a estrutura do solo. Os microorganismos do solo participam da agregação tanto aproximando partículas entre si, como produzindo polissacarídeos que atuam como goma ou cimento. O primeiro mecanismo forma os agregados, o segundo lhes confere estabilidade (ALLISSON, 1973)

A ação da matéria orgânica na agregação está ligada à atividade microbiana do solo. Segundo Martin, citado por FERNANDES (1993), os microorganismos do solo participam tanto na formação como na estabilização de agregados, sendo freqüentemente difícil separar precisamente os dois efeitos.

ROTH et al. (1986) afirmam que altos índices de estabilidade dos agregados podem diminuir a tendência de dispersão do solo, reduzindo assim, a formação de enxurradas e o risco

de erosão. Porém, FARRES (1987) observou que mesmo tendo uma estabilidade de agregados alta, os produtos de desagregação não possuem necessariamente um tamanho grande de partículas, aumentando assim, o risco de selamento superficial.

O diâmetro médio ponderado (DMP) parece ser influenciado por diferenças no teor de matéria orgânica, na atividade biológica, nas oscilações de temperatura e umidade; porém, quando ocorre compactação intensa, os demais efeitos parecem ser minimizados (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

BAVER (1972) observou uma correlação direta entre porcentagem de agregados maiores que 0,1 mm estáveis em água com o teor de carbono orgânico de vários solos; verificou também correlações entre carbono orgânico e agregação em solo com menos de 25% de argila, sendo confirmado através dos dados obtidos por CARPENEDO & MIELNICZUK (1990) em um Latossolo Roxo. ROTH et al. (1991) também obtiveram uma correlação altamente significativa entre o índice de estabilidade de agregados e o conteúdo de matéria orgânica.

OADES (1984) afirma que a maior parte dos macroagregados do solo deve possuir diâmetro entre 1,0 e 10,0 mm, entretanto esses valores podem ser alterados através dos diferentes manejos adotados. RANDO (1981) afirma haver um efeito negativo na estabilidade de agregados para solos cultivados com práticas convencionais de preparo por mais de 10 anos, o que é reforçado pelos resultados obtidos por LONGO (1994), onde os valores de DMP dificilmente ultrapassavam 1,0 mm nos perfis de solo cultivados com cana-de-açúcar.

UZÊDA (1995), trabalhando com diferentes manejos de solo e vegetação em áreas recém desmatadas, observou também que a mecanização e adubação atuaram de forma negativa na estabilidade dos agregados, sendo o tratamento mecanizado o que apresentou menor

diâmetro de macroagregados, em função da pulverização dos mesmos causada pela aração e gradagem. Segundo o autor, além do impacto físico, a redução da matéria orgânica decorrente da aceleração no processo de decomposição afetou a estabilidade dos agregados.

ROTH et al. (1991), estudando fatores físicos e químicos relacionados a agregação, observam que a adubação nitrogenada não evidenciou efeito significativo, enquanto a calagem proporcionou um aumento de estabilidade. Os autores constataram uma relação altamente significativa entre cálcio trocável e o índice de estabilidade de agregados.

Segundo HENIN et al. (1976) uma inferência aproximada da influência da matéria orgânica ou de cátions na agregação pode ser feita através de pré-tratamento das amostras com benzeno e álcool, respectivamente.

Utilizando-se dos pré-tratamento de amostras, UZÊDA (1995) constatou forte correlação entre o diâmetro dos agregados embebido apenas em água e o pré-tratados com benzeno, demonstrando a importância da matéria orgânica.

LONGO (1994) verificou que em todos os perfis analisados, com ênfase para os solos cultivados com cana, apenas o pré-tratamento da amostra com álcool foi o que apresentou certa resistência dos agregados, atingindo diâmetro acima de 1,0 mm, sendo sempre superiores aos outros dois pré tratamento.

CASTRO (1987), trabalhando com preparo de solo em Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, observou maiores porcentagens de agregados de diâmetro mais elevado que o observado no solo sob preparo convencional, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Conforme Sidiras et al., citados pelo autor, essa predominância de agregados grandes no solo sob plantio direto se deve à ausência de movimentação periódica do solo pelos implementos de preparo,

como ocorre no convencional e, também, ao aumento da densidade do solo, que torna o mesmo mais resistente a desagregação.

Dick, citado por UZÊDA (1995), afirma que os processos mediados biologicamente são centrais para a função ecológica dos solos, sendo a atividade biológica a força motriz da degradação de material exógeno, transformação da matéria orgânica e evolução e manutenção da estrutura do solo. Portanto, além dos nutrientes e da matéria orgânica, também a biomassa microbiana e a estrutura do solo espelham a sustentabilidade das formas de manejo adotadas.

2.6. Água no solo

Em abrangente trabalho sobre a variabilidade espacial das propriedades água-solo, Nielsen et al., citados por JORGE (1985), enfatizaram que o teor de água tem distribuição normal com a profundidade, enquanto que os valores de condutividade hidráulica e difusividade da água do solo apresentam uma distribuição logarítmica. Dentre as determinações de laboratório utilizadas para prever o comportamento da água no solo, os autores destacam a curva de retenção. Curvas características são de muita importância na medida em que dão idéia do comportamento da água no solo e da distribuição de seus poros.

A capacidade de retenção de água no solo aumenta com a adição de teores de matéria orgânica, sendo que a evaporação da água no solo durante o período de incubação da matéria orgânica aumenta com o acréscimo da mesma (COSTA, 1985).

CASTRO (1987), estudando alterações físicas em dois latossolos sob preparo de solo convencional e plantio direto, observou maior umidade nas camadas 0-5 e 5-10 cm do

plantio direto. Abaixo dessa profundidade, a retenção de água foi similar nos dois sistemas de preparo do solo. No Latossolo Vermelho Escuro de textura média, as curvas de retenção no preparo de solo convencional e no plantio direto foram semelhantes, sendo um reflexo dos valores de porosidade e matéria orgânica. No primeiro caso houve redução dos macroporos e aumento dos microporos e da matéria orgânica enquanto que no segundo solo não houve diferença da porosidade e, sobretudo, da matéria orgânica.

2.7. Fertilidade

O teor de carbono do solo é função linear da quantidade de resíduos a ele adicionado desde que se mantenham as condições para a decomposição microbiana (LASSUS, 1990. Porém a variação estacional do clima pode levar a uma alteração periódica no teor de carbono orgânico total e nas diferentes formas de carbono (MELO, 1994).

Estudando um Latossolo Roxo no município de Jaboticabal, SP, MELO (1994) constatou alterações significativas nos teores de carbono orgânico total e carboidrato solúvel em função da época de amostragem. Orlando Filho et al., citados por MELO (1994), também constatarem variação estacional no conteúdo de matéria orgânica, ao estudarem o efeito da calagem e da época de amostragem em um Latossolo Vermelho Escuro-orto.

Segundo MELLO et al. (1987), geralmente, a relação do húmus se encontra em torno de 10 a 12/1, ou seja, qualquer que seja essa relação nos materiais orgânicos adicionados ao solo, para que haja acumulação de húmus, ela deve ser transformada a valores próximos de

10/1. Considera-se que aproximadamente 35% do carbono da matéria orgânica adicionada ao solo é assimilada pelos microorganismos que a decompõe, sendo o restante liberado como CO_2 .

Quando a C/N atinge um valor próximo de 17/1, e daí para baixo, há mais nitrogênio que carbono em relação as necessidades dos organismos decompositores, o nitrogênio é liberado como amônia (NH_3), até que a relação C/N se aproxime do valor de equilíbrio com as condições do ambiente (10/1). Daí por diante, a decomposição libera carbono e nitrogênio mais ou menos nessas proporções (KIEHL, 1985; MELO, 1994).

Quanto maior a quantidade de nitrogênio presente no resíduo original, maior será a possibilidade de acúmulo de carbono organicamente combinado. Aparentemente a proporção C/N diz respeito à manutenção da matéria orgânica do solo (BUCKMAN & BRADY, 1967).

Sendo constantes outros fatores, o teor de nitrogênio do solo aumenta com a umidade. A causa está parcialmente na proporção em que a matéria orgânica é decomposta, pois, até certos limites, a produção de vegetação e o conteúdo de nitrogênio no solo aumenta com o suprimento de água. O teor de nitrogênio, nessa condição de umidade, presumivelmente, pode-se atribuir ao maior volume de vegetação retornada e não a um decréscimo na velocidade de decomposição (MELLO et al., 1987).

Estudos feitos em lisímetro mostram que as perdas de nitrato nas águas de drenagem são consideráveis nas regiões de climas úmidos. Pequenas quantidades de Nitrogênio amoniacal e nitroso também podem se perder. Nas regiões de baixa precipitação pluviométrica as perdas de nitrogênio por arrastamento são menores, às vezes desprezíveis. Também há perdas consideráveis por erosão quando há nitrogênio concentrado na camada superficial (MELLO et al., 1987).

COSTA (1985) afirma que a liberação de nutrientes reflete a composição de material utilizado, sendo que o teor de carbono tende a diminuir até atingir uma situação de equilíbrio. Há, também, efeitos indiretos da decomposição da matéria orgânica particularmente no pH da solução do solo.

MELLO et al. (1987) citam que em experimentos feitos em soluções nutritivas mostram que as plantas suportam pH entre 3 e 9, desde que disponham de nutrientes assimiláveis. Entretanto, sabe-se que em condições naturais, o desenvolvimento das culturas se dá melhor entre pH 5,5 e próximo de 7, sendo a faixa de 6 a 6,5 excelentes para a maioria das plantas cultivadas.

O autor afirma ainda que a matéria orgânica fornece prótons H^+ e estes tendem a acidificar os solos, contudo tal acidificação aparece de modo acentuado na acidez potencial, principalmente quando há grandes variações no teor de carbono.

DA COSTA (1993) afirma que CTC e a soma de bases são aumentadas pela mineralização da matéria orgânica e posterior liberação de cátions e ânions, contudo, LASSUS (1990) acredita que, em regiões tropicais, há uma extrema facilidade de decomposição da matéria orgânica, acarretando uma atuação de maneira rápida e efêmera na CTC .

O rápido desenvolvimento de microrganismos resultante da adição de materiais orgânicos ao solo, sobretudo dos ricos em carbono e pobres em nutrientes minerais, pode determinar uma competição entre esses organismos e plantas para aquisição de elementos nutritivos (MELLO et al., 1987).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Área de Estudo

O trabalho de campo foi realizado na Sede do Instituto de Zootecnia, localizada no município de Nova Odessa - SP, sendo utilizada área do campo experimental da Divisão de Nutrição Animal e Pastagem, Seção de Plantas Forrageiras. Nova Odessa localiza-se a 22 km da cidade de Campinas - SP, entre os paralelos 22° 18' de latitude sul e 48° 18' de longitude oeste. A região apresenta relevo ondulado, com declividades fracas e encostas longas, e altitude média de 540 metros.

O clima da região de Nova Odessa apresenta a temperatura variando entre 10 e 35 °C, com média anual de 26 °C, umidade de 76% e precipitação pluviométrica anual de 1317 mm; sendo clima Cwa da classificação de Köppen, apresentando inverno seco e com temperaturas sempre superiores a -3 °C ("Nova Odessa: edição histórica, s/data).

A área onde foi instalado o experimento não era utilizada a pelo menos 5 anos, tendo sido adubada uma única vez neste período, recebendo 300 kg/ha de sulfato de amônia e 80 kg/ha de P₂O₅.

O solo no local do experimento, apresenta-se com uma transição entre o latossolo e o podzólico, localizando-se na meia-encosta. Para a caracterização do solo foi aberta uma trincheira (figura 01) e coletadas amostras para a sua adequada caracterização, através de

análises físicas e químicas, cujos valores obtidos são apresentados nas tabelas 01 e 02, e da descrição morfológica do perfil, como segue:

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo epiálico textura argilo-arenosa latossólico

Localização: Instituto de Zootecnia; Nova Odessa - SP

Situação do perfil: meia encosta, declive de 05 - 08%

Vegetação: gramíneas

Altitude: 540 m

Pedregosidade: ausente

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: ondulado

Erosão: laminar fraca

Vegetação primária: floresta latifoliada tropical semidecídua

Uso atual: pastagem

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|-----|---|
| Ap | 0 -17 cm; bruno (7,5YR 5/4), bruno escuro úmida (7,5YR 4/4); argilo-arenosa; maciça que se desfaz em blocos, forte, média; dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana; |
| Bt | 17 - 56 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6); argilo-arenosa; forte, média, blocos angulares; cerosidade fraca, comum, continua; dura, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana; |
| Bw1 | 56 - 90 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8); argila; maciça que se desfaz em prismática, fraca, média, macia, friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana; |
| Bw2 | 90 - 176 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8); argila; maciça que se desfaz em fraca muito pequena; macia, muito friável, plástico e pegajoso; |

Raízes: abundantes finas no Ap, comuns finas no Bt, poucas finas no Bw1 e raras no Bw2.

Obs.: - atividade biológica presente nos horizontes Bt e Bw1 e fragmentos raros de carvão no Bw2.

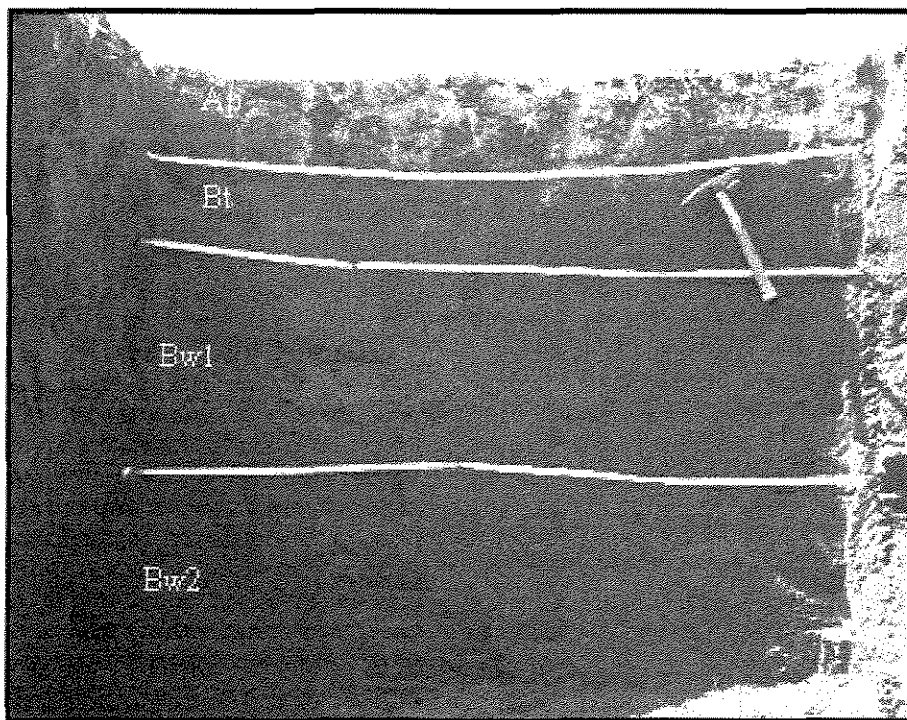


Figura 01 - Podzólico Vermelho Amarelo epiálico latossólico

3.2. Caracterização do Resíduo

O resíduo utilizado no experimento é um subproduto proveniente da industrialização da lã de carneiro. Enquanto as fibras vegetais são constituídas de celulose, a lã e, conseqüentemente, o pó produzido, como todas as fibras de origem animal, é formada por um composto protéico, denominado ceratina, apresentando em sua constituição quantidades consideráveis de nitrogênio e enxofre.

Na tabela 03 é apresentado, de forma generalizada, os dados analíticos do resíduo produzido, observando-se que o mesmo é um material rico em matéria orgânica, nitrogênio e enxofre, com a presença de outros elementos importantes para a plantas, não apresentando contaminação por metais pesados e com baixo valor de pH.

Tabela 01 - Valores de análises físicas de amostras coletadas no perfil do solo que se apresenta na área experimental.

Hor	Prof ^d cm	Composição Granulométrica (%)								Densidade		VPT (%)
		argila	silte	silte grosso	areia **					solo g/cm ³	partic. g/cm ³	
					MF	F	M	G	MG			
Ap	0-17	36	03	15	19	18	07	02	00	1,44	2,70	46,67
Bt	17-56	39	04	12	20	16	06	02	01	1,39	2,74	49,27
Bw1	56-90	41	02	15	22	13	05	02	00	1,27	2,76	53,99
Bw2	90-176	41	02	15	22	13	05	02	00	1,15	2,78	58,63

* Fracionamento da areia em muito fina (MF), fina (F), média (M), grossa (G) e muito grossa (MG).

1 profundidade

Tabela 02 - Valores de análises químicas de amostras coletadas no perfil do solo que se apresenta na área experimental.

Hor.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V	m
	CaCl ₂	%	ug/cm ³	meq/100 cm ³							(%)	(%)
Ap	3,7	2,2	18	0,23	0,5	0,1	2,3	6,4	0,8	7,2	11	74
Bt	3,7	1,6	3	0,05	0,9	0,2	2,0	7,2	1,2	8,4	14	63
Bw1	4,3	1,0	1	0,05	0,6	0,1	0,6	3,1	0,8	3,9	21	43
Bw2	4,6	1,0	3	0,02	0,3	0,1	0,2	2,5	0,4	2,9	14	33

Tabela 03 - Composição química do resíduo resultante do processamento da lã de carneiro.

COMPONENTES ANALÍTICOS	RESÍDUO
índice pH	2,10
umidade perdida a 60 - 65 °C	3,39%
umidade perdida a 65 - 100 °C	3,62%
umidade total (100 - 110 °C)	7,01%
matéria orgânica total	91,41%
matéria orgânica compostável	76,66%
matéria orgânica resistente	14,75%
resíduo mineral insolúvel	0,70%
resíduo mineral solúvel	0,88%
resíduo mineral total	1,58%
carbono total	50,78%
carbono orgânico	42,59%
inertes	-
nitrogênio total (N)	13,93%
fósforo total (P ₂ O ₅)	0,01%
potássio (K ₂ O)	0,05%
cálcio (Ca)	0,10%
magnésio (Mg)	0,01%
enxofre (S)	0,11%
relação C/N (C total e N total)	4/1
relação C/N (C orgânico e N total)	3/1

fonte: Análise realizada na ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

3.3. Descrição do Trabalho de Campo

3.3.1. Trabalho preliminar

Por se tratar de um resíduo com nenhuma utilização agrícola conhecida anteriormente e por apresentar características físicas de difícil manejo, tais como granulometria fina (pó), mas que se agrega facilmente, com densidade inferior a $0,1 \text{ g/cm}^3$, houve a necessidade de se estudar qual a forma de aplicação é a mais adequada.

O tempo de decomposição do resíduo é outro fator desconhecido, apesar de se prever uma decomposição rápida devido a relação C/N estreita que o mesmo apresenta, influenciando na quantidade de resíduo a ser aplicada.

Portanto, o objetivo do trabalho preliminar foi o de se avaliar a possibilidade de incorporação do resíduo, analisando a uniformidade de distribuição e o tempo de reação do pó de lã de carneiro em contato com o solo, a partir do qual se definiu a quantidade e a forma de uso no solo.

O trabalho preliminar foi instalado no dia 23 de fevereiro de 1995, em uma área ao lado da qual se utilizou para o experimento, distribuindo-se o resíduo nas diferentes dosagens de forma manual em 12 parcelas de 6 x 2 metros. Foram realizadas observações semanais por um período de três meses, aproximadamente 13 semanas, a saber:

Parcela 01 - aração, deposição de 05 t/ha do resíduo e gradagem uma semana depois;

Parcela 02 - aração, deposição de 10 t/ha do resíduo e gradagem uma semana depois;

Parcela 03 - aração, deposição de 20 t/ha do resíduo e gradagem uma semana depois;

Parcela 04 - aração, deposição de 40 t/ha do resíduo e gradagem uma semana depois;

Parcela 05 - deposição superficial de 05 t/ha do resíduo;

Parcela 06 - deposição superficial de 10 t/ha do resíduo;

Parcela 07 - deposição superficial de 20 t/ha do resíduo;

Parcela 08 - deposição superficial de 40 t/ha do resíduo.;

Parcela 09 - aração, deposição de 05 t/ha do resíduo e seguida de gradagem;

Parcela 10 - aração, deposição de 10 t/ha do resíduo e seguida de gradagem;

Parcela 11 - deposição de 05 t/ha do resíduo e seguida de gradagem;

Parcela 12 - deposição de 10 t/ha do resíduo e seguida de gradagem.

Procurou-se verificar se partículas do pó de carneiro que ficaram em deposição superficial seriam transportadas pelo vento; entretanto não houve a presença de ventos fortes no período do ensaio e, conseqüentemente, não se observou o transporte do resíduo.

A incorporação do resíduo não apresentou boa uniformidade na distribuição da lã de carneiro em relação ao solo mobilizado. Foi necessário realizar mais de uma passagem do arado de disco ou da grade niveladora sobre o resíduo, sendo definido o número de passagens em função do implemento utilizado, de forma a promover a melhor distribuição possível.

As parcelas onde foram incorporados 05 t/ha do pó de lã de carneiro foram as que apresentaram menor dificuldade na incorporação e uniformidade de distribuição que as demais, principalmente quando comparadas com as que receberam 40 t/ha. O que leva a supor que as propriedades físicas do pó de lã não permitiram sua melhor interação com o solo.

As parcelas de número 01 à 04, nas quais foram realizadas a aração e a gradagem uma semana após a deposição superficial do resíduo, foram as que apresentaram melhor incorporação. Entretanto, as parcelas nas quais se aplicou as quantidades de 20 e 40 t/ha do

resíduo (03 e 04), apresentaram uma certa dificuldade de incorporação devido ao grande volume do resíduo, originando uma camada muito espessa sobre o solo.

Em contrapartida, constatou-se que as parcelas com menor uniformidade de incorporação do resíduo foram aquelas onde realizou-se a gradagem imediatamente após a deposição de 05 e 10 t/ha do resíduo de lã de carneiro.

Observou-se também que o solo estava mais úmido onde se aplicou o pó de lã de carneiro quando comparado ao solo próximo da parcela, sendo que verificou-se um teor de umidade mais elevado à medida que aumentou-se o volume de resíduo aplicado. Verificou-se também que as parcelas com deposição superficial foram as que apresentaram maior teor de umidade, devido, provavelmente, à diminuição da evaporação de água, funcionando o material como "mulch".

Ao final do período, não se verificou alterações visuais no estado de decomposição do resíduo, principalmente daqueles mantidos superficialmente, permanecendo com características semelhantes às do início do ensaio; contudo, isto não permite concluir que não tenha ocorrido alguma decomposição e que, com a migração para o solo dos compostos gerados, haja alguma alteração nas características.

Esta lenta decomposição pode ser atribuída à dificuldade de se obter uma melhor incorporação do resíduo, não permitindo um maior contato da matéria orgânica com a biota do solo. Deve-se atentar, portanto, para uma melhor incorporação e uniformidade na distribuição do resíduo de lã de carneiro.

3.3.2. Instalação do experimento

A retirada da pastagem foi realizada no final de setembro de 1995, utilizando-se de uma roçadeira. No começo do mês de novembro de 1995, foi feito o preparo do solo com arado de disco e posterior gradagem. Nesta operação, realizou-se a calagem, aplicando-se 2,0 t/ha de calcário dolomítico, mediante cálculos a partir dos valores de pH obtidos em análises realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP.

O resíduo de lã de carneiro foi aplicado manualmente na superfície do solo de forma a cobrir toda a parcela. Após um período para melhor acomodação do pó no solo (seguindo o observado no trabalho preliminar), realizou-se no dia 21 de novembro de 1995 a incorporação da lã de carneiro.

Cabe salientar que foi realizada a determinação da densidade do pó de lã de carneiro no momento da distribuição ao solo, sem exercer nenhuma forma de compressão do material em um recipiente de volume conhecido (8.000 cm^3), obtendo-se o valor de densidade aparente de 0,04 g/cm.

O experimento constitui-se de 06 tratamentos, dispostos em quatro blocos mediante delineamento de blocos casualizados, tendo cada parcela uma área útil de 40 m^2 (4 x 10 metros).

Os tratamentos utilizados foram:

01 - testemunha

02 - incorporação de 05 toneladas do resíduo por hectare

03 - incorporação de 10 toneladas do resíduo por hectare

04 - incorporação de 20 toneladas do resíduo por hectare

05 - incorporação de 40 toneladas do resíduo por hectare

06 - deposição superficial de 40 t/ha

A incorporação do resíduo foi realizada com o auxílio de uma enxada rotativa, pois este implemento apresenta uma maior uniformidade na mobilização do solo, promovendo uma melhor incorporação do resíduo. Mesmo assim, o resíduo apresentou dificuldade de incorporação, o acarretou a realização de várias passagens da enxada rotativa sobre a parcela; utilizando-se do tratamento com 40 t/ha de lã de carneiro como indicativo para determinar o número de passagens da enxada rotativa sobre a parcela.

Dessa forma, o implemento foi usado duas vezes em cada parcela, sendo possível observar o resultado da incorporação do pó de lã de carneiro nas figuras 02 e 03. No tratamento 06, no qual foi feita a deposição de 40 t/ha do resíduo, não foi realizada a incorporação com a enxada rotativa.

A enxada rotativa atingiu uma profundidade média de 15 cm, movimentando o volume de 6 m³ de solo por parcela, sendo o volume do resíduo para os tratamentos de 1 a 5 os valores de 0; 0,5; 1; 2 e 4 m³, respectivamente.

O milho, cultivar Agrocere 502S, foi semeado manualmente em covas no mês de novembro de 1995, entretanto observou-se que a emergência de plântulas não foi uniforme, com baixo “stand” de plantas por parcela. Observou-se também a ocorrência de um veranico logo após a emergência, aliado ao fato de que neste período não se dispunha de um sistema de irrigação funcionando por motivo de reparo do motor. O milho foi então semeado novamente em janeiro de 1996, mesmo tornando a cultura mais suscetível ao ataque de pragas e doença.

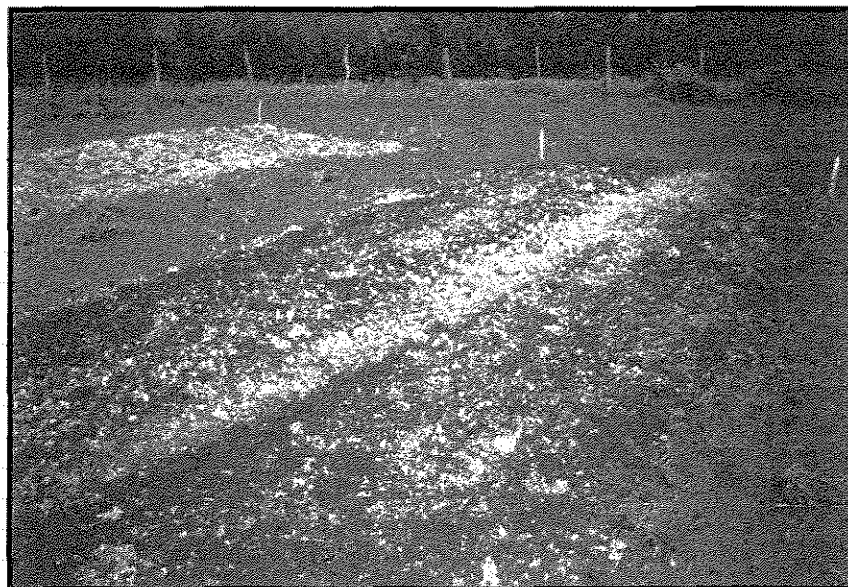


Figura 02 - Incorporação de 40 t/ha de resíduo de lã de carneiro com uma passagem da enxada rotativa.



Figura 03 - Incorporação de 40 t/ha de resíduo de lã de carneiro com duas passagem da enxada rotativa.

A semeadura do milho foi realizada da mesma forma mencionada anteriormente, com média de cinco covas por metro, colocando-se 3-4 sementes por cova para garantir o “stand” desejado e com espaçamento de 0,9 m entre linhas, sendo realizado o desbaste 30 dias após a emergência do milho e permanecendo uma planta por cova.. A adubação de semeadura foi realizada na dose de 450 kg/ha de NPK da formulação 4-14-8.

3.4. Período e Forma de Amostragem

As amostragens foram realizadas em quatro períodos, sendo feitas as coletas de solo no começo do mês de novembro de 1995, antes do preparo do solo e incorporação do pó de lã de carneiro; e 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.

Para a primeira amostragem realizada em novembro, foi estabelecido em cada parcela uma linha diagonal e foram feitas quatro coletas de solo, nos primeiros 10 cm de profundidade, totalizando quatro repetições por parcelas de modo a se obter valores médios representativos. Nas amostragens seguintes, seguiu-se o mesmo princípio, sendo realizadas as coletas próximas às anteriores.

No caso das coletas de solo para a determinação da curva característica de umidade do solo, foram realizadas apenas uma amostragem por parcela. Para as análises químicas, os quatros pontos coletados formaram amostras compostas por parcelas, de onde retirou-se alíquotas para a determinação.

Para a retirada das amostras que se destinavam à avaliação da densidade do solo e da curva característica de umidade, utilizou-se de anéis volumétricos. O solo contido nos anéis para determinação da densidade, foram passados para um saco plástico, enquanto que para a

curva de umidade, foram acondicionados nos próprios anéis de forma a manter suas características.

Para a retirada das amostras de estabilidade de agregados, foi utilizado um enxadão e posteriormente as amostras foram colocadas em sacos plásticos e transportados de forma a se alterar o menos possível as condições estruturais das mesmas.

3.5. Análises Realizadas

3.5.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica, para fins de caracterização do solo, foi realizada através do método da pipeta, descrito pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (SNLCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979).

3.5.2. Densidade do solo e de partículas

Determinou-se a densidade do solo (D_s) usando o método do anel volumétrico, que consiste na retirada de amostras com um anel de volume conhecido, secando-as em estufa a 105°C por 24 horas, sendo o valor da densidade do solo a razão entre o peso seco da amostra e o volume do anel (KIEHL, 1979; CAMARGO et al., 1986).

A avaliação da densidade de partículas (D_p) foi realizada através do método do balão volumétrico com álcool etílico, seguindo o procedimento descrito por KIEHL (1979).

3.5.3. Porosidade

Para avaliação da porosidade total, foi utilizado o método indireto descrito por KIEHL (1979), baseado na densidade do solo e densidade de partículas. A obtenção para o cálculo do volume de poros totais (VPT%) do solo será realizada da seguinte forma:

$$VPT\% = \frac{Dp - Ds}{Dp} \times 100$$

Com as amostras coletadas em anel para determinação dos pontos para a obtenção da curva de retenção, foi possível determinar-se os valores de VPT%, macro (Mp) e microporos (mp).

3.5.4. Estabilidade de agregados em água, álcool e benzeno

A estabilidade dos agregados foi medida através do seu diâmetro médio ponderado (DMP), pelo método de porcentagem de agregados por via úmida, descrito por CAMARGO et al. (1986). Esta análise baseia-se no princípio de que o umedecimento da amostra causa uma expansibilidade diferencial interna, provocando ruptura nos locais de menor força de união entre as partículas.

As amostras passaram por peneiras de 6,35 e 2,00 mm, restando-se o que ficar entre as duas. Da fração retida, colocou-se 20 g em um béquer e adicionou-se água para o seu total umedecimento. Esperados 5 minutos, foi colocada para agitação em água no topo de um jogo de peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm, adaptada a um dispositivo mecânico que efetua um movimento de oscilação vertical (40 rpm), sendo agitado durante 30 minutos. O

conteúdo de cada peneira foi coletado e seco em estufa a 105 °C durante 24 horas, sendo, então, pesado. Obteve-se por diferença o peso dos agregados menores que passaram pela peneira de 0,105 milímetros.

CAMARGO et al.(1986) citam que para se ter inferência da influência de cátions e uma maior compreensão do papel da matéria orgânica na agregação, deve-se utilizar o mesmo procedimento para determinação da estabilidade de agregado em água com amostras tratadas com álcool e benzeno. Nestes casos, foram colocados 20 ml de álcool ou benzeno à amostra de 20 g da fração retida entre as peneiras, adicionando-se 200 ml de água após 5 minutos e deixado em repouso por 25 minutos, seguindo-se então a agitação.

O índice de estabilidade (IE) em água, álcool e benzeno, foi obtido através da somatória do produto do peso da fração que ficou retida na peneira (P_i) e o centro de classe ou diâmetro médio do agregado retido entre duas peneiras (CC), ou seja:

$$IE = \sum_{i=1}^n (CC \times P_i)$$

3.5.5. Curva característica de umidade

Para a construção da curva característica de umidade do solo, foi utilizado o método descrito por CAMARGO et al. (1986), retirando-se a amostra indeformada através de anel volumétrico (98,175 cm³), saturando-a antes de aplicar as pressões desejadas (0,01; 0,05; 0,10; 0,50; 1,0 e 15 atm.). Para cada pressão atingida, pesa-se o anel para determinação da quantidade de água perdida, sendo que ao atingir a pressão de 15 atm., leva-se o anel para a estufa a 110 °C para determinação da água restante.

3.5.6. Análises químicas

As análises químicas foram realizadas a partir de terra fina seca ao ar (TFSA), peneiradas a 2 mm, nos laboratórios de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Estes laboratórios utilizam o mesmo método de análises do sistema IAC (Instituto Agronômico de Campinas), descritas por CAMARGO et al. (1986).

Foram determinados: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e acidez potencial e através destes valores foram calculados a soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

A relação C/N foi obtida através dos teores de carbono orgânico e nitrogênio total para cada amostra em estudo. Através do valor da matéria orgânica obtido, o carbono orgânico é determinado por método indireto, dividindo-se o valor da matéria orgânica pelo fator 1,725. O nitrogênio total foi determinado através do método de Kjeldahl.

3.5.7. Análise da cultura

O acompanhamento do efeito do resíduo sobre o desenvolvimento da cultura foi realizado através de análises de diâmetro do colmo e altura de plantas, obtendo-se os valores aos 30, 45 e 60 dias após o plantio. Também foi avaliada a produção do milho e o índice de conversão na fisiologia vegetal (palha, sabugo e grãos).

3.6. Análise dos Resultados

O experimento foi implantado no sistema de delineamento em blocos casualizado (DBC), sendo constituído de seis tratamentos dispostos em quatro blocos, possuindo cada unidade experimental uma área total de 40 m² (10 x 4 m).

Para a análise dos resultados das características físicas e químicas do solo estudadas e da cultura do milho, foram calculadas as médias dos tratamentos, sendo as diferenças testadas através do teste de Tukey ao nível de 5% de significância, após verificação feita através de análise de variância, realizada com o auxílio do programa estatístico SANEST.

O efeito da aplicação de quantidades crescentes do resíduo de lã de carneiro sobre as características físicas e químicas do solo, e a influência dos pré-tratamentos com álcool e benzeno na estabilidade de agregado em relação ao DMP em água, foram testados mediante análise de regressão linear simples.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode ser observado nas figuras 02 e 03, os implementos utilizados na implantação do experimento atuaram sobre o solo, promovendo algumas modificações nas características do mesmo. Resultados similares foram obtidos por SOUZA e COGO (1978), que também observaram grande alteração no espaço poroso com o preparo do solo. O cultivo convencional promoveu, inicialmente, aumento na macroporosidade e porosidade total e diminuição na microporosidade e densidade do solo.

Por não ter sido realizado uma amostragem logo após a mobilização do solo e devido ao curto período compreendido entre a incorporação do resíduo e a segunda amostragem, não foi possível quantificar a influência específica da mobilização nas características físicas do solo.

Para a determinação da estabilidade de agregados, as primeiras amostragens foram realizadas 30 dias após a incorporação do pó de lã de carneiro, enquanto que para as demais análises foram realizadas coletas apenas 60 dias depois. Neste período, é provável que alterações nas características do solo também tenham sido influenciadas de forma direta ou indireta do resíduo.

Os efeitos isolados dos implemento utilizado também foram difíceis de serem determinados, mesmo porque eles agem de forma diferente sobre o solo, podendo ocorrer um

efeito sinérgico na atuação do arado de disco, grade niveladora e enxada rotativa.

Entretanto, a influência da enxada rotativa e a do resíduo pode ser inferida através da comparação entre a testemunha e o tratamento 06, no qual foi aplicado 40 t/ha do resíduo em deposição superficial, não sendo utilizada a enxada rotativa para a incorporação.

4.1. Densidade do solo e de partículas

Os resultados de densidade do solo são apresentados na tabelas 04 e representados graficamente na figura 04. Os dados obtidos em novembro de 1995, antes do preparo do solo e incorporação do resíduo mostraram que os tratamentos não apresentaram diferença significativa.

Segundo KIEHL (1979) os valores de D_s esperados para solos de textura arenosa são de 1,25 a 1,40 g/cm³. Como o horizonte onde foram coletadas as amostras possui textura argilo-arenosa, esperava-se encontrar valores menores ou semelhantes. Entretanto obtiveram-se valores ligeiramente superiores a 1,40 g/cm³, indicando uma leve compactação na camada superficial.

Com o desenvolvimento do experimento, constatou-se que houve uma redução acentuada da D_s após 60 dias da incorporação do resíduo. A maior redução foi observada nos tratamentos onde foram aplicadas quantidades maiores. É provável que isto seja efeito direto do resíduo incorporado ao solo, devido a sua baixa densidade aparente (0,04 g/cm³), no que concorda COSTA (1985). O autor afirma que a simples presença da matéria orgânica em grandes quantidades tende a diminuir os valores de densidade do solo na superfície.

Tabela 04 - Média¹ de 16 determinações de densidade do solo, coletadas em novembro de 1995 (tempo 0), 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO t/ha	DENSIDADE DO SOLO (g/cm ³)					
	0**		60 dias		120 dias	
0	1,42 a	A	1,30 b	B	1,24 b	B
05	1,43 a	A	1,20 cd	B	1,21 bc	B
10	1,43 a	A	1,22 bc	B	1,22 b	B
20	1,41 a	A	1,18 cd	B	1,23 b	B
40	1,41 a	A	1,11 d	B	1,13 c	B
40 d/sup*	1,44 a	A	1,42 a	A	1,38 a	A

* deposição superficial

** antes do preparo do solo

(1) médias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

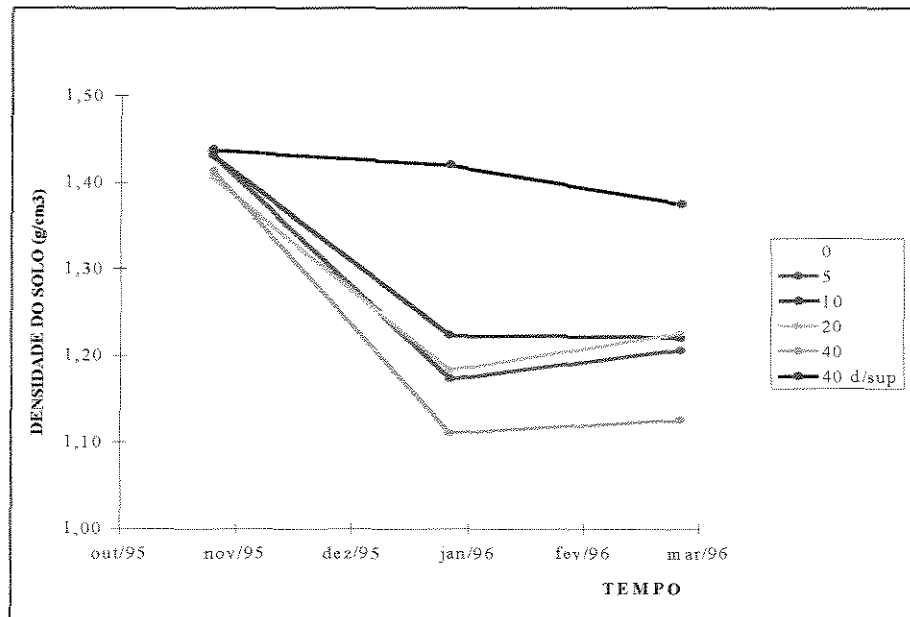


Figura 04 - Alterações na densidade do solo ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

O valor obtido para a testemunha também apresentou redução da Ds, mas de menor intensidade. Confirmando, portanto, que o resíduo não foi a única fonte de alteração, tendo ocorrido também influência do preparo, realizado com o arado de disco e grade niveladora, e da mobilização do solo através da enxada rotativa. De acordo com DANIEL et al. (1995) as modificações nas características físicas do solo variam de acordo com o sistema de mobilização e o cultivo, sendo que a Ds tende a ser menor com maior mobilização do solo (SOUZA e COGO, 1978; MORAES e BENEZ, 1994)

Na amostragem feita 60 dias após a incorporação, constatou-se, também, redução da Ds no tratamento 06, no qual foi aplicado 40 t/ha do resíduo em deposição superficial, porém não houve diferença significativa entre o valor obtido nesta amostragem e o observado no início do ensaio.

Analisando os valores de Ds 120 dias após a incorporação, verifica-se que houve uma tendência de manutenção nos valores dentro de cada tratamento, com ligeiros aumentos, sendo estes valores estatisticamente iguais aos apresentados na amostragem anterior, como é apresentado na figura 04. A exceção foi a testemunha que apresentou um decréscimo.

Observando-se os valores de densidade do solo entre os tratamentos, dentro de cada época de amostragem, constatou-se que o tratamento 06 (deposição superficial de 40 t/ha do resíduo) foi o que apresentou maiores valores de densidade do solo, não havendo diferença significativa entre as épocas de amostragens. Entretanto, foi observada a mesma tendência de diminuição dos demais tratamentos, atingindo em março de 96 (120 dias depois da incorporação) o valor de $1,38 \text{ g/cm}^3$.

Como esse tratamento não sofreu a incorporação do resíduo, não houve efeito da enxada rotativa e nem o contato da lâ de carneiro com o maior volume de solo. A redução do contato resíduo-solo não permite o efeito direto do resíduo sobre a Ds e dificulta a atuação dos microrganismos, reduzindo o efeito indireto através do material orgânico decomposto. Portanto, a redução na Ds no tratamento 06 foi influenciada basicamente pelo preparo do solo, principalmente os valores da amostragem realizada 60 dias após a aplicação resíduo.

Quando se compara a média do tratamento 06 e a testemunha, observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, tanto na amostragem feita aos 60 dias como na realizada aos 120 dias. A Ds obtida para a testemunha foi menor em função, provavelmente, da maior mobilização do solo, causada pela enxada rotativa, corroborando com os resultados obtidos por GUIMARÃES et al. (1996). Esses autores também observaram menor densidade em solo preparado com a enxada rotativa comparadas aos valores de solos preparados com arado de disco e com escarificador.

Analisando os valores de Ds dos demais tratamentos dentro de cada período de amostragem, verificou-se que houve diferença significativa nas amostras coletadas aos 60 e 120 dias após a incorporação. Os valores de Ds foram menores nos tratamentos que receberam maior quantidade do resíduo, provavelmente devido ao maior volume de pó de lâ de carneiro na amostras coletada, diminuindo o valor da densidade.

Os resultados de densidade de partículas (Dp) são apresentados na tabela 05, onde se observa que os valores obtidos antes do preparo do solo apresentam diferença significativa entre as médias dos tratamentos. É provável que a variabilidade espacial do solo seja a responsável pela diferença, pois o ensaio foi instalado numa faixa de transição de solo.

Tabela 05 - Média¹ de 16 determinações de densidade de partículas, coletadas em novembro de 1995 (0), 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO		DENSIDADE DE PARTÍCULA (g/cm ³)							
t/ha	0**		30 dias		60 dias		120 dias		
0	2,62 b	AB	2,58 a	B	2,60 ab	B	2,67 a	A	
05	2,66 ab	A	2,55 a	B	2,57 b	B	2,69 a	A	
10	2,66 ab	AB	2,57 a	C	2,64 a	B	2,70 a	A	
20	2,64 ab	A	2,57 a	B	2,63 ab	A	2,69 a	A	
40	2,68 a	A	2,59 a	B	2,59 ab	B	2,67 a	A	
40 d/sup**	2,69 a	A	2,56 a	C	2,61 ab	B	2,69 a	A	

* deposição superficial

** amostragem antes do preparo do solo

1 médias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Observou-se que a Dp apresentou tendência de redução do valores obtidos nas amostragem realizadas 30 e 60 dias após a incorporação, aumentando na última coleta. Segundo FERNANDES (1993) a matéria orgânica possui menor peso específico em relação ao mesmo volume de sólidos minerais, portanto, é provável que a incorporação do pó de lã de carneiro seja o responsável pela redução da Dp, pois promoveu uma maior interação do resíduo com o solo e, conseqüentemente, um incremento no valor de matéria orgânica, a qual apresenta densidade real inferior a 1,0 g/cm³ (KIEHL, 1979).

A testemunha também apresentou redução de Dp no mês de dezembro (30 dias), porém foi o tratamento que teve a menor diminuição. É provável que essa diminuição seja devido ao efeito da decomposição do resto da pastagem remanescente, o qual foi incorporado pelo preparo convencional, como se constata no aumento do teor de matéria orgânica no solo.

Os valores obtidos na última amostragem, 120 dias após incorporação do resíduo, apresentaram um acréscimo de Dp quando comparado com a primeira coleta, indicando que o pó de lã de carneiro tenha sido decomposto no período, facilitado pelo maior contato com o solo e aumento na aeração. Com a redução da matéria orgânica houve um aumento na participação das partículas minerais, elevando-se o valor da Dp.

ALLISSON (1973) afirma que o cultivo do solo aumenta a atividade biológica em função da melhor aeração decorrente da mobilização, podendo ocorrer o diminuição no teor de matéria orgânica do solo. Isso justifica em parte o aumento na densidade de partículas das parcelas que receberam 05 e 10 t/ha do resíduo e, principalmente, na testemunha.

4.2. Porosidade

Os resultados do VPT determinados pelo método direto e indireto são apresentados na tabela 06, onde se verifica que os valores obtidos não foram iguais, inclusive nos resultados estatístico, mas demonstraram tendências semelhantes, constatando-se uma relação entre os resultados, realizada através da regressão linear simples (figura 05).

Constataram-se, estatisticamente diferenças significativas entre os tratamento e épocas de amostragem nos resultados de VPT realizados através do método indireto, enquanto que os resultados obtidos através da curva característica de umidade não apresentaram diferenças. O comportamento diferenciado dos resultados, em função do método de análise, provavelmente se deve a presença do erro amostral, devido a variabilidade espacial do solo, e a diferenças inerentes ao próprio método de determinação e no manuseio das amostras.

Analisando os resultados de VPT da tabela 06 e representados na figura 06, pode-se verificar que os valores apresentaram uma tendência de aumento crescente nas épocas de coletas de amostras, tendo ocorrido um aumento mais acentuado entre as amostragens realizadas no início do ensaio e aos 60 dias após a incorporação.

O preparo do solo apresentou, aparentemente, pouco efeito sobre o VPT, pois no tratamento 06 (deposição superficial) não houve diferença entre os valores encontrados em cada época de amostragem. Esses resultados corroboram os obtidos por CASTRO et al. (1987) e MORAES e BENEZ (1994), que não constatarem diferenças na porosidade total do solo sob diferentes tipos de preparo, contudo promoveram alteração na distribuição de poros. Também KLEPKER e ANGHINONI (1995), analisando a porosidade do solo no segundo ano do ensaio, não constatarem diferenças no VPT, macro e microporosidade, com ou sem revolvimento na camada superficial.

Tabela 06 - Média¹ de determinações de volume total de poros obtidos em análises realizadas através dos métodos direto e indireto.

RESÍDUO t/ha	VOLUME DE POROS TOTAIS (%)								
	MÉTODO INDIRETO ²						MÉTODO DIRETO ³		
	0**	60 dias	120 dias	0**	60 dias	120 dias	0**	60 dias	120 dias
0	45,76 a C	50,16 c B	53,54 b A	48,39 a A	49,86 a A	50,74 a A			
05	46,21 a B	54,57 ab A	55,11 ab A	47,77 a A	50,26 a A	49,66 a A			
10	46,20 a B	53,72 b A	54,93 ab A	45,32 a A	50,64 a A	50,62 a A			
20	47,07 a B	55,14 ab A	54,61 ab A	46,71 a A	50,65 a A	52,54 a A			
40	47,44 a B	57,15 a A	57,78 a A	45,56 a A	49,80 a AB	52,97 a A			
40 d/sup*	46,60 a A	45,57 d A	48,91 c A	48,13 a A	47,90 a A	47,15 a A			

1 medias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

2 média de dezesseis repetições

3 média de quatro repetições

* deposição superficial

** amostragem antes do preparo do solo

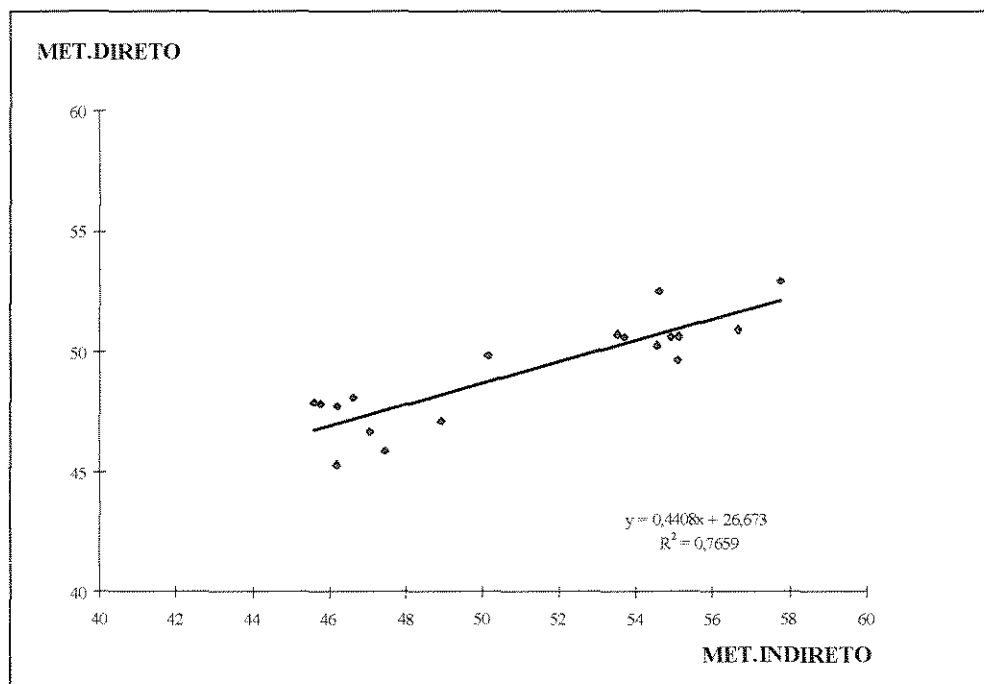


Figura 05 - Relação entre o volume de poros totais (VPT) determinados pelos métodos direto e indireto.

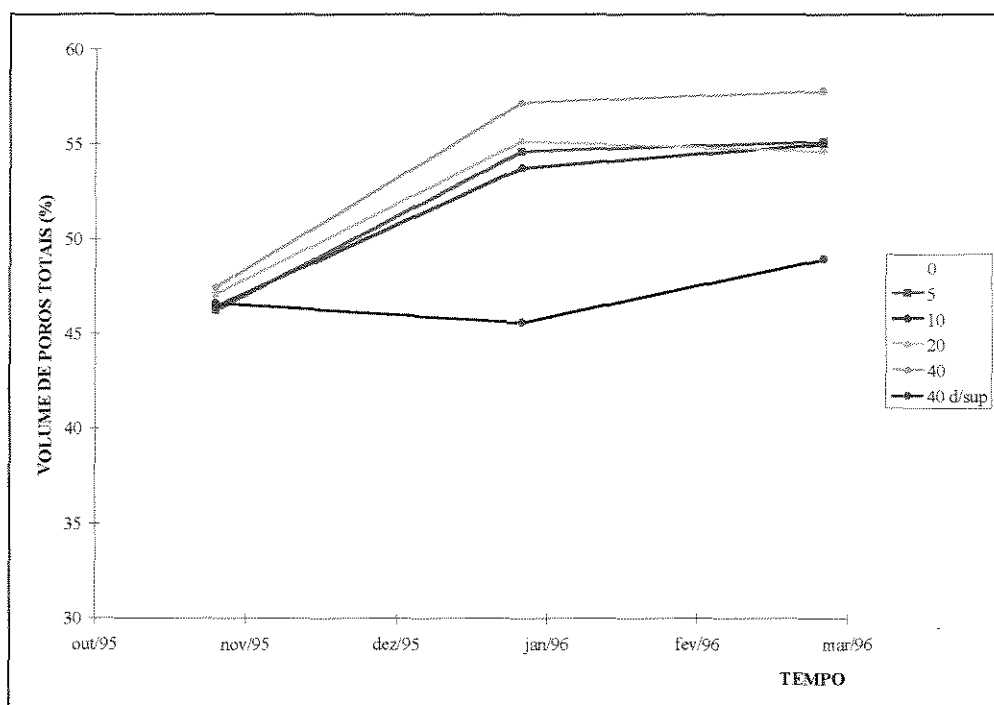


Figura 06 - Alterações no VPT ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.(método indireto).

Observou-se que a testemunha teve um aumento da VPT crescente no decorrer do ensaio, provavelmente em função da decomposição do resto de pastagem incorporado no preparo do solo e, em parte, pela mobilização do solo através da enxada rotativa, que alterou a agregação e macroporosidade do solo. Os valores de VPT da testemunha foram sempre inferiores aos demais tratamentos com incorporação do resíduo, demonstrando o efeito causado pelo pó de lã de carneiro.

Analisando as médias de VPT observou-se diferença significativa entre os tratamentos. As amostras coletadas aos 60 e 120 dias depois da incorporação apresentaram valores semelhantes. O tratamento com a incorporação de 40 t/ha de resíduo foi o que apresentou maior volume de poros (57,15%), sendo estatisticamente diferente da testemunha e dos tratamentos 02 e 06. A baixa densidade do resíduo presente na amostra proporciona menor quantidade de solo e aumento no volume de vazios, portanto, houve aumento nos valores de VPT nos tratamentos com maiores quantidade do resíduo incorporado no solo.

Estes resultados confrontam os observados por JORGE et al. (1991), que não encontraram diferença na porosidade total em solos que receberam diferentes doses de lodo de esgoto. Entretanto, estão de acordo com LONGO (1994), que obteve valores de VPT superiores em solos que receberam vinhaça, quando comparados com solos sem a aplicação da mesma e, até mesmo, com solos sob vegetal natural.

Quanto a distribuição de poros, as amostras coletadas antes do preparo do solo não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, obtendo-se baixo valores de macroporos e alto de microporos, como é apresentado na tabela 07, que aliada aos valores de

Os observados, indicam uma provável compactação da camada superficial, causada provavelmente pelo pastoreio do gado.

KIEHL (1979) afirma que solos com partículas de diferentes tamanhos apresentam menor porosidade, devido às partículas finas que preenchem os espaços livres entre o material grosseiro. O preparo convencional do solo e a incorporação do resíduo através da enxada rotativa, mobilizaram intensamente o solo, produzindo partículas de diferentes diâmetros, entretanto, houve um aumento no VPT e na macroporosidade (figura 07), que atingiu valores superiores a 20%, praticamente o dobro do encontrado no início do ensaio.

Os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas dentro de cada época amostrada, com exceção à coleta de amostras aos 120 dias após a incorporação do resíduo. Essa diferença foi devida justamente ao tratamento 06, que não sofreu a incorporação de 40 t/ha do resíduo, mas que apresentou a mesma tendência de aumento do volume de macroporos. Provavelmente seja um reflexo da decomposição da matéria orgânica interagindo com o solo, evidenciando a importância da maior interação do resíduo com o solo, promovendo também a influência do pó de lã de carneiro de forma direta (pela simples presença do resíduo).

Analisando a macroporosidade entre as épocas de amostragem, observou-se que houve diferenças estatisticamente significativas em todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos 06, devido a pouca interação solo-resíduo, e 02 (incorporação de 05 t/ha do resíduo). O resíduo promoveu diferentes aumentos nos valores de macroporosidade entre os tratamentos, sendo que os maiores acréscimos foram obtidos nas parcelas que receberam maior quantidade de pó de lã de carneiro.

Em contrapartida, ocorreu uma redução da microporosidade no decorrer do

experimento, sendo que os tratamentos apresentaram um determinado padrão; as médias obtidas antes do preparo do solo e 60 dias após a incorporação do resíduo são semelhantes, diferindo estatisticamente dos valores obtidos 120 dias após a incorporação, com a exceção do tratamento 02 (05 t/ha do resíduo) que não apresentou diferença.

Comparando os valores de microporosidade entre os tratamentos dentro de cada época de amostragem, verifica-se que a intensidade nas alterações ocorreram de forma parecida, não havendo diferenciação entre os tratamentos, com exceção do tratamento 06 que apresentou menor intensidade de redução. É provável que as alterações na microporosidade sejam em função da mobilização do solo, já que a testemunha e o tratamento 06, com deposição superficial de 40 t/ha do resíduo, apresentaram a mesma tendência de redução da microporosidade.

Tabela 07 - Média¹ de 4 determinações de macro e microporosidade, amostradas em novembro de 1995 (0), 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO t/ha	MACROPOROS (%)						MICROPOROS (%)					
	0**		60 dias		120 dias		0**		60 dias		120 dias	
0	10,28 a	B	13,12 a	AB	18,98 a	b A	38,12 a	A	36,75 a	A	31,76 a	b B
05	11,57 a	A	16,46 a	A	17,28 a	b A	36,20 a	A	33,80 a	A	32,38 a	b A
10	9,85 a	B	16,19 a	AB	20,47 a	A	35,47 a	A	34,45 a	A	30,15 a	b B
20	9,46 a	B	17,20 a	A	22,29 a	A	37,25 a	A	33,46 a	AB	30,25 a	b B
40	8,53 a	C	16,02 a	B	23,89 a	A	37,02 a	A	33,79 a	A	29,08	b B
40 d/sup*	11,44 a	A	10,91 a	A	12,57	b A	36,69 a	A	36,99 a	AB	34,58 a	B

* deposição superficial

** amostragem anterior ao preparo do solo

¹ médias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

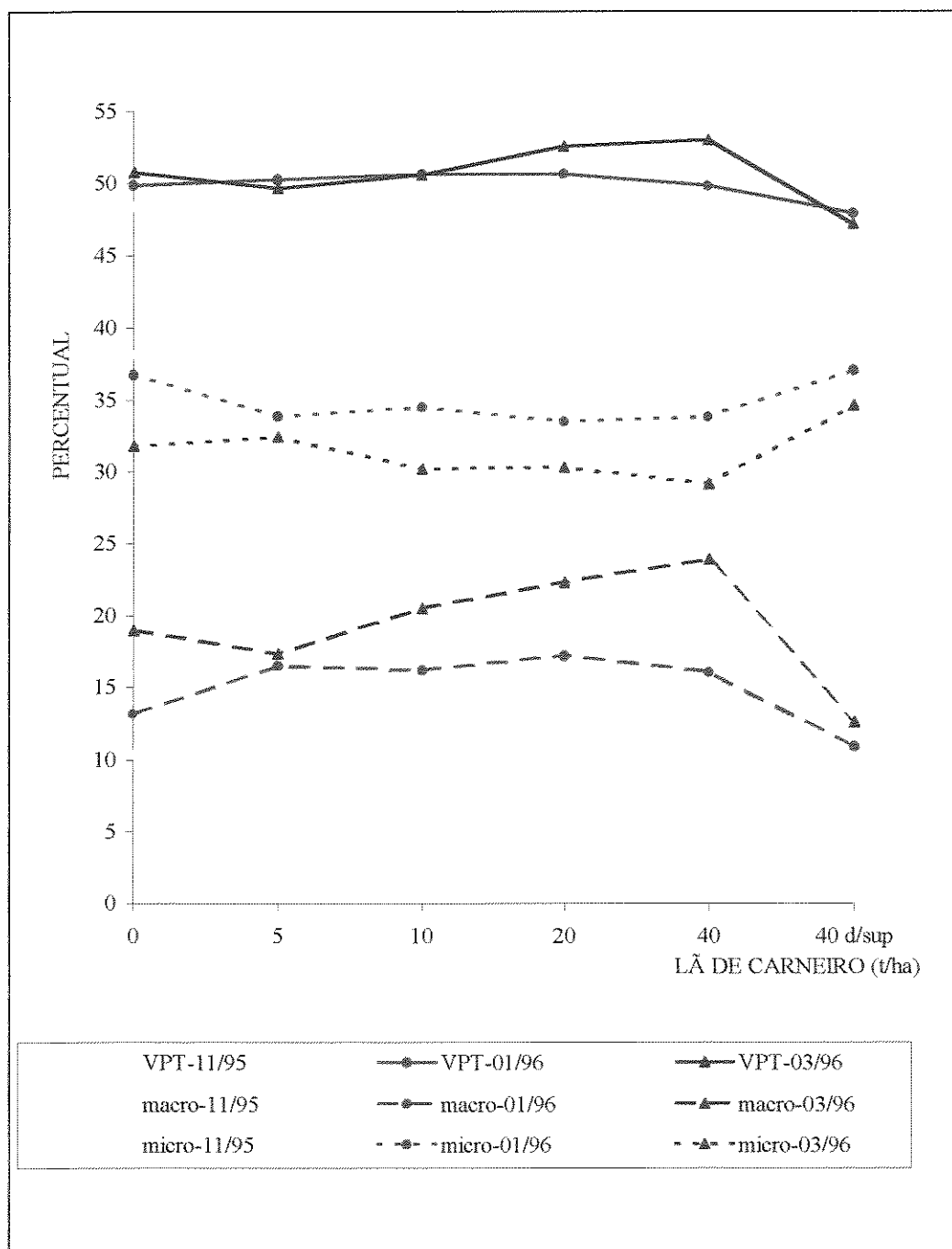


Figura 07 - Alterações no volume de poros totais (VPT), macro e micro porosidade ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

4.3. Estrutura do solo

Os resultados obtidos para as análises de estabilidade de agregados pré-tradadas em água, álcool e benzeno encontram-se nas tabelas e figuras 08, 09 e 10, respectivamente. Os CVs obtidos para os resultados de estabilidade de agregados foram elevados, constatando-se índices de 43,9%, 38,6% e 60,0% de dispersão dos dados para as amostras embebidas em água, álcool e benzeno, respectivamente, indicando possíveis erros de determinação devido à amostragem e ao método utilizado. O mais provável é que esta dispersão dos dados seja em função da variabilidade espacial e, principalmente, temporal do solo.

Observa-se inicialmente que os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) das amostras embebidas em água e benzeno, coletadas antes do preparo do solo, estão abaixo de 1,0 mm, corroborando com os valores obtidos por LONGO (1994) no horizonte Ap de um Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo de cana-de-açúcar com ou sem aplicação de vinhaça. Entretanto, contrastam com OADES (1984) que afirma que os macroagregados do solo devem estar entre 1,0 e 10,0 mm.

Nos pré-tratamento utilizados na determinação do DMP, verificou-se o efeito da mobilização do solo promovida pelo preparo convencional e a incorporação do resíduo, realizada com a enxada rotativa, observando-se que houve redução nos valores da primeira amostragem para a segunda, 30 dias após a incorporação do resíduo, corroborando com os resultados obtido por MORAES e BENEZ (1994). Essa redução no tamanho do agregado é devido a destruição mecânica do grumos através da sola de trabalho dos equipamentos utilizados e o fracionamento dos agregados em partículas menores (PRIMAVESI, 1990; CASTRO, 1987), independente do tipo de pré-tratamento (UZÊDA, 1995).

Tabela 08 - Média¹ de 16 determinações de estabilidade de agregados em águas, referente amostragens feitas antes do preparo do solo (0) e 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo.

RESÍDUO			ESTABILIDADE DE AGREGADOS (DMP)					
t/ha	0		30 dias		60 dias		120 dias	
0	0,594	a A	0,496	ab A	0,478	a A	0,458	a A
05	0,716	a A	0,451	b B	0,672	a AB	0,462	a B
10	0,752	a A	0,645	ab A	0,588	a A	0,561	a A
20	0,585	a A	0,563	ab A	0,616	a A	0,604	a A
40	0,639	a A	0,720	a A	0,829	a A	0,641	a A
40 d/sup*	0,651	a A	0,479	ab A	0,577	a A	0,485	a A

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

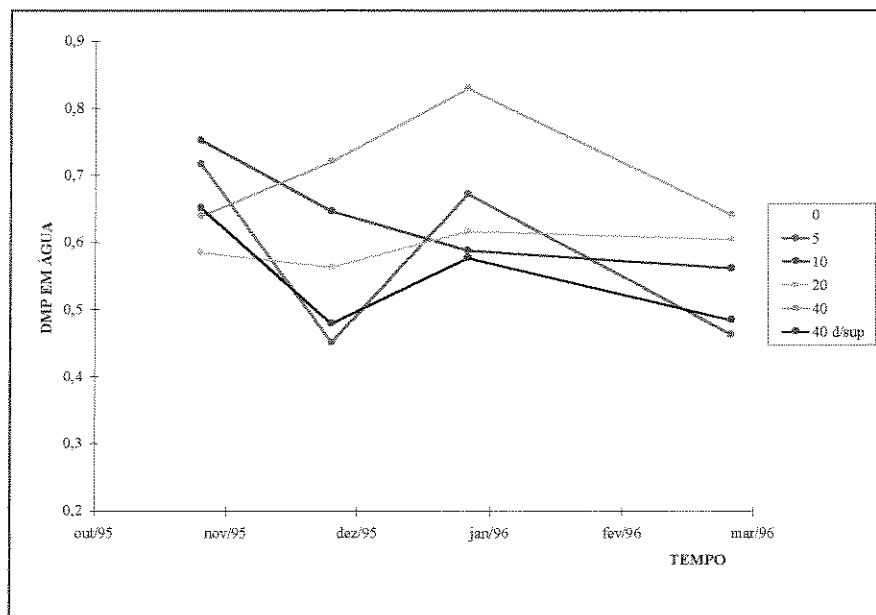


Figura 08 - Alterações na estabilidade de agregados em água ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.

Ocorreu um aumento generalizado no DMP das amostras coletadas 60 dias após a incorporação do resíduo em relação aos valores obtidos na segunda amostragem (30 dias). A exceção foi a testemunha, sugerindo que este acréscimo seja devido ao aporte de matéria orgânica, obtendo-se valores de DMP superiores nos tratamentos com maior quantidade de pó de lã de carneiro. Os resultados corroboram com os obtidos ROTH et al. (1991) e JORGE et al. (1991), sendo discordante dos resultados obtidos por LONGO (1994), que não obteve diferença entre os tratamentos com e sem aplicação de vinhaça.

CARPENEDO e MIELNICZUK (1990), estudando a agregação de duas unidades de Latossolo Roxo, constataram a correlação do DMP com o teor de carbono orgânico em apenas uma das unidades, sendo a influência da matéria orgânica variável em função do tipo de material orgânica que está presente no resíduo. JESUS FILHO (1992) afirma que resíduos orgânicos que tenham pouca influência na atividade microbiana do solo, serão menos eficazes na agregação, pois a melhoria na agregação se deve ao efeito do aporte de material orgânico e da atividade dos microorganismos.

Comparando-se os resultados de DMP das amostras coletadas 120 dias após a incorporação do resíduo com os valores obtidos aos 60 dias (tabela e gráfico 08), notou-se que houve a redução na estabilidade de agregados, porém, os tratamentos 04 e 05 (incorporação 20 e 40 t/ha do resíduo), apresentaram valores superiores aos observados na amostragem feita no início do ensaio. Este fato pode ser um indicativo de que parte da matéria orgânica que estaria influenciando a agregação dos outros tratamentos já tivesse sofrido decomposição, com exceção do tratamento com deposição superficial, diminuindo a sua atuação como material de ligação de partículas.

Longas moléculas orgânicas agem diretamente sobre as forças de coesão, apresentando efeitos prolongados sobre a estrutura, diferente de substâncias transitórias, provenientes da atividade da macro e microfauna do solo. Assim, moléculas orgânicas menos resistentes à ação dos microorganismos não podem ser consideradas como agentes cimentantes do solo com uma ação prolongada porque são eliminados na decomposição (HENIN et al., 1976).

Contudo, no contraste entre as médias de épocas de amostragem, não se constatou diferença significativa nos valores de estabilidade de agregados das amostras embebidas em águas, com exceção do tratamento 02 (incorporação de 05 t/ha de resíduo) que apresentou diferença estatística entre as épocas de amostragem, sendo o valor de DMP da amostra coletada antes do preparo do solo superior as demais coletas.

Analisando-se as quantidades de resíduo aplicadas dentro das época de amostragem, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, apesar de que os valores de DMP dos tratamentos 04 e 05, com a incorporação de 20 40 t/ha de pó de lã de carneiro, foram sempre superiores aos demais tratamentos, mas somente após a incorporação do resíduo.

No pré-tratamento com álcool, o teste de Tukey para época de amostragem identificou-se diferença significativa entre as médias dos tratamentos obtidas em novembro de 1995, antes do preparo do solo, em relação as médias das outras épocas amostradas, apresentando o seu DMP muito superior aos demais.

A redução do DMP pré-tratado em álcool (tabela 09) é explicada, em parte, pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, promovidos pela mobilização do

solo (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Outro fator importante é a diminuição nos teores de cálcio do solo no decorrer do experimento, que ocorreu em todos o tratamentos que receberam o resíduo, sendo que vários autores constataram correlação da estabilidade de agregado com o teor de cálcio (ROTH et al., 1986; REICHERT et al. 1993; UZÊDA, 1995).

Observa-se que as médias dos tratamentos apresentaram tendência de redução nos valores de estabilidade de agregados no decorrer do período de amostragem, com exceção da testemunha, sendo o DMP obtido numa época de amostragem sempre inferior a amostra coletada na época anterior, embora não se constatou diferença significativa entre as épocas amostradas, excetuando a primeira amostragem.

Analisando as médias dos tratamentos dentro de cada época de coleta de amostra, verifica-se que não houve diferenças significativa entre as quantidades de resíduo aplicadas, sendo o tratamento 06 (40 t/ha do resíduo em deposição superficial) o que apresentou os menores valores de DMP (figura 09).

A testemunha foi o tratamento que apresentou a maior concentração de cálcio no solo e que manteve praticamente o mesmo valor de DMP nas amostragens realizadas 30, 60 e 120 dias após a incorporação. Contudo, os tratamentos 04 e 05 (20 e 40 t/ha do resíduo) apresentaram valores de DMP superiores aos demais tratamentos. apesar de ter ocorrido uma redução em sua estabilidade de agregados. É provável que os maiores valores nos tratamentos 04 e 05 sejam em função do aumento no teor de alumínio no solo, pois, segundo JORGE et al. (1991), o Al^{+} é um cátion que apresenta maior poder de floculação que o cálcio.

Tabela 09 - Média¹ de 16 determinações de estabilidade de agregados, embebidas em álcool, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo (0) e 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO t/ha	ESTABILIDADE DE AGREGADOS (DMP)							
	0			30 dias			60 dias	120 dias
0	1,317 a	A		0,733 a	B		0,722 a	0,743 a
05	1,453 a	A		0,749 a	B		0,796 a	0,587 a
10	1,508 a	A		0,801 a	B		0,673 a	0,695 a
20	1,501 a	A		0,803 a	B		0,842 a	0,709 a
40	1,488 a	A		0,920 a	B		0,869 a	0,765 a
40 d/sup*	1,271 a	A		0,642 a	B		0,592 a	0,625 a

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

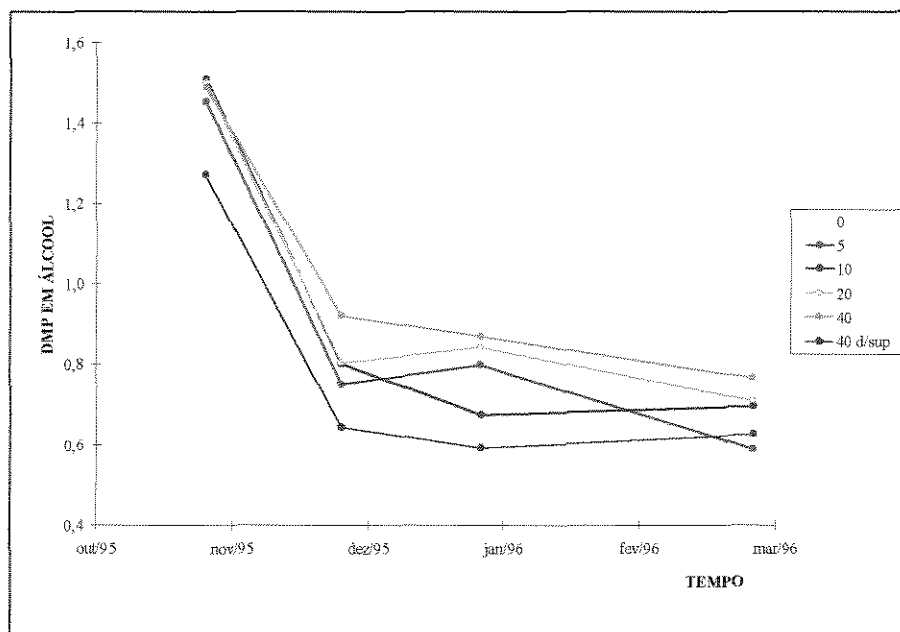


Figura 09 - Alterações na estabilidade de agregado com pré tratamento em álcool ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

O pré-tratamento das amostras com álcool apresentou resultados de determinações de DMP superiores aos valores obtidos nos demais pré-tratamentos (água e benzeno), estando de acordo com os resultados obtidos por LONGO (1994). O autor afirma ainda que a o maior valor de DMP de amostras pré-tratadas com álcool ocorre devido ao fato do álcool atenuar o efeito da água.

Os valores de DMP das amostras pré-tratadas com benzeno apresentaram tendência semelhante às amostras embebidas em água. Os valores mais baixos foram encontrados na coleta de amostras 30 dias após a incorporação do resíduo, sendo que, com exceção da testemunha, não houve diferença significativa entre os valores de DMP observados nas épocas de amostragem. CAMARGO et al. (1983) afirma que a sensibilidade ao tratamento benzêmico nessas amostras, define agregados onde a matéria orgânica tem pequenos efeitos de cimentação de partículas primárias em secundárias.

Tabela 10 - Média¹ de 16 determinações de estabilidade de agregados, embebidas em benzeno, referente amostras coletadas antes do preparo do solo (0) e 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO t/ha	ESTABILIDADE DE AGREGADOS (DMP)							
	0		30 dias		60 dias		120 dias	
0	0,778 a	A	0,344 a	B	0,436 b	B	0,473 a	AB
05	0,455 a	A	0,334 a	A	0,566 ab	A	0,462 a	A
10	0,731 a	A	0,464 a	A	0,472 b	A	0,487 a	A
20	0,671 a	A	0,413 a	A	0,592 ab	A	0,592 a	A
40	0,688 a	A	0,642 a	A	0,887 a	A	0,750 a	A
40 d/sup*	0,557 a	A	0,331 a	A	0,451 b	A	0,476 a	A

* deposição superficial

¹ medias seguidas pela mesma letra (minúsculas entre tratamentos e maiúscula entre épocas), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

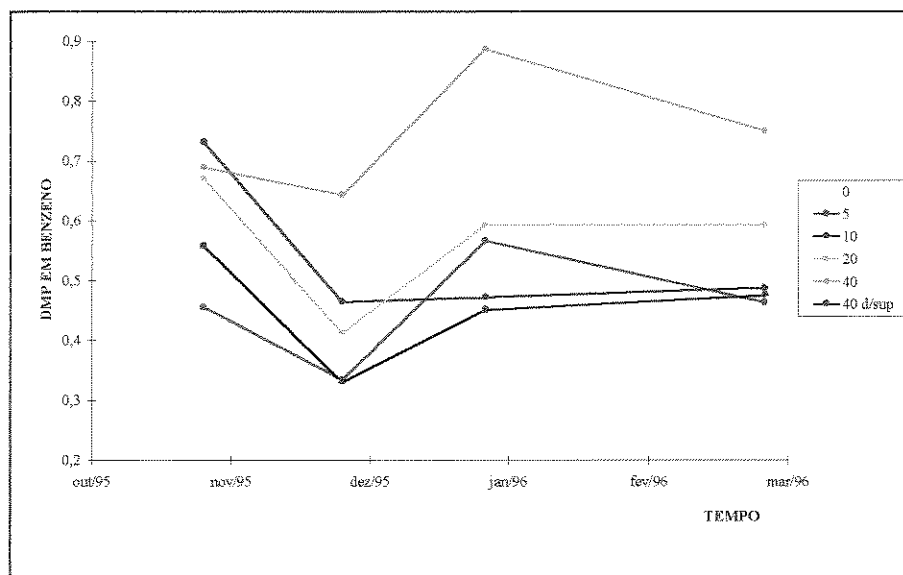


Figura 10 - Alterações na estabilidade de agregando com pré tratamento em benzeno ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

O valor de DMP da testemunha obtida antes do preparo do solo foi superior aos valores obtidos nas amostras coletadas 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo, as quais não apresentaram diferença significativa entre as médias, apesar de apresentarem uma tendência de acréscimo.

É possível que o maior valor de DMP seja devido ao aumento na população de microrganismos, principalmente de fungos, nos tratamentos com maior dose do resíduo e que apresentam maior acidez do solo, pois HARRIS et al. (1966) afirmam que a estabilidade dos agregados maiores está associada a presença de fungos e actomicetos. SIQUEIRA e FRANCO (1988) afirmam que os fungos se desenvolvem melhor em pH abaixo de 4,0 e são os microorganismo com maior ação na agregação do solo, sendo a hifas importantes agentes agregantes, atuando física e biologicamente.

A atividade biológica é afetada pelas condições de pH e disponibilidade nutrientes (JESUS FILHO, 1992), pois o pH age sobre a disponibilidade ou fixação de minerais nutritivos, sendo que nem todos os microorganismos podem mobilizá-los e, portanto, sentem o efeito da reação do solo (PRIMAVESI, 1990).

4.4. Curva característica de umidade

Os resultados analíticos de determinação da umidade das amostras submetidas às diferentes tensões estão apresentadas nas tabelas 11, 12 e 13. A partir destes valores, foi possível o ajuste das curvas características de umidade do solo apresentadas na figura 11.

Através da análise estatística dos valores de umidade, constatou-se não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo o coeficiente de variação encontrado para as várias tensões foi baixo, sendo inferiores a 15%, ocorrendo pouca dispersão dos dados. Os tratamentos com incorporação do resíduo apresentaram valores de água disponível (intervalo entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente) semelhantes aos observados para o tratamento com deposição superficial do resíduo e a testemunha.

Analisando as curvas características de umidade dentro de cada tratamento, verificou-se que, de maneira geral, houve aumento na quantidade de água no solo à pressão de 0,01 atm no decorrer do experimento. Os valores obtidos às pressões de 0,05 e 0,10 atm nas amostras coletadas 120 dias após a incorporação do resíduo se mantiveram constantes ou foram ligeiramente inferiores aos observados no início do experimento, devido, provavelmente, ao aumento no VPT e alteração na distribuição dos poros, conforme discutido anteriormente.

Tabela 11 - Média¹ de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, coletadas em novembro** de 1995.

RESÍDUO (t/ha)	UMIDADE (% PESO)					
	0,01 atm.	0,05 atm.	0,1 atm.	0,5 atm.	1,0 atm.	15 atm.
0	31,38 a	26,28 a	25,66 a	24,60 a	21,12 a	12,23 a
05	33,47 a	27,87 a	27,39 a	26,59 a	22,49 a	12,81 a
10	28,46 a	24,13 a	23,75 a	23,04 a	21,77 a	14,51 a
20	30,72 a	26,09 a	25,49 a	24,56 a	22,14 a	10,90 a
40	31,03 a	25,01 a	24,47 a	23,87 a	21,91 a	11,69 a
40 d/sup*	32,76 a	26,53 a	25,84 a	24,36 a	21,01 a	12,80 a

* deposição superficial

** amostragem antes do preparo do solo

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Tabela 12 - Média¹ de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, referente coleta realizada 60 dias após a incorporação do resíduo.

RESÍDUO (t/ha)	UMIDADE (% PESO)					
	0,01 atm.	0,05 atm.	0,1 atm.	0,5 atm.	1,0 atm.	15 atm.
0	32,09 a	26,84 a	25,09 a	24,08 a	22,13 a	21,51 a
05	33,83 a	26,07 a	23,90 a	22,58 a	20,37 a	19,59 a
10	33,53 a	26,37 a	24,12 a	22,96 a	21,26 a	20,60 a
20	32,59 a	25,12 a	23,01 a	22,08 a	20,35 a	19,76 a
40	34,73 a	27,03 a	25,10 a	24,22 a	22,27 a	21,68 a
40 d/sup*	30,54 a	26,30 a	24,06 a	23,05 a	20,33 a	19,68 a

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Tabela 13- Média¹ de 4 determinações de umidade das amostras de solo submetidas a diferentes potenciais de pressão, referente coleta realizada 120 dias após a incorporação do resíduo

RESÍDUO (t/ha)	UMIDADE (% PESO)					
	0,01 atm.	0,05 atm.	0,1 atm.	0,5 atm.	1,0 atm.	15 atm.
0	33,12 a	25,22 a	23,68 a	22,21 a	21,22 a	20,23 a
05	32,51 a	24,69 a	23,03 a	21,38 a	20,52 a	20,11 a
10	32,15 a	23,90 a	21,96 a	20,82 a	19,87 a	19,29 a
20	36,16 a	25,45 a	23,87 a	22,64 a	21,88 a	21,04 a
40	36,03 a	26,18 a	24,20 a	22,40 a	21,25 a	20,45 a
40 d/sup*	31,00 a	26,31 a	25,09 a	24,09 a	23,18 a	22,39 a

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

JORGE et al. (1991) afirma que retenção de água é controlada basicamente pelo número de poros e sua distribuição e pela superfície específica do solo; sendo que uma proporção mais elevada de poros de tamanhos médio e pequeno tenderão a reter água com maior tensão do que os poros grandes (BUCKMAN e BRADY, 1967).

Os autores afirmam ainda que embora o húmus disponha de elevado montante de umidade à capacidade de campo, sua percentagem de murchamento permanente é proporcionalmente elevada, como pode ser observado na figura 11, onde os potenciais matriciais superiores a 1,0 atm apresentaram um aumento significativo na retenção de água após a incorporação do pó de lã de carneiro.

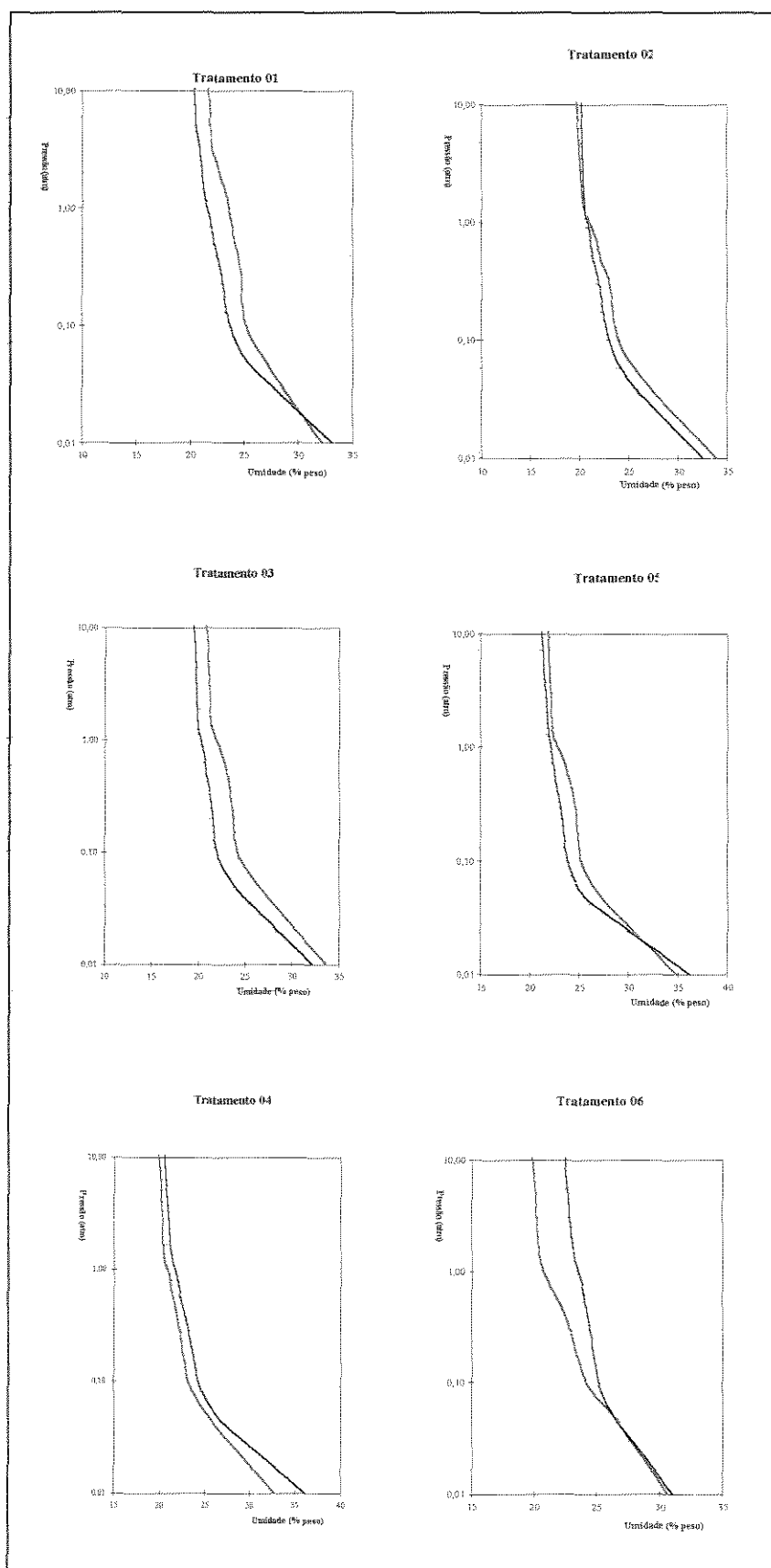


Figura 11 - Curvas características de umidade do solo por época de amostragem, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.

O aumento na retenção de água no solo à 0,01 atm foi maior nos tratamentos 04 e 05 (incorporação de 20 e 40 t/ha do resíduo), com acréscimo de cerca de 6 % de umidade. Este acréscimo deve ser em função do pó de lã, pois, segundo KIEHL (1979), a elevação no teor de matéria orgânica ocasiona o aumento na água do solo, sendo que doses normais de adubo orgânico elevam a água disponível do solo de 0,5 a 1,0%.

Contudo, a testemunha também apresentou aumento na água retida no solo à pressão de 0,01 atm, para a qual não se conseguiu uma explicação razoável, apesar de que este tratamento apresentou um aumento no teor de matéria orgânica na amostragem realizada aos 60 dias após a incorporação, devido a incorporação de restos da pastagem através do preparo do solo.

4.5. Fertilidade do solo

As características químicas do solo foram alteradas no decorrer do experimentos, ocorrendo aparentemente uma redução da sua fertilidade. De uma forma geral, houve redução nos teores de nutrientes disponíveis, da soma de bases (S) e saturação por bases (V%), com aumento da acidez. Porém, cabe ressaltar que o monitoramento das alterações foi realizado por um período curto, podendo haver efeitos inversos num período maior de tempo.

Os resultados de matéria orgânica, nitrogênio total e relação C/N são apresentados nas tabela 14, onde se verifica que, conforme classificação descrita por MELLO et al. (1987), o solo apresentava inicialmente teores médios de matéria orgânica e N total, apresentando respectivamente valores próximos de 2,5 e 0,13%.

As determinações de matéria orgânica das amostras coletadas 60 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro foram estatisticamente superiores aos valores obtidos antes do preparo do solo. O aumento no teor de matéria orgânica neste período não deve ser atribuído inteiramente ao resíduo, pois a testemunha também apresentou aumento significativo, não demonstrando diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Porém, a testemunha foi o tratamento que apresentou o menor valor de matéria orgânica.

O aumento da matéria orgânica na testemunha ocorreu, provavelmente, devido ao preparo do solo, que incorporou parte dos restos vegetais da pastagem que permaneceram na área. O mesmo pode ser observado para o tratamento 06, no qual não foi incorporado o resíduo e que também apresentou aumento no teor de matéria orgânica, sendo, contudo, superior ao resultado da testemunha em função da pequena interação resíduo e volume de solo.

Outro fator a ser considerado é a quantidade e a constituição resíduo aplicado. O pó de lã é basicamente orgânico, portanto, deveria aumentar o teor de matéria orgânica no solo de forma direta, ou seja, pela simples presença. Porém, apesar de ser um pó, o resíduo se agrega muito facilmente, podendo ter sido eliminado da amostra no momento de preparo da mesma para análise química, a qual utiliza terra fina seca ao ar (partículas menor de 2,0 mm).

Analisando os valores da matéria orgânica para os tratamentos dentro de cada época de amostragem, pôde-se observar que não houve diferença significativa. Porém, nas parcelas em que foi feita a incorporação da lã de carneiro e que receberam maiores quantidades do resíduo são as que tiveram maiores teores de matéria orgânica.

Tabela 14 - Média¹ de 4 determinações de matéria orgânica, nitrogênio total e relação C/N das amostras coletadas em novembro de 1995 (tempo 0), 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO t/ha	MATÉRIA ORGÂNICA (%)			NITROGÊNIO (%)			RELAÇÃO C/N		
	0**	60 dias	120 dias	0**	60 dias	120 dias	0**	60 dias	120 dias
0	2,38 a B	3,20 a A	2,30 a B	0,13 a AB	0,17 c A	0,10 b B	10,77 a AB	11,59 a A	13,24 a B
05	2,50 a B	3,33 a A	2,35 a B	0,13 a B	0,19 bc A	0,11 ab B	11,22 a B	10,49 a A	12,16 ab B
10	2,33 a B	3,35 a A	2,30 a B	0,13 a B	0,21 abc A	0,12 ab B	10,42 a B	9,38 a A	11,29 abc B
20	2,68 a B	3,43 a A	2,38 a B	0,13 a B	0,21 abc A	0,14 ab B	12,14 a B	9,59 a A	10,10 bc B
40	2,38 a B	3,60 a A	2,40 a B	0,12 a B	0,24 a A	0,16 a B	11,27 a B	8,83 a A	9,28 c B
40 d/sup*	2,30 a B	3,25 a A	2,15 a B	0,13 a B	0,22 ab A	0,13 ab B	10,57 a B	9,11 a A	9,92 bc B

* deposição superficial

** amostragem feita antes do preparo do solo

1 medias seguidas pela mesma letra (minúscula entre tratamento e maiúsculas entre épocas de amostragem) não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Tabela 15 - Média¹ de 4 determinações de fertilidade do solo, referente as amostras coletadas antes do preparo do solo.

RESÍDUO (t/ha)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V%	m%
	CaCl ₂	ug/cm ³	meq/100 cm ³								
0	4,13 a	15,50 a	0,20 a	1,45 a	0,48 a	0,90 a	4,85 a	2,15 a	7,00 a	29,75 a	33,00 a
05	4,33 a	18,75 a	0,25 a	1,43 a	0,55 a	0,60 a	4,70 a	2,25 a	6,95 a	32,50 a	21,00 a
10	4,23 a	16,50 a	0,31 a	1,23 a	0,43 a	0,73 a	5,35 a	1,98 a	7,33 a	27,25 a	26,25 a
20	4,35 a	21,50 a	0,39 a	1,45 a	0,63 a	0,63 a	4,98 a	2,48 a	7,45 a	33,00 a	21,50 a
40	4,70 a	18,00 a	0,27 a	1,63 a	0,68 a	0,68 a	3,93 a	2,58 a	6,50 a	41,50 a	22,75 a
40 d/sup*	4,18 a	23,00 a	0,29 a	1,35 a	0,48 a	0,90 a	4,43 a	2,10 a	6,53 a	32,50 a	31,00 a

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Tabela 16 - Média¹ de 4 determinações de fertilidade do solo, referente as amostras coletadas em janeiro de 1996, 60 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V%	m%
(t/ha)	CaCl ₂	ug/cm ³	meq/100 cm ³								
0	4,50 a	26,00 a	0,32 a	2,23 a	1,03 a	0,30 a	4,18 b	3,58 a	7,75 a	46,00 a	9,00 b
05	4,03 a	21,75 a	0,18 a	1,60 a	0,55 ab	0,83 a	5,95 ab	2,35 b	8,30 a	30,00 a	28,50 ab
10	3,78 a	15,50 a	0,14 a	1,23 a	0,40 b	1,10 a	7,00 ab	1,75 b	8,75 a	19,75 a	40,00 a
20	3,78 a	18,25 a	0,17 a	1,63 a	0,48 ab	1,03 a	7,25 a	2,28 b	9,28 a	24,50 a	31,50 ab
40	3,73 a	21,25 a	0,13 a	1,30 a	0,33 b	1,08 a	7,45 a	1,73 b	9,18 a	19,25 a	38,50 a
40 d/sup*	3,80 a	16,50 a	0,15 a	1,63 a	0,48 ab	1,10 a	6,38 ab	2,28 b	8,65 a	26,50 a	33,00 ab

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Tabela 17 - Média¹ de 4 determinações de fertilidade do solo, amostragem realizada em março de 1996, 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

RESÍDUO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V%	m%
(t/ha)	CaCl ₂	ug/cm ³	meq/100 cm ³								
0	4,68 a	19,50 a	0,20 a	1,90 a	0,95 a	0,28 b	3,98 b	3,08 a	7,05 c	43,50 a	11,50 b
05	4,00 ab	11,00 a	0,13 a	1,13 a	0,48 ab	0,93 ab	5,85 ab	1,73 b	7,58 bc	23,75 ab	37,00 ab
10	3,95 ab	15,00 a	0,14 a	1,13 a	0,40 ab	0,98 ab	6,55 ab	1,65 b	8,20 abc	21,50 ab	40,00 a
20	3,68 b	10,78 a	0,10 a	0,80 a	0,30 b	1,33 a	7,80 a	1,20 b	9,00 ab	13,50 b	52,50 a
40	3,80 b	13,25 a	0,10 a	1,13 a	0,48 ab	1,50 a	8,05 a	1,73 b	9,78 a	19,50 ab	54,25 a
40 d/sup*	3,63 b	9,25 a	0,09 a	0,80 a	0,28 b	1,58 a	8,10 a	1,18 b	9,28 a	13,75 b	57,75 a

* deposição superficial

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

Mesmo aos 120 dias, os tratamentos com a incorporação do resíduo foram os que apresentaram os maiores valores de matéria orgânica, confirmando, portanto, o efeito do resíduo. Entretanto, houve redução nos teores de matéria orgânica para valores próximos e até menores que os obtidos em novembro. Provavelmente, devido a baixa relação C/N e as condições de aeração do solo, umidade e temperatura favoráveis, tenha ocorrido uma rápida decomposição do material. MELO (1994) obteve resultados semelhantes, constatando uma variação estacional do carbono orgânico em função da época de amostragem.

Os teores matéria orgânica e N total apresentaram tendência de comportamentos semelhantes no decorrer do período de amostragem, como se verifica nas figuras 12 e 13.

KIEHL (1985) afirma que o nitrogênio mineral é considerado um elemento efêmero no solo, pois logo é absorvido, lixiviado ou perdido para a atmosfera por desnitrificação, sendo grande a sua variabilidade devido as condições edafoclimáticas locais, ocorrendo o aumento do N com aumento da umidade do solo e diminuição da temperatura.

Comparando-se os valores de N total do solo determinados 60 dias após a incorporação com os obtidos no início do experimento, observou-se que o N total apresentou um aumento significativo nesse período. Porém, na amostragem realizada 120 dias após a incorporação, houve uma redução nos teores de N total, sendo os valores obtidos menores que os valores iniciais do solo, com exceção tratamento 04 e 05 (20 e 40 t/ha do resíduo).

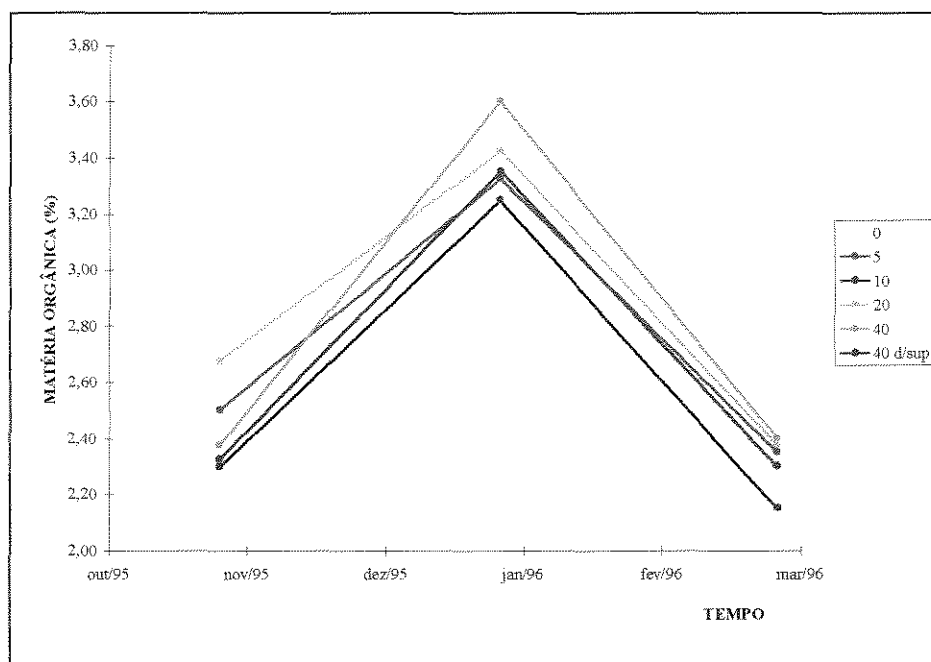


Figura 12 - Alterações no teor de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

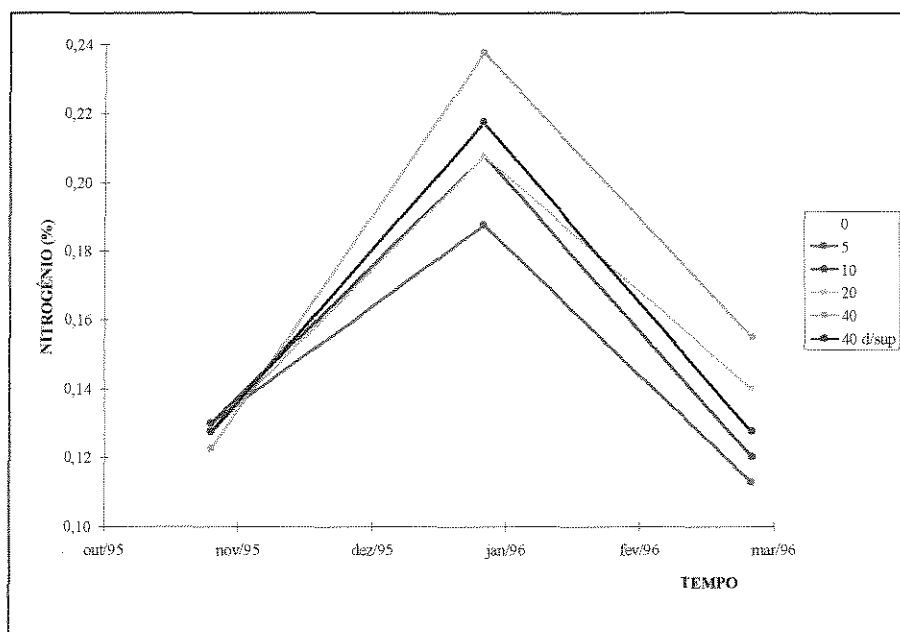


Figura 13 - Alterações no teor de nitrogênio total ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

Constatou-se diferença altamente significativa no teor de N total entre as médias dos tratamentos, tanto aos 60 como aos 120 dias após a incorporação, obtendo-se teores mais elevados com o aumento na dose do resíduo aplicado. Entretanto, os tratamentos 06 (deposição superficial) e testemunha, também apresentaram um acréscimo no teor de N total, como consequência do aumento no teor de matéria orgânica destes tratamentos, proveniente, provavelmente, dos restos vegetais da pastagem incorporados no preparo do solo.

O aumento do N total em função da quantidade do resíduo aplicado é explicado pelo alto teor de nitrogênio e estreita relação C/N presentes no pó de lã de carneiro (tabela 03). Segundo KIEHL (1985), o nitrogênio é assimilado pelos microorganismos na proporção de uma parte de N para dez de carbono assimilado, sendo o excedente eliminado na forma de amônia. MELLO et al. (1987) afirmam que do carbono presente no material orgânico, os microorganismos assimilam, aproximadamente, 35% e o restante é perdido na forma de CO₂.

O nitrogênio excedente é, portanto, função da relação C/N do material orgânico, pois durante a decomposição atinge uma relação 17/1. Se a relação for menor, há mais nitrogênio que carbono, ocorrendo a liberação de N até que a relação se aproxime do equilíbrio (MELO, 1994). Portanto, a redução no N total 120 dias após a incorporação do resíduo ocorre devido a perda do nitrogênio amoniacal, provavelmente, pela volatilização e lixiviação.

Os resultados da relação C/N estão representados na figura 14, onde verifica-se que a amostragem realizada no início do experimento, antes do preparo do solo e da incorporação do resíduo, identificou que o solo já apresentava uma relação C/N estreita (inferior a 12/1), com valores próximos ao encontrado na relação C/N do húmus, indicando um alto grau do material orgânico já decomposto

Aos 60 dias após a incorporação do resíduo, observaram-se as relação C/N mais estreita em todos os tratamentos, com a exceção da testemunha, cujo menor valor observado foi o do início do experimento (10,77), ocorrendo um acréscimo até atingir em março uma relação C/N de 13,24. Essa relação C/N mais estreita para os demais tratamentos foi devido ao maior acréscimo nos teores de N total em relação aos teores de carbono.

Comparando-se as médias da relação C/N no solo entre os tratamentos por época de amostragem, observa-se que não houve diferença significativa para as amostras das diferentes doses de resíduo coletadas no início do experimento, antes do preparo do solo e 60 dias após a incorporação.

Na amostragem realizada 120 dias após a incorporação do pó de lã, os tratamentos 05 e 06 (aplicação de 40 t/ha do resíduo) apresentaram diferença significativa com a testemunha, sendo ainda o tratamento 02 (05 t/ha) estatisticamente diferente do tratamento 05.

O resultados sugerem que o resíduo apresentou decomposição relativamente rápida, em função da sua baixa relação C/N, aliada a maior aeração do solo e aumento da temperatura e precipitação pluviométrica característica da região nas épocas de amostragem.

Na tabela 15 são encontrados os valores de pH e de saturação por bases (V%) do solo antes do seu preparo e incorporação do resíduo. Os dados mostram que não havia diferença significativa entre as parcelas, ou seja, o solo pode ser considerado como homogêneo quanto a essas duas características.

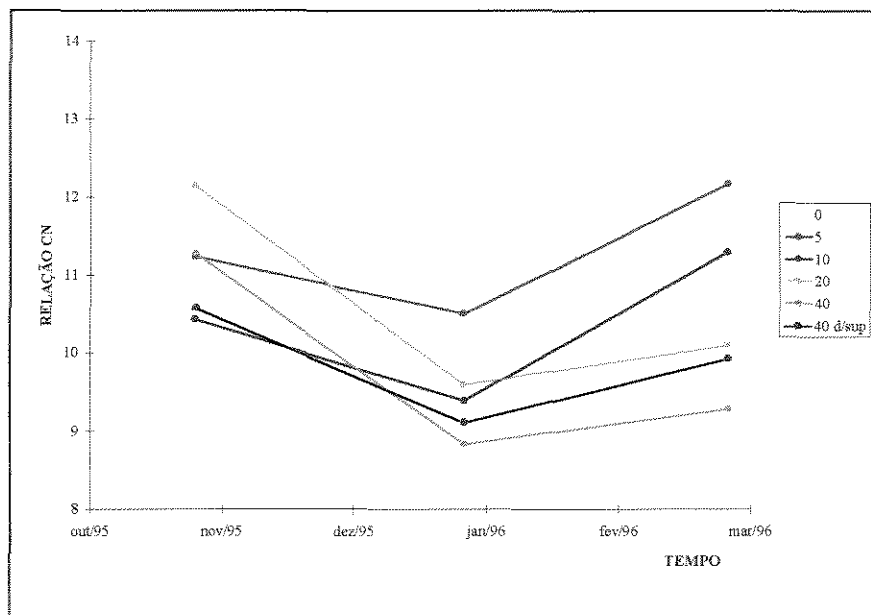


Figura 14 - Alterações na Relação C/N ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

A calagem foi realizada pois o solo apresentava inicialmente um pH ácido e um V% muito baixo. Entretanto, a aplicação de 2 t/ha de calcário apresentou um pequeno efeito apenas sobre a testemunha, aumentando ligeiramente os valores de pH e, principalmente, de saturação por bases (V%), como pode-se observar nas tabelas 16 e 17.

Vários autores citam que a matéria orgânica aplicada ao solo, quando decomposta em condições aeróbicas, tem reação alcalina, concorrendo para elevar o pH do solo ao menos temporariamente, devido a formação de humatos alcalinos (KIEHL, 1985; MELLO et al., 1987; JESUS FILHO, 1992). Entretanto, alguns resíduos orgânicos apresentam atuação inicial inversa, acidificando o solo. A vinhaça quando aplicada ao solo inicialmente aumenta a acidez, porém após certo tempo, o efeito é inverso, ocorrendo a elevação do pH (LONGO, 1994).

Durante o desenvolvimento do experimento, o pó de lã de carneiro promoveu o aumento a acidez do solo de forma direta, pela simples presença do mesmo, o qual possui pH de 2,1. A acidificação do solo ocorreu até mesmo no tratamento com a menor dosagem do resíduo (05 t/ha) e no tratamento 06 (40 t/ha do resíduo sem incorporação).

Comparando-se os tratamentos dentro de cada época de coleta de amostras, observou-se que houve diferença significativa no valor de pH somente na amostragem realizada 120 dias após a incorporação. Notou-se que a diminuição no valor de pH foi maior a medida em que se aumentou a quantidade de resíduo incorporado ao solo, como pode ser observado na tabela 17.

Analisando as médias de pH entre as épocas de coleta de amostras, verifica-se que o tratamento 05 (incorporação de 40 t/ha de resíduo), apresentou diferença significativa, ocorrendo a redução no decorrer do experimento (figura 15). Com exceção da testemunha, os demais tratamentos também apresentaram redução do valor de pH das amostras coletadas aos 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

A saturação por bases apresentou um CV no valor de 47%, indicando que houve grande variação dos dados. Isso ocorreu provavelmente em função do decréscimo no valor do V% no decorrer das amostragens, porém esta redução não foi estatisticamente significativa.

Analisando-se as médias entre os tratamentos por época de amostragem, verifica-se que houve diferença significativa apenas na coleta realizada 120 dias após a incorporação, sendo observado um decréscimo no V% com o aumento do resíduo aplicado ao solo. A testemunha e os tratamentos 04 e 06 (incorporação de 20 t/ha do resíduo e 40 t/ha em deposição superficial), foram estatisticamente diferentes, como pode-se observar na tabela 17.

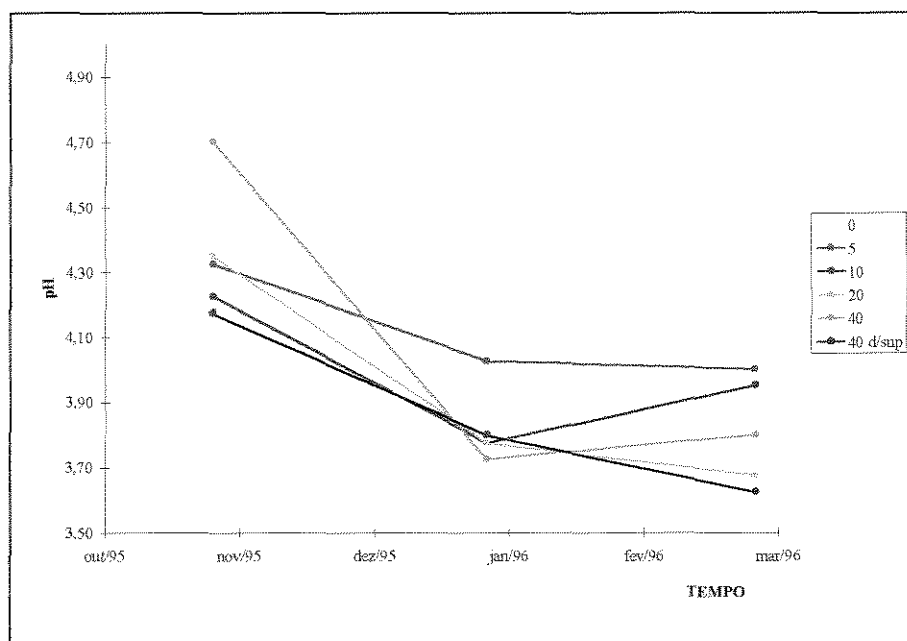


Figura 15 - Alterações no pH ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

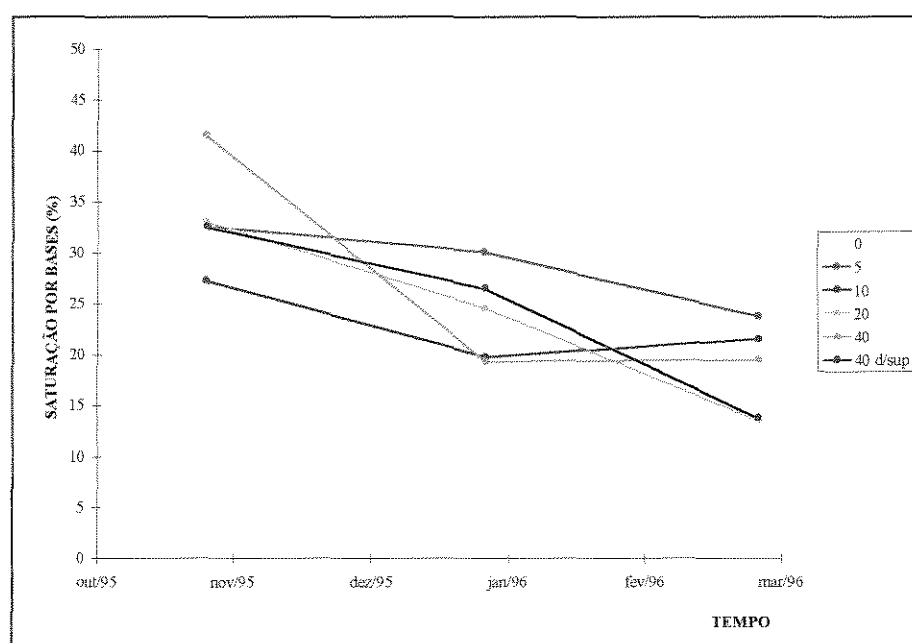


Figura 16 - Alterações na Saturação por base (V%) ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro

Os resultados de V% são apresentados graficamente na figura 16, onde se observa que aos 60 dias após a incorporação, os tratamentos 04 e 05 (20 e 40 t/ha de resíduo) foram os que apresentaram as maiores alterações, provavelmente em função do decréscimo no valor de pH e redução da soma de bases.

O teor dos elementos nutritivos para plantas apresentaram valores de CV altos, sendo superiores a 50%, indicando uma variação muito grande dos resultados obtidos. Os valores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio sofreram uma redução acentuada no decorrer do experimento, com exceção da testemunha. Na testemunha, os teores dos elementos nutritivos se mantiveram constantes ou até mesmo aumentaram, como aconteceu para o potássio, provavelmente em função do menor consumo dos mesmos pelos microorganismos.

Apenas os teores de potássio apresentaram diferenças significativa entre as medias de épocas de amostragem dos tratamentos 03 e 04 (incorporação de 10 e 20 t/ha de resíduo).

Com relação à análise realizada entre os tratamentos por época de amostragem, verificou-se que apenas o teor de magnésio apresentou diferenças significativas nas coletas realizadas 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo. A testemunha apresentou os maiores teores, diferindo estatisticamente dos tratamentos 03 e 05 em janeiro e 04 e 06 em março de 1996 (tabelas 16 e 17).

A redução nos teores de nutrientes no complexo sortivo do solo pode ser explicada em parte pelo pH, que apresentou redução de seus valores originais, e pela presença do enxofre em quantidade elevada na constituição do resíduo. SIQUEIRA e FRANCO (1988) afirmam que um fator importante na formação do H_2SO_4 é a sua capacidade de dissolver minerais no solo,

isso facilita a mobilização de nutrientes como P, K, Ca, Mg, Fe e outros.

Contudo, deve-se considerar que estes nutrientes foram mobilizados pelo microrganismos do solo, reduzindo com isso a sua lixiviação. Dessa forma, é possível que os elementos nutritivos sejam disponibilizados lentamente, contribuindo para o aumento nos teores de nutrientes com o decorrer do tempo.

Os valores dos teores de alumínio, acidez trocável (H+Al) e saturação por alumínio apresentaram resultados semelhantes. Entretanto, os CV foram distintos com menor variação apresentada pela acidez trocável, mas mesmo assim superior a 25%. Com exceção da testemunha, houve um acréscimo no decorrer do experimento dos valores destes parâmetros, ocorrendo diferença significativa entre as médias de tratamentos por épocas de coleta de amostras apenas na acidez trocável.

Nas tabelas 16 e 17 pode-se observar os resultados de Al, m% e H+Al, cujos valores apresentaram diferenças significativas entre as médias de tratamentos, com tendência de aumento em função da maior quantidade de pó de lã de carneiro aplicada ao solo. No que esta de acordo com a afirmação de KIEHL (1985), que demonstra a ocorrência de correlação positiva entre o teor de carbono e H+Al.

O autor afirma ainda que ao se atingir valores muito baixos de pH, e elevando-se a concentração de hidrogênio do solo, tem-se a alteração da argila existente no solo com posterior liberação do alumínio, sendo o que provavelmente tenha ocorrido, pois, como pode ser observado na figura 17, os tratamentos com maior acidez foram os que apresentaram maior saturação por alumínio.

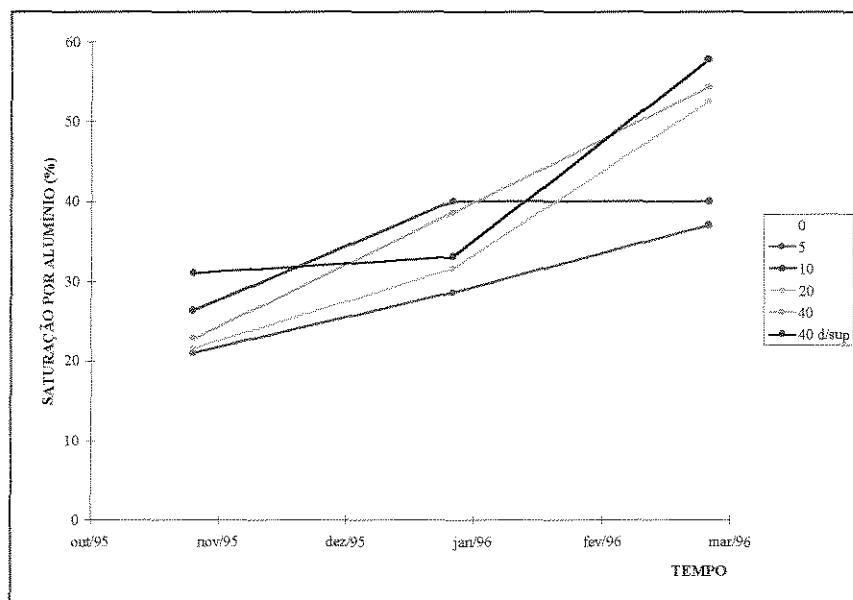


Figura 17 - Alterações na Saturação por alumínio (m%) ao longo do tempo, em função da aplicação de diferentes doses de lã de carneiro.

Em função da alteração nos valores de pH do solo, do teor de matéria orgânica e da soma de bases (S) e H+Al, que atuam diretamente na capacidade de troca catiônica (T), esta apresentou um ligeiro aumento com diferença estatística entre as épocas de coleta de amostras.

Analisando-se as médias de tratamento por época de amostragem, pode-se observar nas tabelas 15, 16 e 17 que houve diferença significativa na amostragem realizada 120 dias após a incorporação do pó de lã de carneiro, com aumento na capacidade de troca nas parcelas em que se aplicou as maiores quantidade do resíduo. A testemunha foi inferior aos tratamentos 04, 05 e 06, onde se incorporou 20 e 40 t/ha do resíduo e aplicou-se 40 t/ha sem incorporação, respectivamente.

4.6. Desenvolvimento da cultura

O resultados das análises de produção de grãos, índice de conversão, altura e diâmetro de plantas são apresentados na tabela 18. O teste estatístico da análise de variância realizado para os parâmetros culturais, não constatou diferença significativa entre as médias, apenas a altura de plantas apresentou diferença entre as médias dos tratamento.

Os resultados de produção de grãos e alturas de plantas foram inferiores aos esperados, porém, devido a semeadura ter sido realizada em janeiro de 1996, coincidindo com um período chuvoso, havendo dificuldade em controlar as plantas invasoras durante a época em que o milho é mais suscetível a competição por nutrientes. Provavelmente, a matocompetição por nutrientes tenha sido um dos fatores responsáveis por não se ter atingindo valores de altura de plantas e, principalmente, produção para um cultivar híbrido.

Um outro provável responsável para o valores observados tenha sido o próprio resíduo, pois, segundo MELLO et al. (1987), na decomposição de matéria orgânica que possui altos teores de carbono e são pobres em nutrientes minerais, a microbiota do solo pode competir com a cultura para aquisição de elementos nutritivos.

Os resultados obtidos para produção de grãos parecem estar de acordo com o autor, pois os maiores valores são observados para a testemunha e o tratamento que recebeu 05 t/ha do pó de lã de carneiro, apresentando valores de 3.332 e 3.572 kg/ha respectivamente. Verificou-se ainda que a produção de grãos, apesar de não ter diferença estatística entre os tratamentos, apresentou uma tendência de redução a medida em que se aumentou o volume de resíduo incorporado, chegando a apresentar uma produção 30% inferior à constatada na testemunha.

Tabela 18 - Média¹ de determinações de altura e diâmetro de plantas, produção do milho em espiga e grãos e rendimento de grãos.

RESÍDUO (t/ha)	ALTURA**		DIÂMETRO**		PRODUÇÃO (k/ha)		ÍNDICE DE CONVERSÃO (%)
	cm		mm		Espiga	Grãos	
0	139,69	b	18,77	a	4.310	3.332 a	78,53 a
05	163,75	ab	20,26	a	4.735	3.572 a	75,79 a
10	153,44	ab	20,07	a	3.995	3.028 a	75,82 a
20	155,00	ab	20,42	a	3.140	2.445 a	78,48 a
40	153,75	a	20,34	a	4.100	3.106 a	75,75 a
40 d/sup*	159,38	ab	18,30	a	3.880	2.975 a	74,36 a

* deposição superficial

** leitura realizada aos 60 dias após a emergência.

1 medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância, através do teste de Tukey

O índice de conversão apresentou valores próximos, correspondendo aproximadamente 75% do peso total da espiga, observando-se a mesma tendência de redução no índice com a maior incorporação do pó de lã de carneiro, ou seja demonstrando que o resíduo teve alguma influência sobre a cultura do milho.

4.7 Regressão linear

Através da análise de regressão foi determinado o índice de determinação e coeficiente de correlação. Nos confrontos entre a quantidade de resíduo aplicada e os valores obtidos para as características, foram considerados apenas os tratamentos com incorporação da lã de carneiro, sendo os resultados apresentados na tabela 19.

Verifica-se que a quantidade de resíduo aplicada ao solo apresentou correlação positiva com as características de volume de poros totais, macroporosidade, DMP embebido em água e benzeno, carbono orgânico e nitrogênio total e correlação negativa na relação C/N, densidade do solo e microporosidade. Contudo, esta correlação foi de forma diferenciada para cada época amostrada.

É provável que o comportamento diferenciado da correlação nas épocas de amostragem seja em função da forma como o resíduo afeta determinada característica, se de forma direta (baixa densidade, estreita relação C/N e alto teor de matéria orgânica) ou de forma indireta (através da forma e tempo de decomposição do resíduo pelos microorganismos), bem como devido a heterogeneidade da mistura resíduo-solo.

Entre os parâmetros químicos, a correlação positiva do teor de carbono orgânico e N total com a dose de resíduo eram esperados, devido à presença destes elementos na constituição do pó de lã. Todavia, o valor do coeficiente de correlação do carbono orgânico obtido na amostragem feita 120 após a incorporação foi menor que o observado aos 60 dias, indicando que houve redução na matéria orgânica além do nitrogênio para que ocorresse a bioestabilização do resíduo no solo.

O tempo necessário para a estabilização do material orgânico incorporado depende de sua relação C/N e quantidade aplicada, é o que sugere o resultado de correlação da dose do resíduo e a relação C/N, que apresentou valor maior aos 120 dias após a incorporação.

O DMP em água e benzeno apresentaram correlação positiva com quantidade de resíduo incorporado, confirmando os resultados de correlações de matéria orgânica e

estabilidade de agregados obtidos por KIEHL (1979), ROTH et al. (1991) e REICHERT et al. (1993).

Porém, conforme SIQUEIRA e FRANCO (1988), a correlação de DMP e o teor de carbono orgânico nem sempre é observada, devendo-se levar em consideração o tipo de composto orgânico, pois a matéria orgânica que possua pouca influência na atividade dos microorganismos do solo serão menos eficientes na agregação. Além disso, atuações de diferentes tipos de mecanismos de formação de agregado, tais como umidade e temperatura, a estabilidade de agregados pode não apresentar correlação com a matéria orgânica (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990).

A regressão linear para DMP demonstrou que não houve correlação entre as amostras embebidas em água com as pré-tratadas em álcool, sugerindo que não houve influência do cátions na agregação do solo, provavelmente devido ao aumento na acidez do solo, pela simples presença do resíduo, e a redução do soma de bases através de perdas causada pela lixiviação e consumo pelas plantas e microrganismos. Este resultado é conflitante com as correlações com cálcio e alumínio constadas por ROTH et al. (1986) e com soma de bases obtida por REICHERT et al. (1993).

A correlação que apresentada pelo DMP embebido em água e benzeno reforçam a influência da quantidade de resíduo aplicado e a agregação do solo, tendo a matéria orgânica como importante agregante, estando de acordo com os resultados constados por UZÊDA (1995) que também obteve correlação com r no valor de 0,81.

Tabela 19 - Valores de índice de determinação (R^2) e coeficiente de correlação (r), para os confrontos de regressão linear das amostras coletadas 30, 60 e 120 dias após a incorporação do resíduo de lã de carneiro.

CONFRONTOS	ÍNDICE DE DETERMINAÇÃO R^2			COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r)		
	30	60	120	30	60	120
Quant.de resíduo x Ds		0,838	0,759		- 0,915	- 0,871
Quant.de resíduo x Dp	0,344	0,009	0,087	0,586	0,095	0,295
Quant.de resíduo x VPT		0,723	0,799		0,850	0,894
Quant.de resíduo x macroporosidade		0,198	0,811		0,445	0,901
Quant.de resíduo x microporosidade		0,344	0,748		- 0,587	- 0,865
Quant.de resíduo x DMP (água)	0,666	0,735	0,825	0,816	0,857	0,909
Quant.de resíduo x DMP (álcool)	0,953	0,530	0,252	0,976	0,728	0,502
Quant.de resíduo x DMP (benzeno)	0,851	0,884	0,964	0,922	0,940	0,982
Quant.de resíduo x pH		0,510	0,452		0,714	0,672
Quant.de resíduo x carbono		0,991	0,700		0,995	0,837
Quant.de resíduo x nitrogênio		0,871	0,953		0,933	0,976
Quant.de resíduo x relação C/N		0,692	0,887		- 0,832	- 0,942
Quant.de resíduo x fósforo		0,062	0,168		- 0,249	- 0,410
Quant.de resíduo x potássio		0,430	0,577		- 0,656	- 0,760
Quant.de resíduo x V%		0,485	0,379		- 0,697	- 0,616
Quant.de resíduo x m%		0,406	0,653		0,637	0,808
DMP água x DMP álcool			0,452			0,672
DMP água x DMP benzeno			0,700			0,837
VPT método indireto x VPT método direto			0,762			0,873

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos são possíveis as seguintes conclusões:

1. As operações para o preparo do solo, por si só, também promoveram alterações em algumas das características físicas do solo avaliadas neste trabalho;
2. A quantidade do pó de lã de carneiro incorporado ao solo apresentou efeitos nas características físicas do mesmo, sendo que a baixa densidade do resíduo contribuiu no aumento do volume de poros total e macroporosidade e na redução da densidade do solo;
3. Os resultados de estabilidade de agregado apresentaram relação com o resíduo, com aumento no valor de DMP na época de amostragem onde se obteve maiores teores de matéria orgânica, principalmente nos tratamentos com incorporação de 20 e 40 t/ha do pó de lã;
4. Houve o aumento nos teores de matéria orgânica e N total do solo, com consequente estreitamento na relação C/N, obtendo-se os melhores resultados nos tratamentos com maiores dosagens;
5. O baixo pH e a presença do enxofre na constituição do resíduo atuaram de forma negativa na fertilidade, promovendo o aumento na acidez do solo. Em decorrência disso, houve a redução nos teores do complexo sortivo do solo e aumento os teores de Al;

6. As quantidades do resíduo aplicado ao solo apresentaram diferentes intensidades de alteração nas características verificadas, sendo que a incorporação de 20 e 40 t/h foram os tratamentos que apresentaram maiores alterações;
7. O resíduo pode ser aplicado diretamente no solo, promovendo alterações em algumas características físicas, desde que se promova uma boa interação resíduo/solo. Entretanto, o seu uso dever ser realizado com restrições, pois admitindo-se a aplicação do resíduo com objetivos agronômicos, não é viável tecnicamente quando analisado sob o ponto de vista referente aos aspectos químico do solo e do comportamento da cultura.
8. O estudo realizado não esgota a avaliação da aplicação de lã de carneiro, devendo-se ainda avaliar o período necessário para a decomposição do material, seu efeito sobre o solo por período mais longo, as factibilidades operacional, econômica e biológica, a influência de diferentes adubações na degradabilidade do resíduo e seu efeito sobre o solo.

6. LITERATURA CONSULTADA

- ALLISSON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Developments in Soil Science. Elsevier, 1973. 673p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4 ed., New York, 1972. 498p.
- BAVER, L.D. & FARWORTH, R.B. Soil structure effects in the growth of sugar beets. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v 5, p.45-48, 1972.
- BONI, N.R.; ESPÍNDOLA, C.R.; GUIMARÃES, E.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo em função do uso agrícola. **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, XXIII, Porto Alegre-RS, 1991. Anais...Porto Alegre, SBCS, 1995.
- BRASIL, Ministério da Agricultura **Aptidão agrícola das terras de São Paulo: estudos básicos para o planejamento agrícola**. Brasília, Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola, 1979. 378 p.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. FIGUEIREDO FILHO, A.B.N. (trad.), São Paulo, 1967. 594p.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. **Características química e física de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. (Boletim técnico 76)
- CAMARGO, O.A.de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALLADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas-SP, IAC, 1986. (Boletim Técnico, 106)
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

- CASTRO, O.M. et al. **Caracterização química e física de dois latossolos em plantio direto e convencional**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1987. (Boletim científico 11)
- COSTA, L.M. Aspectos de conservação do solo . In: Fundação Cargill. **Aspectos de manejo do solo: 1º encontro do uso da terra na região do Vale do Parapanema**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 97p.
- COSTA, M.B.B. (coord.) **Adubação orgânica: nova síntese e novo caminho para a agricultura**. São Paulo, Ícone Editora Ltda, 1989. 102p.
- COSTA, M.P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**. Piracicaba: USP, 1985. 137p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1985.
- DANIEL, L.A.; LUCARELLI, J.R.F.; CARVALHO, J.F de Efeito do método de preparo de solo na formação e localização de camadas compactadas. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, XXIV, Viçosa-MG, 1995. Anais... Viçosa, SBEA, 1995.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FARRES, P.J. The dynamics of rainsplash erosion and the role of a aggregate stability. *Catena*, Braunschweig, v. 14, p.119-130, 1987.
- FERNANDES, M.R. **Alterações na estrutura de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola**. Campinas: UNICAMP, 1993. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- GUIMARÃES, E.C. et al. Variabilidade da umidade e da densidade em diferentes sistemas de preparo do solo. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, XXV, Bauru-SP, 1996. (no prelo)
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, Wisconsin, v. 18, p. 107-169, 1966.
- HENIN, S.; GRAS, R.; NONNIER, G. **Os solos agrícolas**. São Paulo, Editora Universidade de São Paulo, 1976. 327p.
- IGUE, K. et al. **Adubação orgânica**. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), 1984. (Boletim técnico)
- JESUS FILHO, J.D. **Recuperação de um Latossolo Vermelho Amarelo (LV) fisicamente degradado**. Piracicaba, SP: USP, 1992. 69p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1992.

- JORGE, J.A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 237-240, 1991.
- KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: relação solo - planta**. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Ceres, 1985. 492p.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 395-401, 1995.
- KONONOVA, M.M. Humus of virgin and cultivated soils. **Soil components: organic components**. New York: Springer-verlag N. Y. Inc., 1975. 534p.
- LAMBAIS, M.R. Poluição orgânica e seu controle. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas - SP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.
- LASSUS, C. Composição dos resíduos vegetais em um solo manejado com nove sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 375-380, 1990.
- LONGO, R.M. **Efeito da vinhaça "in natura" e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar**. Campinas: UNICAMP, 1994. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- MELO, W.J. **Matéria Orgânica**. Apostila do curso de pós-graduação da FCAV/UNESP, Jaboticabal, 1994. 77p.
- MELLO, F.A.F. et al. **Fertilidade do solo**. 3ª edição. São Paulo, Editora Nobel, 1987. 400p.
- MIAYASAKA, S. et al. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. São Paulo, Fundação Cargill, 1983. 183p.
- MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; CARDOSO, E.J.B.N. Efeitos da adição, de N e P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 297-304, 1990.

- MORAES, M.H. & BENEZ, S.H. Efeito do sistema de preparo nas propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada e na produção de milho. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, XXIII, Campinas-SP, 1994. Anais...Campinas, SBEA, 1994.
- NOVAK, L.R. et al. Efeito do Tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho Escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27 (12), p. 1587-1595, 1987.
- Nova Odessa: edição histórica.** São Paulo, Editora Comemorativa Ltda, 1975. 85p.
- OADES, J.M. Soil organic matter and strutral stability machanisms and implications for management. **Plant and Soils**. v.76, p. 319-337, 1984.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes Gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento.** 2 edição Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo.** 9 edição, 3 reimpressão. São Paulo, Nobel, 1990. 541p.
- RANDO, E.M. **Alterações na características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional.** Lavras: ESAL, 1981. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1981.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Índice de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmentos de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v. 17, p.283-290, 1993.
- ROTH, C.H. et al. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com caféeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v. 10, p.163-166, 1986.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B.. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossola Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v. 15, p.241-248, 1991.
- SIQUEIRA, J.O. **Microorganismos do solo: só simbiose?** Lavras - MG, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1986.
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas** Brasília-DF, Ministério da Educação; Lavras - MG, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 236p.
- SOUZA, L.S. & COGO, N.P. Caracterização física em solos da unidade de mapeamento São Jerônimo-RS (PALEUDULT) em três sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v. 2, p.170-178, 1978.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre microrganismos do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p

UZÊDA, M.C. **Efeito do cultivo e do pousio sobre o solo e a vegetação secundária na Amazônia oriental**. Campinas: UNICAMP, 1995. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1995.