

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS BOTUCATU

**Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de
resíduos de suínos**

JULIANA BARILLI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de
Botucatu, para a obtenção de título de Doutor
em Agronomia – Área de concentração em
Agricultura

BOTUCATU-SP

2005

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO	01
SUMMARY	03
1 INTRODUÇÃO	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1 Situação da suinocultura brasileira	07
2.2 Quantidade de resíduo gerado	08
2.3 Importância da matéria orgânica	09
2.4 Alterações nas propriedades físicas do solo	13
2.5 Alterações na propriedade químicas do solo	17
2.6 Alterações nas propriedades microbiológicas do solo	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Caracterização da área de estudo e do meio físico	24
3.2 Histórico da área de estudo	25
3.3 Caracterização do resíduo	26
3.4 Forma, dosagem e frequência de aplicação.....	26
3.5 Áreas de estudo	28
3.6 Amostragem de solo	28
3.7 Análises Físicas	29
3.8 Análises Químicas	30
3.9 Analise Microbiológica.....	31
3.10 Delineamento Estatístico.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONCLUSÕES	68
6 BIBLIOGRAFIA	69

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Composição granulométrica do solo das áreas estudadas	25
2 Caracterização do resíduo líquido de suíno in natura	26
3 Valores médios de matéria orgânica para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	33
4 Valores médios de densidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	34
5 Valores médios de teor de água do solo a 0,006 MPa de coluna de água para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	35
6 Valores médios de macroporosidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	36
7 Valores médios de microporosidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	37
8 Valores médios de porosidade total do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	38
9 Valores médios dos agregados para cada peneira, para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	42
10 Valores médios do teor de argila dispersa em água para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	44
11 Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	45
12 Valores médios de resistência do solo a penetração para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	46
13 Valores médios de C das substâncias húmicas para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	48
14 Valores médios de carbono total do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada profundidade do solo estudado.	49

15 Valores médios de macronutrientes no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	56
16 Valores médios de condutividade elétrica do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	59
17 Valores médios de micronutrientes no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	60
18 Valores médios de soma de bases no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	61
19 Valores médios de CTC no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	62
20 Valores médios de V% no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada. ...	63
21 Valores médios de pH do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada. ...	65
22 Valores médios de carbono microbiano (biomassa) no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Equipamento para aplicação do resíduo líquido de suínos.	27
2 Aspecto da área após a aplicação do resíduo líquido de suínos.	27
3 Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A0 em cada camada de solo estudada	38
4 Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A3 em cada camada de solo estudada	39
5 Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A7 em cada camada de solo estudada	39
6 Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A26 em cada camada de solo estudada.	40
7 Permeabilidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.....	46
8 Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) no A0.....	51
9 Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) no A3.	52
10 Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) no A7	53
11 Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) no A26	54
12 Valores de CTC em função da matéria orgânica do solo para A0 (A), A3 (B), A7 (C) e A26 (D).	64

RESUMO

A suinocultura é uma exploração pecuária concentradora de dejetos, possuindo alta carga poluidora para o solo, ar e água. Nos últimos quinze anos muita atenção passou a ser dada às necessidades de desenvolvimento tecnológico, com vista à disposição dos resíduos gerados por animais, de forma a causar o mínimo impacto sobre o ambiente, obtendo um aproveitamento na reciclagem destes resíduos. O descarte destes dejetos no solo surge como uma possibilidade de reaproveitar a energia indisponível pelos vários segmentos da atividade antrópica e, desta forma, transformá-los em subprodutos através da capacidade cicladora do solo, proporcionada pela ampla diversidade de espécies microbianas e de vias metabólicas. O trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico mediante a aplicação de resíduo líquido de suínos, após os períodos de aplicação de 3, 7 e 26 anos sob a cultura do café, em comparação com área testemunha. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 6 repetições. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,20-0,40; 0,60-0,80 m. Os resultados foram submetidos a análise de regressão e análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. A

aplicação do resíduo líquido de suíno promoveu aumento da matéria orgânica, dos ácidos húmicos e da humina até 0,80m, em relação a área de mata. A aplicação de resíduo diminuiu o diâmetro médio ponderado dos agregados, a porcentagem de agregados com diâmetro entre 8 e 2 mm e a permeabilidade do solo, aumentou a porcentagem de agregados com diâmetro entre 2 e 0,105 mm e não influenciou na macroporosidade, microporosidade, porosidade total, argila dispersa em água e a resistência do solo a penetração em relação ao solo de mata. As propriedades químicas do solo (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, CTC, SB, V% e CE) foram alteradas positivamente em relação ao solo das camadas superiores (0-0,05 e 0,05-0,10m) pela aplicação do resíduo líquido de suíno. A biomassa do solo foi influenciada positivamente pela adição do resíduo.

ATTRIBUTTES OF AN OXISOL UNDER PIG LIQUID RESIDUE APPLICATION.
Botucatu, 2005. 75p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas,
Universidade Estadual Paulista

Author: Juliana Barilli

Adiviser: Maria Helena Moraes

SUMMARY

Pig production is a cattle breeding exploration which aims to get dejections, having high polluted power for the soil, air and water. In the last fifteen years, a special attention has been given to the tecnologic development needs, aiming the deposition of the residue generated by animals, to cause the minimum impact in the environment, getting the utilization of these residue recicled. With the discarding of these dejections in the soil, a possibility of utilization of the energy available by the several segments of the antropic activity and, thus, transform them in subproducts through that cycling capacity of the soil, given through the wide diversity of microbes species and metabolic ways. The research had

the objective to evaluate the physical, chemical and microbiological properties of an OXISOL with the application of a pig liquid residue after the application, a period of 3, 7 and 26 years over the coffee crop, in comparison with a control treatment. The experimental design used was the completely randomized with 4 treatments and 6 replications. The soil samples were collected in 4 layers in the soil 0-0.05; 0.05-0.10; 0.20-0.40; 0.60-0.80 m. The results were submitted to regression analysis and variance analysis and the means were compared through the Tukey test with 5% of probability. The residue application decreased the medium diameter of the aggregates, the percentage of aggregates with diameter between 8 and 2 mm and the soil permeability, increased the percentage of aggregates with diameter between 2 and 0.105 mm and didn't influenced the macroporosity, microporosity, total porosity, clay dispersed in water and the soil resistance to penetration in relation to the soil under the forest. The soil chemical properties (P, K, Ca, Mg, Zn, CTC, SB, V% e CE) were positively correlated in relation to the soil of the higher layers (0-0.05 and 0.05-0.10 m) by the application of the swine liquid residue. The biomass was positively influenced by the residue addition.

Keywords: organic matter, physical properties, chemical properties, microbiological properties.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da suinocultura no Brasil pode ser considerado como certo. O rebanho suíno brasileiro tem a sua maior representação numérica, econômica e tecnológica na região Sul. Tendo em vista o tamanho continental do nosso país e a influência européia na criação de suínos tem-se, uma tecnologia de ponta.

Para encontrar uma suinocultura ambientalmente adequada e sustentável, independente da escala de produção, é importante que se faça a identificação e o controle dos aspectos ambientais da produção, que geram esses impactos.

Os resíduos provenientes da suinocultura, tornam-se um problema à medida que o crescimento do número de cabeças se faz necessário para o desenvolvimento do setor. Diante dessa preocupação, deve-se levar em consideração o descarte desses resíduos nos solos agricultáveis, como matéria orgânica, que podem favorecer a qualidade do solo e, em consequência, aumentos de produção associados a ciclagem desses resíduos.

A importância da matéria orgânica na agricultura vem sendo destacada pela FAO, tanto que já em 1974, antes da atual crise energética, esse organismo promoveu um

Seminário Internacional denominado “Use of Organic Matter in Agriculture”, com a participação de especialistas no assunto, e do qual resultou, como recomendação final, a intensificação de pesquisas no sentido de investigar os efeitos de adubos químicos na presença de adubos orgânicos.

O uso do solo para descarte de resíduos orgânicos começou a ser estudado e avaliado criticamente, em 1991, no XXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo em Porto Alegre, através de um debate “O solo como meio de descarte de resíduos”, demonstrando a preocupação emergente do setor industrial em resolver o problema de acúmulo de resíduos no ambiente.

Com o manejo do resíduo proveniente de suinocultura existe a possibilidade de recuperação de áreas que estejam degradadas, uma vez que o resíduo poderá agir como melhorador do ambiente solo.

Com a aplicação do resíduo de suíno por períodos prolongados, pode-se observar a ocorrência de melhorias nos atributos do solo, conforme aumenta o tempo de aplicação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico mediante a aplicação de resíduo de suíno, após os períodos de aplicação de 3, 7 e 26 anos sob a cultura do café, em comparação com área sob mata.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Situação da suinocultura brasileira

A suinocultura Brasileira vem crescendo a passos largos nos últimos anos. De acordo com a ABIPECS (Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína), o crescimento foi de 15% ao ano, durante o último quinquênio. Levantamentos obtidos de 1994 até 2000, mostram um crescimento de 116% na produção de carne suína. No rebanho mundial o Brasil destaca-se em quarto lugar com produção de 3,0 milhões de toneladas, superado pela China, em primeiro lugar com 44,1, seguido da União Européia de 17,6 e em seguida Estados Unidos da América com 8,8 milhões de toneladas. Dentre as regiões produtoras destaca-se a região Sul com 20,65 milhões de cabeças, Sudeste com 7,73, Centro-Oeste com 5,21, Nordeste com 3,35 e Norte com 0,72 milhões de cabeças. (BOHERE, 2003)

2.2 Quantidade de resíduo gerado

A criação de suínos produz dejetos que, atualmente pela quantidade produzida, chamam atenção no descarte ou utilização na agricultura.

De maneira geral, uma criação com 1000 suínos, comendo 3 kg de ração animal/dia, com uma conversão de 3:1, pode produzir cerca de 2000 kg de esterco e 4000 a 5000 litros de urina e água de lavagem por dia, 60 toneladas e 120000 litros de esterco e urina em um mês, verdadeira montanha de excrementos, o que mostra a importância das técnicas de manejo. Na tecnologia convencional, os excrementos dos animais confinados são removidos das instalações por meio de jatos de água e canalizados para ribeirões. Com o desenvolvimento das grandes unidades de criação e o uso de pisos de ripões, criou-se um grave problema do manejo do esterco, que se acumula. Este esterco é um grande poluente e não tem grande importância agrícola, em vista de sua baixa concentração de N, P e K. O manejo nas grandes unidades de criação que estão e serão montadas, deve ser precedido por pesquisa, para se evitarem danos ao meio ambiente. Deve-se considerar os efluentes das criações, junto aos esgotos ou cursos de água, no que se refere ao DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e SS (sólidos em suspensão). Um animal de 90 kg desperdiça com DBO cerca de 30000 mg L⁻¹ dependendo da alimentação; na Inglaterra os níveis toleráveis de efluentes são: DBO – 20 mg L⁻¹ e SS – 30 mg L⁻¹. Esses dados são muito importantes, considerando nossa condição de clima tropical, para efeito de planejamento de criações, levando em consideração que nestas condições climáticas as fermentações se processam com intensa rapidez. Embora os dejetos de suínos não sejam considerados adubo, devem ser aproveitados pela agricultura como condicionadores de solo, sendo excelentes incorporadores de matéria orgânica, podendo ser usados puros antes do plantio, como pasta líquida, ou secos misturados com fertilizantes (GODINHO, 1988).

A composição desses dejetos é variável, sendo influenciada por vários fatores, como espécie animal, a raça, a idade, a alimentação, o material utilizado como cama, o tratamento dado à matéria-prima-esterco, além de outros. Entre os fatores apontados que podem sofrer maior interferência do criador estão a qualidade e a quantidade de alimentos, pois quando mais rica a alimentação, mais ricas as dejeções (TEDESCO et al., 1999).

2.3 Importância da matéria orgânica

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou a sustentabilidade da exploração agrícola. Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos, um deles, porém, define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra (DORAN e PARKIN, 1994).

Larson e Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas, que acompanhadas ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo. O carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica (MO) do solo encontram-se entre essas variáveis.

A discussão sobre os impactos ambientais decorrentes da adição de materiais orgânicos no solo, seja na forma de resíduos ou de adubos orgânicos, deve ser realizada com base no histórico do conhecimento humano e no modelo tecnológico produzido. Observa-se, na prática, que o desenvolvimento tecnológico melhorou a qualidade de vida em todos os sentidos, mas não foi suficiente para responder ao princípio previsto pela primeira lei da termodinâmica de que apenas parte da energia é aproveitada (SANTOS e CAMARGO, 1999).

Segundo Kiehl (1985), a incorporação da matéria orgânica nos solos, na forma de esterco animal ou de compostos orgânicos, aumenta a capacidade de troca catiônica e proporciona a melhoria na estrutura, caracterizada pela diminuição de densidade do solo, aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água, além de aumentar direta e indiretamente a capacidade do solo de armazenar água.

Através de suas longas cadeias carbônicas, a matéria orgânica funciona como condicionador de solo, agregando partículas minerais e conferindo ao solo condições favoráveis de porosidade e frabilidade, e é responsável, em grande parte, pela capacidade de troca catiônica em solos. O teor reduzido de matéria orgânica dos solos contribui para aumentar a densidade do solo. A ocorrência de agregados no solo contribui para dar uma condição friável e porosa que, em decorrência, reduz os valores de densidade do solo (RAIJ, 1991).

Com relação às fases de formação, acúmulo, equilíbrio e destruição da matéria orgânica em um solo Kiehl (1979) comenta que durante a formação do solo, a vegetação natural acrescenta matéria orgânica até que se estabeleça um equilíbrio e o conteúdo permaneça constante. Com a retirada da mata e a utilização dessas áreas com culturas ocorre um desequilíbrio drástico, reduzindo o teor de matéria orgânica. Havendo adições de material orgânico ao solo ocorre alteração do equilíbrio com aumento do teor de matéria orgânica do solo.

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição de resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas ligninas e outros. Essas macromoléculas constituem, aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas, constituindo 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico.

Durante a decomposição da matéria orgânica, processos distintos, mas simultâneos ocorrem, podendo ser resumidos: as macromoléculas são atacadas pelas enzimas extracelulares de origem microbiana, produzindo moléculas menores, que são absorvidas e consumidas pelas células microbianas; os monômeros e oligômeros, presentes no material em decomposição, são rapidamente consumidos e transformados em biomassa microbiana, CO₂ e energia; como resultado da proliferação microbiana, o carbono e os nutrientes do material são transformados em novas moléculas, como proteínas, polissacarídeos, ácidos nucléicos, quitina e outros; e finalmente, restos celulares e metabólitos microbianos, subprodutos da decomposição e complexos organo-minerais acumulam-se na matéria orgânica do solo como moléculas quimicamente estáveis, formando o húmus do solo (ANDREUX, 1996).

No enfoque da microbiologia funcional do solo, o húmus pode ser considerado um subproduto das transformações bioquímicas dos materiais orgânicos no solo. Mesmo com os recursos da química moderna, sua estrutura molecular ainda pouco conhecida é assunto de muitos estudos, especulações e controvérsias. O conceito estrutural mais aceito considera que as substâncias húmicas são polifenóis remanescentes da lignina, a unidade base destas combinadas com aquelas sintetizadas pelos microrganismos que, em função da sua solubilidade relativa em álcali ou ácidos, são grosseiramente separados em ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina (CARDOSO et al, 1992).

De acordo com Hayes e Swift, (1978) algumas propriedades físico-químicas das substâncias húmicas podem ser avaliadas quanto às suas tendências, conforme segue:

Fracionamento das substâncias húmicas com base na solubilidade		
Solúvel em base Solúvel em ácido	Solúvel em base Insolúvel em ácido	Insolúvel em base Insolúvel em ácido
↓	↓	↓
Ácido Fúlvico	Ácido Húmico	Humina
_____	Peso molecular crescente	_____→
_____	Conteúdo de carbono crescente	_____→
_____	Conteúdo de oxigênio decrescente	_____→
_____	Acidez e CTC decrescente	_____→
_____	Conteúdo de N crescente	_____→
_____	Semelhança com lignina crescente	_____→

Entre as substâncias húmicas, os ácidos húmicos e os ácidos fúlvicos são os mais estudados. A composição média de uma unidade básica do ácido húmico e do ácido fúlvico, em termos de fórmula química média é, respectivamente, a seguinte: $C_{187}H_{186}O_{89}N_9S$ e $C_{135}H_{182}O_{95}N_5S_2$. Comparando-se essas fórmulas médias com a média da razão molar (C/N/P/S) da matéria orgânica do solo, de 278:17:1:1 e com a composição média das plantas aquáticas, de $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}$, constata-se o relativo empobrecimento em N nas substâncias húmicas, o que é compensado pelo maior conteúdo de S. A relação C/N presente nos ácidos húmicos e fúlvicos é superior em 50% a observada na MOS, indicando, neste caso, um menor grau de degradabilidade dessas substâncias, sendo a humina o estado mais avançado de estabilização da matéria orgânica (SCHNITZER e KHAN, 1978).

É possível observar que os ácidos húmicos possuem conteúdo maior de C e menor de O e, conseqüentemente, uma massa maior, comparada à dos ácidos fúlvicos. Entretanto, os ácidos fúlvicos contêm mais grupamentos $-COOH$ por unidade de massa em relação aos ácidos húmicos (8,2 contra 3.6 mol kg^{-1}). Dessa forma, os ácidos fúlvicos possuem maior acidez total e, conseqüentemente, quando da sua dissociação, apresentam maior

capacidade de troca de cátions ($1120 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), contra 670 a $200 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dos ácidos húmicos e das argilas silicatadas 2:1, respectivamente (CANELLAS et al., 1999).

No final do século XIX, já se compreendiam as substâncias húmicas como uma mistura complexa de substâncias orgânicas com natureza principalmente coloidal e com propriedades fracamente ácidas. Havia também informações a respeito de sua interação com outros componentes do solo (STEVENSON, 1982).

Nos modelos recentemente propostos, têm-se observado espaços vazios na estrutura de ácidos húmicos de diferentes tamanhos, onde poderiam alojar-se outros compostos orgânicos, favorecendo a agregação das partículas no caso de estarem presentes elementos inorgânicos como argila e óxidos-hidróxidos, ou ainda agrotóxicos e outros poluentes (SCHULTEN e SCHNITZER, 1997).

Substâncias húmicas em solução formam agregados mistos ou micelas, sendo esses agregados húmicos mantidos por ligações fracas como pontes de H. Entretanto, as substâncias húmicas são até o momento modeladas como grandes compostos macromoleculares de massa molar variável. Tais propriedades das substâncias húmicas podem levar à reconsideração da definição clássica das frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos da matéria orgânica humificada. Os ácidos fúlvicos seriam formados por pequenas micelas estáveis que permanecem dispersas devido à repulsão das cargas negativas originadas da dissociação de grande quantidade de grupos ácidos presentes na estrutura, aumentando a CTC do solo e podendo ocasionar uma dispersão entre as partículas do solo. As micelas de ácidos húmicos, por outro lado, por apresentarem uma menor quantidade de grupos funcionais ácidos, podem aproximar-se o suficiente para formar agregados de elevada massa molar, aumentando assim a porcentagem de agregação dos solos (PICCOLO, 1996).

A elevada estabilidade química de certas frações orgânicas resulta na recalcitrância das substâncias que as compõem, das transformações que elas sofrem e de mecanismos de proteção contra a decomposição como a formação de complexos com argilo-minerais, isto explica os teores mais elevados de matéria orgânica em solos mais argilosos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

2.4 Alterações nas propriedades físicas do solo

Em solos tropicais e subtropicais a matéria orgânica tem grande importância influenciando todas as propriedades do solo e constituindo componente fundamental da sua capacidade produtiva. A manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica e da capacidade produtiva do solo pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com pequeno, ou nenhum, revolvimento e por sistemas de cultura com grande adição de resíduos, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Em geral, os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e espaço poroso, agronomicamente desejáveis. Nessa situação, o volume de solo que as raízes podem explorar é grande. Entretanto, à medida que os solos vão sendo trabalhados, consideráveis alterações físicas vão ocorrendo (ANDREOLA et al., 2000).

Algumas das propriedades físicas alteradas pelas práticas de manejo são a densidade, a estrutura e, conseqüentemente, o arranjo e o volume dos poros. Essas alterações influem nas propriedades físico-hídricas, dentre elas a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998).

De acordo com Archer e Smith (1972), o limite máximo tolerado da densidade dos solos argilosos é de $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo que solos com densidade acima de $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentam sérias desvantagens quanto à permeabilidade e aeração.

As fases sólida, líquida e gasosa do solo, guardam entre si uma certa proporção, porém esse equilíbrio pode ser afetado com as variações da temperatura, pressão, luz, atividade dos microorganismos, adições de água, adições de matéria orgânica, absorção de íons pelas raízes das plantas, práticas de preparo do solo, além de outros fatores. A proporção ideal dos componentes de um solo deve ter cerca de 50% de porosidade total e 50% do volume de sólidos; os sólidos devem estar divididos em 45% de matéria mineral e 5% de matéria orgânica, e a porosidade total em 33% de microporos e 17% de macroporos (KIEHL, 1979).

Esses dois tipos de poros são responsáveis pela dinâmica da água e do ar do solo. Nos macroporos de maior diâmetro a água drena e o ar se move livremente, e nos microporos ocorre a retenção de água por capilaridade (KIEHL, 1985).

A porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. Valores de porosidade de aeração inferiores a $0,10\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ têm limitado o crescimento radicular, embora esse limite dependa, também, do tipo de planta e da atividade biológica do solo (TORMENA et al., 1998).

A degradação da estrutura provoca diminuição da porosidade, essencial ao desenvolvimento radicular, favorecendo o aumento da erosão hídrica. A adoção de culturas e de sistemas de manejo conservacionistas ameniza esses problemas e atua no sentido de restaurar a estrutura do solo (SCHAEFER et al., 2001).

A acumulação de matéria orgânica e seu tipo de decomposição desempenham papel importante, especialmente no desenvolvimento da estrutura granular. Realmente, a preservação e a melhoria deste tipo peculiar de estrutura consiste num dos mais importantes problemas de solo de terras cultivadas (BUCKMAN e BRADY, 1967).

Segundo Santos e Camargo (1999), a principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo.

A agregação do solo é influenciada pela capacidade de floculação do solo; mineralogia do solo; pH e alumínio; tipos de ácidos orgânicos presentes; interação entre partículas de argila, cátions polivalentes e matéria orgânica; e pela atividade microbiana do solo (CASTRO FILHO et al., 2002).

A interpretação dos resultados da análise de agregados como um único índice representando uma amostra de agregados, torna-se mais fácil a comparação dos dados, (?) como por exemplo os dados de diâmetro médio ponderado, que segundo Müller (2002) é um índice de agregação que será maior, quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras.

A aplicação de resíduos orgânicos pode aumentar a estabilidade dos agregados do solo, mas esse efeito depende da classe de textura. Solos arenosos, com menor estabilidade, respondem mais que solos argilosos com inerente estabilidade dos agregados. O efeito dos dejetos de animais sobre a estabilização dos agregados do solo em água varia de solo para solo e, muitas vezes, são necessárias aplicações durante vários anos para que as diferenças sejam detectadas (WEIL e KROONTJE, 1979).

Castro Filho et al. (2003), avaliando o potencial fertilizante do chorume de suínos e as alterações nas propriedades físicas de solos argilosos de diferentes classes texturais, verificaram que a aplicação de doses crescentes de chorume suíno proporcionou melhoria na agregação do solo como resultado do aumento no teor de carbono orgânico e, como consequência, aumento nas taxas de infiltração.

Qualquer alteração significativa que ocorra na estrutura do solo, provocará mudanças nas relações solo-ar-água e, em consequência, na resposta do solo em termos de comportamento físico ao crescimento das plantas (PEDROTTI et al., 2001).

Barbosa et al. (200), estudando os efeitos de dois anos de aplicação do lodo de esgoto, nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutrófico, concluíram que existe uma tendência de aumento da agregação do solo e macroporosidade e redução da densidade do solo e microporosidade, porém sem diferenças significativas, nos tratamentos que receberam o lodo de esgoto; aumento na condutividade hidráulica do solo e menor resistência do solo à penetração somente na superfície do solo.

A matéria orgânica na fração humificada, além de fazer parte da matriz do solo na forma de colóides orgânicos, exerce profundos efeitos nas suas propriedades e também direta ou indiretamente sobre as plantas e organismos. A melhoria nas propriedades físicas do solo reduz sua suscetibilidade à erosão e assim, indiretamente, reduz os danos que esta causa aos solos agrícolas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Fortun et al. (1990) demonstraram que os ácidos húmico e fúlvico são mais efetivos na agregação do solo, ao aumentar os agregados maiores que 0,2mm com a adição dessas frações no solo, sendo essas frações mais ativas que a argila do solo.

Piccolo e Mbagwu (1990) observaram que a estabilidade de microagregados tem maior correlação com o conteúdo das substâncias húmicas que qualquer outro componente da matéria orgânica do solo, tendo uma correlação significativa na

estabilidade de microagregados com o conteúdo de substâncias húmicas de pesos moleculares altos, melhorando a estabilidade destes microagregados. Os autores observaram, também, que a adição de resíduos de suínos, lodo de esgoto e resíduos de bovinos em solo arenoso resultou em aumento da estabilidade dos agregados em 34, 41 e 26,6%, respectivamente, enquanto que para o solo argiloso não houve resposta significativa.

Burak et al. (2001), objetivando avaliar o efeito da matéria orgânica na agregação do solo, observaram que maiores teores de ácido fúlvico do solo participaram na composição de menores agregados e o ácido húmico e humina participaram predominantemente na composição de agregados maiores, sugerindo ainda que o ácido húmico contribui também como agente cimentante dos menores agregados para formação dos agregados maiores.

A incorporação de esterco de animais ou outros materiais orgânicos em condições adequadas de umidade pode promover efeitos benéficos nas características físicas do solo, como aumento da microporosidade e retenção de água (HAFEZ, 1974 e WEIL e KROONTJE, 1979)

Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993) observaram aumento na porosidade do solo após aplicação de resíduos de suínos sendo o maior aumento foi devido ao desenvolvimento de macroporos (maiores que 50mm). O aumento da macroporosidade é particularmente importante porque pode influenciar no crescimento das raízes, infiltração de água e aeração do solo.

Na camada arável, na qual os resíduos são incorporados, o revolvimento do solo, no preparo, altera a porosidade e, conseqüentemente, as propriedades de transmissão da água, mas se o solo apresenta propriedades favoráveis de textura (arenosa) e boa estrutura para o rápido caminhamento da água, a adição de compostos orgânicos não muda sua condutividade hidráulica saturada (KHALEEL et al., 1981).

O mesmo resultado foi verificado por Wei et al. (1985) que enfatizam que elevadas taxas de adição de lodo de esgoto ou compostos são necessárias para ocasionar mudanças estatisticamente significativas na condutividade hidráulica do solo saturado.

Como a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas está ligada às propriedades de retenção e transmissão de água e de solutos no solo, e estas, por sua vez, podem ser influenciadas pela aplicação de resíduos, é importante estudar os efeitos da

incorporação desses materiais nas propriedades físico-hídricas do solo como a condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado (MARCIANO et al., 2001).

Andrade et al. (2002a) estudaram a dinâmica da água no solo e concluíram que com a aplicação de dejetos líquidos de suínos, lâminas significativas de percolação profunda foram observadas, indicando um caminho potencial para contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Alvarenga et al. (2002) que estudaram as perdas de solo e água por escoamento superficial em solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos, concluíram que a rotação e a sucessão de culturas são, juntamente com a camada de palha, estratégias importantes para a imobilização temporária de nutrientes, reduzindo o risco de lixiviação.

A resistência do solo à penetração é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Essa resistência aumenta com a compactação e com a diminuição da umidade do solo (BENGHOUGH e MULLINS, 1990), sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de e de 2,0 a 4,0MPa e de 1,5 a 3,0MPa respectivamente, segundo Arshad et al. (1996) citados por Beutler et al. (2001) Grant & Lanfond (1993), ou variando de 1 a 3,5MPa, de acordo com Taylor & Burnett (1964), Gerard et al. (1972), Nesmith (1987), Merotto & Mundstock (1999).

Arshad et al. (1996) citados por Beutler et al. (2001) comentam que com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas, dificultando comparações entre sistemas de manejo; sendo este aspecto corrigido quando se realizam medições na capacidade de campo do solo.

2.5 Alterações nas propriedades químicas do solo

Entre as propriedades químicas, afetadas pela matéria orgânica, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos (SANTOS e CAMARGO, 1999).

Sediyama et al. (2000), estudando os nutrientes de dejetos de suínos, observaram que a compostagem de resíduos de suínos proporcionou a produção de adubos de alto valor fertilizante que, quando aplicados ao solo em doses adequadas, tornam-se excelente opção para a disposição desses resíduos no ambiente.

A matéria orgânica é uma fonte fundamental de nutrientes para as plantas, disponibilizando elementos como o N, P e S. No Brasil, particularmente nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o teor de matéria orgânica do solo é utilizado como critério básico para as recomendações de nitrogênio para as culturas (ANGHINONI, 1985).

Segundo Kiehl (1985) a matéria orgânica é uma importante fonte de fósforo para as plantas, contendo geralmente de 15 a 80% do fósforo total encontrado no solo. A quantidade de fósforo orgânico decresce no perfil com a profundidade, sendo que pequenas quantidades são encontradas além de 0,90m.

O resíduo líquido, proveniente do confinamento de suínos, apresenta um grau de putrescibilidade elevado, alta concentração de sódio, nitrogênio, fósforo e aditivos de ração, apresentando também cor forte e mal odor característico (PAULA, 1982).

Matos et al. (1997), avaliando efeitos de aplicação de dejetos líquidos de suínos em um solo de textura média, não observaram alterações significativas nas suas características químicas e microbiológicas, tendo em vista uma única aplicação.

Sharpley et al.(sd) citado por Matos et al. (1997) verificaram que após 15 anos de aplicação de dejetos de suínos, em solos de textura franco-siltosa, o teor de K da camada superficial não aumentou significativamente, atribuindo estes resultados à alta capacidade de remoção de nutrientes pelas plantas forrageiras ali cultivadas.

Theodoro et al. (2002), objetivando caracterizar alterações dos parâmetros químicos do sistema de produção do cafeeiro orgânico, concluíram que após 5 anos da implantação do cafezal orgânico, a fertilidade foi aumentada.

King e Morris (1974) recomendaram fazer a aplicação de dejetos líquidos de suínos em área que disponha de cultura em crescimento, a fim de aumentar a taxa de absorção, evaporação e transpiração e evitar a erosão do solo.

A matéria orgânica oferece valiosa contribuição no fornecimento de cálcio e magnésio, pois elevados teores em húmus no solo garantem o suprimento desses

elementos às raízes. A capacidade do húmus de adsorver esses nutrientes é cerca de trinta vezes maior que a capacidade da caulinita (KIEHL, 1985).

Konrad e Castilho (2002), estudando o efeito de fertilizantes dos resíduos de curtume nas alterações das características químicas do solo, concluíram que os teores de Ca e Mg os teores desses elementos foram 2 vezes maiores em comparação com área testemunha.

Além da poluição das águas subterrâneas com nitrato, outros riscos potenciais para o ambiente são a salinização do solo, poluição do solo e das plantas com metais pesados e a contaminação de homens e animais por agentes patogênicos provenientes dos dejetos (MATOS, 1997).

Gianelo e Ernani (1983) observaram que a cada aplicação de resíduo no solo o teor de sais tende a aumentar, já que as fezes e a urina são ricas em sais, alertando para as taxas de aplicação no solo.

Medidas de condutividade elétrica são freqüentemente utilizadas para avaliar a concentração de sais solúveis no solo. De acordo com a sociedade Americana de Ciência de Solo (RICHARDS, 1954), valores de condutividade elétrica, em extrato de saturação maiores que $2000\mu\text{S cm}^{-1}$ caracterizam solos salinos. Neste caso, o crescimento e o desenvolvimento das plantas são diretamente afetados pela ocorrência de toxidez de alguns íons, desequilíbrios nutricionais e, principalmente pelas dificuldades na absorção de água e nutrientes ocasionadas pelo aumento da pressão osmótica da solução do solo (MARSCHNER, 1995).

Konrad e Castilho (2002), avaliando a quantidade de Na aplicado ao solo via resíduo de curtume, obtiveram altas correlações positivas com a condutividade elétrica.

Efeitos no aumento dos teores de Na no solo após aplicação de lodos de curtume também foram observados por Aquino Neto e Camargo (2000).

Segundo Schroeder (1984), a afinidade de adsorção dos elementos do solo é a seguinte: $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+} > \text{NH}_4^{+} > \text{Na}^{+}$, sendo o sódio, o elemento de menor afinidade, ou seja é o primeiro elemento a ser perdido por lixiviação.

Os micronutrientes cobre e zinco, que são considerados essenciais para as plantas, têm como fonte os minerais e a matéria orgânica. Alguns desses elementos são tão

pouco solúveis que, na ausência do húmus, apesar das mínimas quantidades que as plantas necessitam, podem causar sintomas de deficiência. Através de reações de troca ou mecanismos de complexação ou de quelação, o húmus pode reter em formas disponíveis certos micronutrientes liberados dos minerais do solo ou da matéria orgânica em decomposição. Quando esses elementos estão disponíveis em quantidades muito grandes podem tornam-se tóxicos para a planta (KIEHL, 1985).

A formação de complexos com micronutrientes e compostos orgânicos reduz a possibilidade da precipitação como óxidos no solo. Dessa forma, a complexação (quelação) do zinco e cobre, por ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumenta a sua disponibilidade, pois o quelato torna-se uma forma de depósito desses elementos. A meia-vida muito curta do quelato, decorrente da rápida decomposição do composto orgânico pelos microrganismos, resulta na liberação de forma contínua e gradativa dos micronutrientes para as plantas (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Dentre os metais pesados, o cobre e o zinco têm sido motivo de maior preocupação, pois vêm sendo usados como suplemento dietético em rações e na formulação de antibióticos, aumentando os riscos de contaminação ambiental. Quando absorvido pelas plantas, pode entrar na cadeia alimentar humana, acumulando-se no organismo e provocando sérias enfermidades (OLIVEIRA, 1993).

O cobre pode ser adsorvido fortemente pelo húmus, não sendo facilmente deslocado por cátions ou perdido por lixiviação como acontece com outros micronutrientes. O solo retém o cobre mais intensamente entre pH neutro à alcalino, diminuindo progressivamente à medida que o meio se torna ácido (KIEHL, 1985).

Com relação ao zinco, as maiores quantidades são encontradas no horizonte superficial, devido a deposição dos resíduos vegetais e animais contendo o micronutriente. A matéria orgânica crua não é recomendada para aumentar a disponibilidade de zinco. É importante o emprego de fertilizantes orgânicos bem humificados, pois o zinco estará menos fortemente retido no ácido húmico (KIEHL, 1985).

A legislação dos EUA estabelece limites de 1400 kg.ha⁻¹ de cobre e 2800 kg.ha⁻¹ de zinco (SEGANFREDO, 2000).

Baath et al. (1998) estabelecem limites mais rígidos de 40 kg.ha⁻¹ de cobre e 280 kg.ha⁻¹ de zinco, suficientes para afetar negativamente a diversidade biológica do solo.

Segundo Kiehl (1985), o húmus retém os metais com diferentes forças, sendo a seguinte a ordem crescente de energia de retenção: cádmio, mercúrio, cálcio, boro, magnésio, manganês, zinco, cobalto, níquel, cobre e chumbo.

Em relação a capacidade de troca de cátions (CTC), a fração húmica da matéria orgânica apresenta cerca de 800 a 400 cmol_c kg⁻¹. Em solos tropicais e subtropicais, a CTC da matéria orgânica é fundamental na retenção de nutrientes e na diminuição da sua lixiviação (CANELLAS et al. 1999).

A matéria orgânica humificada contribui para o solo ácido ficar com pH mais favorável às plantas. Antigamente pensava-se que a acidez do solo era devida à presença dos ácidos orgânicos da matéria orgânica, hoje sabe-se que a matéria orgânica quando decomposta em condições aeróbias, tem reação alcalina, pelos humatos alcalinos que forma, concorrendo para elevar o pH, pelo menos temporariamente (KIEHL, 1985).

2.6 Alterações nas propriedades microbiológicas do solo

O solo pode ser encarado como habitat microbiano por excelência, local de vida de inúmeras e variadas populações de todos os tipos de microrganismos. Tanto que, dentro de extensos programas de pesquisa para obtenção de microrganismos úteis, recorre-se ao isolamento massal de populações do solo, seguido de testes para se determinar as aptidões específicas. Entretanto o solo não deve ser visto como um único habitat de grande extensão geográfica. Pelo contrário, ele se constitui de inúmeros microsítios, caracterizados não apenas pelas condições edafoclimáticas, mas ainda por fatores peculiares, como presença de uma partícula de matéria orgânica, de uma raiz vegetal, de um microporo saturado de água, de maior ou menor facilidade de trocas gasosas, etc. Portanto, que mesmo quando se considera um terreno de dimensões restritas, constituído pelo mesmo tipo de solo, lida-se com vários microhabitat que diferem entre si. (CARDOSO et al, 1992)

Devido ao tamanho semelhante dos microrganismos, principalmente das células bacterianas com as partículas de argila (mais ou menos 2 μm), existe a possibilidade da existência de adesão ou ligação das partículas de argila às células microbianas. A natureza dessa adesão é principalmente química e mediada por substâncias cimentantes do tipo das gomas ou mucilagens. A taxa de adesão dos microrganismos do solo às partículas minerais é, as vezes, considerável, podendo atingir 90% da população. O diâmetro das partículas influi na adesão, de modo que, quanto menor o diâmetro, maior a adesão (TSAI et. al, 1992).

Parâmetros microbiológicos são ferramentas bastante úteis também no monitoramento da poluição do solo. Muitos trabalhos avaliam a qualidade de resíduos orgânicos sob o ponto de vista de nutrição de plantas, no entanto, o estudo dos efeitos de compostos potencialmente tóxicos sobre a atividade da microbiota do solo auxilia na avaliação dos riscos ambientais e alterações na fertilidade que estes resíduos podem causar (JAHNEL, 1997).

Segundo Grisi (1995) as populações microbianas, participando do processo de decomposição da necromassa no solo, incorporam os nutrientes provenientes do substrato orgânico, tais como N, P, S, K, Mg e muitos outros (fase de imobilização), liberando-os posteriormente, após sua morte, para as plantas (fase de mineralização). A recente preocupação com o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera e seu reflexo no aquecimento global, tem gerado modelos de previsão deste fenômeno. A microbiota do solo, contribuindo com 2,2% de C para a atmosfera, é também fator importante a ser incluído nesse tipo de previsão.

A biomassa microbiana é, por definição, a parte viva da matéria orgânica do solo, excluídas as raízes e animais maiores que 5 x 10 μm . Com poucas exceções, ela representa 2 a 3% do carbono orgânico do solo, sendo que sua presença está relacionada diretamente com o teor de matéria orgânica. Os microbiologistas fixaram o conceito da relação direta entre nível de atividade da biomassa microbiana com a fertilidade do solo, tanto em ambientes naturais, como manipulados pelo homem, tornando evidente a necessidade de desenvolvimento de métodos simples confiáveis para a determinação da grandeza da população (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Segundo Nannipieri (1984) a atividade microbiana é utilizada como uma maneira de melhor se entender os processos de mineralização e de visualizar mais profundamente um manejo eficiente da necromassa do solo e de seus nutrientes.

Andrade et al. (2002b), estudando as populações de bradirizóbio/rizóbio na aplicação de resíduo líquido de suínos, observaram que as populações de bactérias capazes de fixar N_2 em soja e em ervilha forrageira foram estimuladas pela aplicação de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de chorume ao solo.

A determinação da biomassa, pelo método de fumigação com clorofórmio, provê informações rápidas sobre as mudanças do teor de matéria orgânica no solo e de maneira mais precisa do que as providas pelas análises químicas, porque nestas últimas inclui-se o acúmulo deste componente ao longo do tempo. Entretanto, o clorofórmio, não é eficiente como biocida para alguns microrganismos, além de difícil obtenção comercial. Desse modo, torna-se necessário um método que aproveite melhor os recursos existentes nos laboratórios de microbiologia, podendo-se destacar o uso do forno de microondas como uma alternativa para a substituição do clorofórmio na eliminação dos microrganismos do solo (JENKINSON e POWLON, 1976).

A atuação do forno de microondas na eliminação de microrganismos é resultado da quantidade de irradiação eletromagnética a ser administrada, visto que os níveis têm efeito na transferência de energia e na temperatura, rompendo a parede celular e, conseqüentemente, liberando o material citoplasmático para a solução do solo. Em termos de sensibilidade, a população de fungos, em razão da sua constituição e do tamanho da hifas, é mais exposta e, com isto mais afetada pelas microondas do que a população de bactérias (VANCE et al., 1987).

Neste caso, é necessária a avaliação da quantidade de energia atuante sobre a biomassa ou, especificamente, sobre os grupos microbianos. Além da quantidade de energia irradiada, deve ser considerado o tempo de exposição das amostras à radiação, pois este pode afetar o material orgânico não proveniente dos microrganismos e, com isso, superestimar os valores de biomassa microbiana (ZAGAL, 1989; PURI e BARRACLOUGH, 1993).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo e do meio físico

O trabalho foi realizado na região centro-oeste do Estado de São Paulo, próximo ao município de Cerqueria César, tendo como coordenadas geográficas 23° 02' 08'' de latitude Sul; 49° 09' 58'' de longitude Oeste e altitude de 737 m. O clima da região, segundo a classificação de köppen, é do tipo Cfa – clima mesotérmico úmido, com inverno frio e seco e verão quente e úmido. A temperatura média do mês mais quente é maior que 23°C, ocorrendo no mês mais seco precipitação superior a 32 mm. A precipitação média anual está entre 1100 e 1700 mm.

Na região ocorre a Formação Geológica Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, incluída na Bacia do Paraná (IPT,1981).

Para essa formação a classe do solo encontrada é o LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LV) (OLIVEIRA et al., 1999).

No Quadro 1 é apresentada a caracterização granulométrica das áreas estudadas e o teor de óxidos de ferro para a camada de 0,60-0,80m.

3.2 Histórico da área de estudo

Na área definida de estudo há 26 anos, desenvolve-se dois sistemas produtivos, o café e a suinocultura.

A produção de suínos é composto hoje por um plantel de 15000 animais em engorda, sendo que inicialmente, a quantidade de suínos era menor, mas toda a produção de resíduo vem sendo aplicada desde o início.

O produção do café hoje, esta em torno de 90 a 100 sc/ha de café.

Alguns tratos culturais são realizados no café como a pulverização com cobre para bicho mineiro, para eliminar o mato entre as ruas do café utiliza-se a roçadeira, a calagem é realizada a cada 3 anos e o café é colhido no pano, não havendo influência da matéria orgânica proveniente das folhas do café, sobre o solo.

Quadro 1- Composição granulométrica do solo das área estudadas e teor de óxidos de ferro para a camada de 0,60-0,80m

Camadas (m)	A0	A3	A7	A26	Média
Areia (g kg ⁻¹)					
0-0,05	156	153	123	113	136
0,05-0,10	153	150	116	100	130
0,20-0,40	140	126	110	88	116
0,60-0,80	130	119	101	93	111
Silte (g kg ⁻¹)					
	230	279	269	292	267
0,05-0,10	200	236	247	274	239
0,20-0,40	202	242	247	258	237
0,60-0,80	200	244	243	269	238
Argila (g kg ⁻¹)					
0-0,05	614	568	608	595	596
0,05-0,10	647	614	637	626	631
0,20-0,40	658	632	643	654	647
0,60-0,80	671	637	656	638	650
Fe ₂ O ₂ (%)					
0,60-0,80	20	23	23	24	

3.3 Caracterização do resíduo

Na propriedade de produção de suínos o resíduo obtido da lavagem das baias, contendo fezes, urina, restos de ração etc, é levado por meio de tanques para lagoas de alvenaria, existentes no meio do cafezal.

Neste local o resíduo permanece por um período de 15 dias até ser aplicado no solo.

A análise química do material aplicado ao solo, de acordo com Lanarv (1988), é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Caracterização do resíduo líquido de suíno in natura.

P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	C	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C/N
mg.L ⁻¹												
1000	10800	9100	5100	325	150	2800	18	5	5	65	6.8	10/1

3.4 Forma, dosagem e frequência de aplicação do resíduo

Para aplicação do resíduo líquido utilizou-se um trator, acoplado a um tanque de 4000 litros de capacidade. O percurso realizado entre as linhas do cafezal, para esvaziar o tanque de 4000 litros, é de aproximadamente 150 m. A aplicação é feita em forma de leque, entre as linhas do cafezal (3 m) (Figura 1 e Figura 2).

A dosagem de aplicação do resíduo líquido de suínos na propriedade é de 88.900 L/ha/2 meses.



Figura 1. Equipamento para aplicação do resíduo líquido de suínos.



Figura 2. Aspecto da área após a aplicação do resíduo líquido de suínos.

3.5 Áreas de estudo

Área 1 (A3), onde por 3 anos vem sendo aplicado o resíduo líquido de suínos. Área recentemente adquirida pelo proprietário.

Área 2 (A7), onde por 7 anos vem sendo aplicado o resíduo líquido de suínos. Anteriormente a área estava com plantio de café adensado, não havendo a possibilidade de entrar com o maquinário entre linhas para fazer a aplicação. A área foi reformada, há 7 anos, e o plantio feito no espaçamento normal, havendo a possibilidade da entrada do maquinário para fazer a aplicação do resíduo líquido de suínos.

Área 3 (A26), onde por 26 anos vem sendo aplicado o resíduo líquido de suínos. Essa situação é a encontrada na maior parte da propriedade.

Área 4 (A0), área de preservação natural, bem próxima às três áreas sendo as amostras retiradas sob mata nativa.

3.6 Amostragem do solo

Para a coleta de amostras foram abertas 6 trincheiras logo abaixo da saia da planta de café. As amostras de solo, com estrutura deformada foram coletadas com trado (granulometria, argila dispersa em água, estabilidade de agregados, macro e micronutrientes, condutividade elétrica, fracionamento da matéria orgânica e biomassa), e as amostras indeformadas, com anéis volumétricos (macro e microporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica do solo saturado) nas seguintes camadas 0-0,05 (P1); 0,05-0,10 (P2); 0,20-0,40 (P3); 0,60-0,80 (P4) m. Para a coleta de amostras indeformadas foram utilizados anéis volumétricos de $0,50\text{cm}^3$ e de 100cm^3 , respectivamente, nas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05-0,10m) e subsuperficiais (0,20-0,40 e 0,60-0,80m).

3.7 Análises Físicas

De acordo com Embrapa (1999), foram analisadas as seguintes propriedades físicas do solo

- granulometria: método da pipeta, com agitação rápida das amostras em agitador tipo “stirrer” por 15 minutos. O dispersante químico utilizado foi o NaOH 0,1N.
- argila dispersa em água: método da pipeta, com agitação rápida das amostras por 15 minutos, sem o dispersante químico.
- estabilidade de agregados pelo tamisamento a úmido: método Yoder (YODER, 1936). O aparelho é composto por quatro conjuntos de peneiras que oscilam imersos em água. Cada conjunto do aparelho é composto por 6 peneiras com as seguintes malhas: 8-4; 2-1; 1-0,05; 0,05-0,025; 0,025-0,0105; 0,0105-0 mm. A peneira 0 significa o material que passou pela última peneira do conjunto (0,0105 mm), ficando disperso na água. Esse material é quantificado por diferença entre o peso total da subamostra e a somatória dos pesos retidos em cada peneira, totalizando classes de agregados. O solo retido em cada peneira foi transferido para estufa a 105° C por 24 horas, sendo posteriormente pesado. Obtido o peso seco de cada classe de agregados, os valores de DMP foram calculados;
- porosidade total: foi obtida considerando-se o peso de saturação dos anéis;
- microporosidade: método da mesa de tensão. Os anéis volumétricos foram submetidos a tensão de 60 cm de coluna de água.
- macroporosidade: foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.
- densidade do solo: pelo método do anel volumétrico;
- resistência do solo à penetração: foi obtida nas amostras volumétricas, quando estas estavam com teor de água correspondente a 0,006MPa. Foi utilizado o penetrômetro de anel Texture Analyser, com uma agulha com diâmetro de 0,5mm e 8,3 mm de comprimento e velocidade de penetração de 2mm/s até a profundidade de 12mm, sendo feitas 3 repetições em pontos diferentes de cada amostra.
- condutividade hidráulica do solo saturado, segundo Klute (1965), citado por Hillel (1982): as amostras volumétricas saturadas foram colocadas no permeâmetro de carga variável medindo-se o tempo gasto para a coluna de água percorrer a distância de 0,10m. A permeabilidade do solo foi calculada de acordo com a equação:

$K = \{a \cdot L/A (T_1 - T_2)\} \ln (H_1/H_2)$, onde:

K = permeabilidade do solo ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$);

$T_1 - T_2$ = intervalo de tempo para diferença de potencial hidráulico (min);

a = área da seção transversal da coluna de solo (cm^2);

A = área da amostra de solo (cm^2);

L = comprimento da amostra de solo (cm).

3.8 Análises Químicas

As propriedades químicas do solo analisadas foram:

- macro e micronutrientes (Ca, Mg, K, P e Na; Cu, Fe, Mn e Zn) (RAIJ et al., 2001);
- condutividade elétrica (SONNEVELD et al, 1990): utilizou-se a proporção de 2:1, ou seja, 2 partes de água para uma parte de solo. As amostras foram agitadas e mantidas em repouso por uma noite para decantação. O sobre-nadante foi coletado por uma pipeta e levado ao aparelho, para a leitura.
- fracionamento da matéria orgânica: de acordo com Kumada (1987), para extração da matéria orgânica e de acordo com Tatsukawa (1966), para determinação dos ácidos fúlvicos e húmicos. A humina foi obtida pela diferença do C total do solo. As análises foram realizadas no laboratório de análise de solos da Albert- Ludwigs Universität em Freiburg, Alemanha. Como a metodologia original de extração da matéria orgânica requer uma rotação de 7000 rpm durante 5 minutos, foram feitos alguns testes para determinar o tempo necessário para estabilização da quantidade de matéria orgânica extraída, utilizando-se uma rotação de 3000 rpm, sendo 30 minutos o tempo determinado.

3.9 Analise Microbiológica

- Biomassa microbiana pelo método do microondas (FERREIRA et al., 1999): de acordo com os autores é necessário atingir uma energia de $1,62 \times 10^5$ J, para estimar o carbono microbiano, semelhante ao obtido pela fumigação com clorofórmio para os procedimentos de extração e de incubação. A potência do microondas utilizado era de 1350w e o tempo gasto para se obter a energia necessária foi de 2 minutos. Este valor foi obtido empregando-se a equação:

$$T = P \times \Delta t,$$

onde:

T= trabalho, energia;

P= potência = $W = J.s^{-1}$;

Δt = tempo (tempos estimados pela autora)

As amostras de solo foram peneiras úmidas em tamis de 2 mm e armazenadas úmidas sob refrigeração, até o momento das análises. O forno utilizado tinha concentração de energia de 1500w. O tempo de irradiação foi calculado em função da energia de $1,62 \times 10^5$ J, resultando em 2:22 min. O C foi determinado pelo método do dicromato de potássio.

3.10 Delineamento Estatístico

O delineamento estatístico foi um fatorial com dois fatores: o tempo de aplicação do resíduo (1- solo com 3 anos de aplicação do resíduo líquido de suíno sob cultura do café; 2- solo com 7 anos de aplicação de resíduo líquido de suíno sob cultura do café; 3- solo com 26 anos de aplicação de resíduo líquido de suíno sob cultura do café; 4- solo sem aplicação de resíduo sob mata nativa) e a camada de solo amostrada (0-0,05; 0,05-0,10; 0,20-0,40; 0,60-0,80m), com 6 repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades Físicas

Os valores de matéria orgânica para as áreas e as camadas de solos estudados são apresentados no Quadro 3.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostrou diferenças significativas entre as áreas para as camadas de 0,05-0,10; 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Os resultados mostram que a adição de resíduos líquidos de suínos promoveu aumento nos valores de matéria orgânica nas áreas A3, A7 e A26. Na camada superficial, entre 0-0,05m as áreas não apresentaram diferença significativa em relação à A0, uma vez que os resíduos são adicionados nesta camada. Para as demais camadas houve diferença significativa com valores maiores para as áreas que receberam adição dos resíduos.

Esses resultados evidenciam que a adição dos resíduos ao solo permitiu que se estabelecesse um novo equilíbrio nas áreas, com aumento nos teores de matéria orgânica, o que está de acordo com os comentários de Kiehl (1979) que diz que

havendo adições de material orgânico ao solo ocorre alteração do equilíbrio, aumentando o teor de matéria orgânica do solo e, Bayer & Mielniczuk (1999) que ao relacionarem a manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica com sistemas de grande adição de resíduos, como é o caso do manejo dado ao resíduo de suíno, resultando, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo. Comparando-se os valores médios das áreas não houve diferença significativa entre aqueles que receberam o resíduo, sendo esses maiores que A0., em concordância com os resultados de Castro Filho et al. (2003).

Quadro 3. Valores médios de matéria orgânica para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$g\ dm^{-3}$					%
0-0,05	43 Aa	46 Aa	45 Aa	48 Aa	46 a	18,40
0,05-0,10	28 Bb	39 Aa	37 Ab	40 Ab	36 b	10,03
0,20-0,40	20 Bbc	28 Ab	32 Ac	23 Bc	26 c	9,56
0,60-0,80	16 Cc	24 ABb	22 Bd	25 Ac	22 d	8,02
Média	27 B	34 A	34 A	34 A	-	14,93
CV(%)	25,25	14,56	8,94	10,69	14,93	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando-se as camadas em cada área, houve diferença estatística para cada área havendo diminuição da matéria orgânica conforme aprofunda-se no perfil. Os valores de matéria orgânica na camada de 0,60-0,80 m, nas áreas que receberam resíduo (A3, A7, A26), em comparação a A0, permitem verificar que houve um aumento de matéria orgânica em subsuperfície, com caminhamento do resíduo até essa camada, independente do tempo de aplicação. Na média geral observou-se diferença significativa entre as camadas estudadas.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada para a densidade do solo encontra-se, no Quadro 4.

Quadro 4. Valores médios de densidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	kg dm ⁻³					%
0-0,05	1,10 Aa	1,22 Aa	1,23 Aa	1,15 Aa	1,17 ab	9,44
0,05-0,10	1,16 Aba	1,23 Aa	1,25 Aa	1,10 Ba	1,19 a	5,01
0,20-0,40	1,07 Aa	1,16 Aa	1,16 Aa	1,09 Aa	1,12 b	9,54
0,60-0,80	1,05 Aa	0,98 ABb	1,00 ABb	0,95 Bb	0,99 c	6,10
Média	1,09 BC	1,15 AB	1,16 A	1,07 C	-	7,86
CV(%)	10,74	7,56	6,41	5,94	7,86	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para as camadas de 0-0,05 e de 0,20-0,40m, não houve diferença significativa entre as áreas. Para as camadas de 0,05-0,10 e de 0,60-0,80m a área A26 diferiu significativamente da A3 e A7, e da A0, respectivamente. A análise dos valores médios das áreas mostrou diferença significativa sendo a A26 a que apresentou os menores valores de densidade do solo, não diferindo de A0.

De acordo com os resultados pode-se observar que com a adição do resíduo ao solo, por tempo prolongado, houve diminuição nos valores de densidade do solo, resultado que está de acordo com o aumento nos valores da matéria orgânica do solo. Essa diminuição na densidade do solo, como resultado da adição de resíduos orgânicos ao solo, é comentada por alguns autores, dentre eles Kiehl (1985), Raij (1991), Santos & Camargo (1999) e Barbosa et al. (2000). Nas áreas A3 e A7, observa-se que os valores de densidade do solo tendem a serem maiores quando comparados com os valores de A26 e A0, que não diferem estatisticamente de A0.

Analisando-se as camadas em cada área, na A0 não houve diferença estatística para os valores de densidade do solo, já nos tratamentos que receberam o resíduo, houve diferenças entre as três camadas mais superficiais (0 até 0,40m) e a camada de 0,60-0,80m, resultado que pode ser atribuído ao caminhar da matéria orgânica, para a camada mais profunda promovendo diminuição na densidade do solo nesta camada, concordando com

Kiehl (1985) e Barbosa et al. (2000), que obtiveram valores semelhantes utilizando o lodo de esgoto.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, com relação ao teor de água retido a 0,006MPa (Quadro 5) mostra que, para algumas camadas, houve diferença entre as áreas. Para a camada de 0-0,05m a menor retenção de água foi observada para a A7, enquanto que entre 0,20-0,40m as áreas A3 e A7 apresentaram menor retenção. Entre 0,60-0,80m a A0 se destacou com menor retenção de água.

Quadro 5. Valores médios de teor de água do solo a 0,006 MPa de coluna de água para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	dm ³ dm ⁻³					%
0-0,05	0,38 Aa	0,35 ABab	0,34 Bb	0,38 Aa	0,36 a	6,63
0,05-0,10	0,35 Aab	0,34 Ab	0,34 Ab	0,35Aa	0,34 a	8,43
0,20-0,40	0,32 Ab	0,25 Bc	0,22 Bc	0,27 ABb	0,26 b	14,79
0,60-0,80	0,33 Cab	0,38 ABa	0,37 Ba	0,39 Aa	0,36 a	3,09
Média	0,34 A	0,33 AB	0,32 B	0,35 A	-	8,33
CV(%)	10,13	5,25	4,08	10,85	8,33	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Somente na camada 0,60-0,80m as áreas que receberam o resíduo líquido de suíno apresentaram diferença significativa em relação a A0, resultado que está de acordo com Kiehl, (1985); Bayer & Mielniczuk (1999); Hafez (1974) e Weil & Kroontje (1979).

Na média geral, os valores de água retida a 0,006 MPa, foram menores para A3 e A7.

Analisando-se as camadas em cada área e na média geral, pode-se observar que houve uma diminuição da retenção de água à 0,006 MPa na camada de 0,20-0,40 m.

Os resultados de macroporosidade, para as áreas e as camadas de solos estudados, são representados no Quadro 6.

Quadro 6. Valores médios de macroporosidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$					%
0-0,05	0,10 Aa	0,07 Ab	0,10 Ab	0,09 Ab	0,09 b	53,10
0,05-0,10	0,11 Aba	0,07 Bb	0,11 ABab	0,14 Aab	0,10 b	39,62
0,20-0,40	0,15 Aa	0,15 Aa	0,15 Aa	0,15 Aa	0,15 a	30,73
0,60-0,80	0,14 Aa	0,16 Aa	0,14 Aa	0,16 Aa	0,15 a	20,26
Média	0,12 A	0,12 A	0,13 A	0,14 A	-	33,77
CV(%)	44,75	37,50	20,40	30,26	33,77	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostra que somente na camada de 0,05-0,10m houve diferença significativa entre A3 e A26, com valores maiores na A26.

Analisando-se as camadas em cada área, para as áreas que receberam o resíduo, os valores encontrados são maiores nas camadas 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Na A0, os valores não diferiram em profundidade. Na média geral, houve aumento de macroporosidade em profundidade concordando com Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993) que também observaram aumento de macroporos, trabalhando com resíduo de suíno.

Os valores obtidos de macroporosidade são inversamente proporcionais aos de microporosidade, apresentados no Quadro 7. Para os valores médios não houve diferença significativa entre as áreas.

Quadro 7. Valores médios de microporosidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$					%
0-0,05	0,42 Aa	0,43 Aa	0,41 Aa	0,43 Aa	0,42 a	7,97
0,05-0,10	0,41 Aa	0,42 Aa	0,43 Aa	0,38 Aab	0,41 a	9,14
0,20-0,40	0,34 Ab	0,29 ABc	0,26 Bc	0,29 ABc	0,29 c	12,00
0,60-0,80	0,34 Ab	0,37 Ab	0,37 Ab	0,37 Ab	0,36 b	6,54
Média	0,38 A	0,37 A	0,37 A	0,37 A	-	8,86
CV(%)	11,39	4,80	6,88	10,67	8,86	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para microporosidade para as áreas em cada camada, mostrou que somente houve diferença estatística na camada de 0,20-0,40m, sendo os menores valores encontrados para A7, que não diferiu significativamente da A3 e A26, resultado que pode ser decorrente da atividade de macrorganismos e raízes, que podem ter contribuído para o aumento da macroporosidade nesta camada.

Analisando-se as camadas em cada área e na média geral, observa-se uma diminuição da microporosidade conforme aumenta a profundidade do solo.

No Quadro 8 estão contidos e ilustrados, os resultados de porosidade total para as áreas e as camadas de solos estudados.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostrou que houve diferença estatística entre as áreas nas camadas de 0,05-0,10; 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Os menores valores foram encontrados para a A3, a A7 e A0, respectivamente, nas camadas de 0,05-0,10; 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Na média geral não houve aumento na porosidade total com adição do resíduo líquido de suíno discordando de Pagliai et al. (1985) e Pagliai & Antisari (1993) que observaram aumento na porosidade total do solo após aplicação de resíduos de suínos.

Quadro 8. Valores médios de porosidade total do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	dm ³ dm ⁻³					%
0-0,05	0,51 Aa	0,51 Aa	0,51 Aa	0,52 Aa	0,51 a	5,41
0,05-0,10	0,52 ABa	0,49 Ba	0,56 Aa	0,53 ABa	0,52 a	5,16
0,20-0,40	0,48 Aa	0,44 ABb	0,41 Bb	0,45 Ab	0,44 b	10,52
0,60-0,80	0,48 Ba	0,53 Aa	0,51Aa	0,53 Aa	0,51 a	3,12
Média	0,50 A	0,50 A	0,49 A	0,50 A	-	6,28
CV(%)	4,97	7,33	5,43	7,08	6,28	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 estão ilustradas as variações observadas, até a profundidade de 0,80m, para a proporção entre as fases sólida e porosa do solo, respectivamente, A0, A3, A7 e A26.

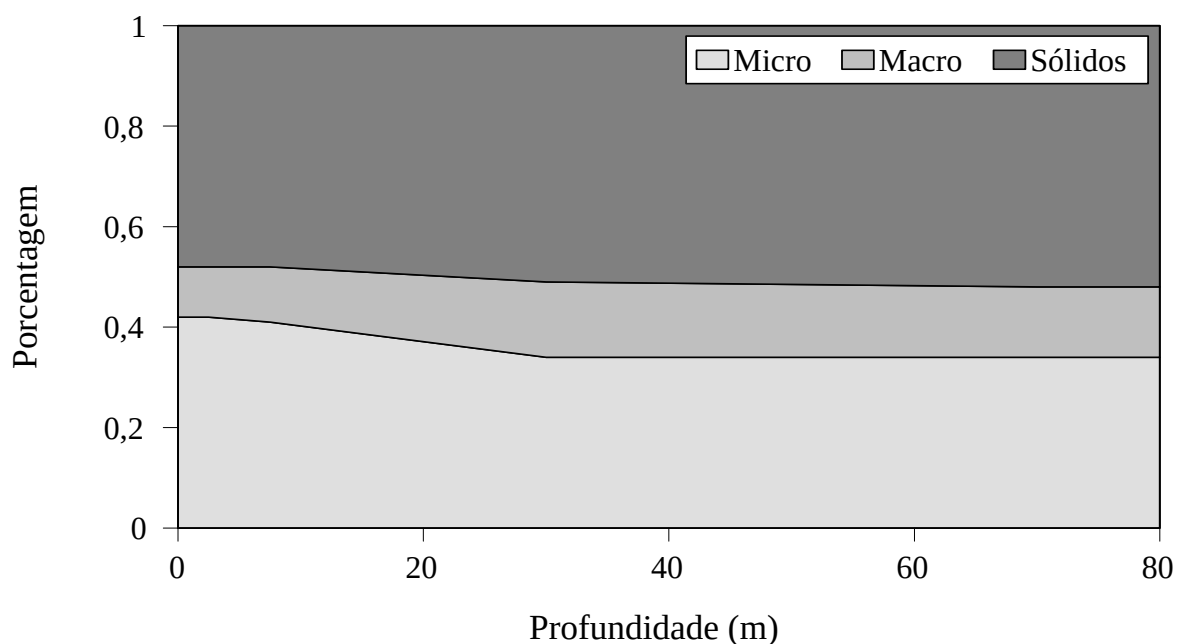


Figura 3 - Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A0 em cada camada de solo estudada

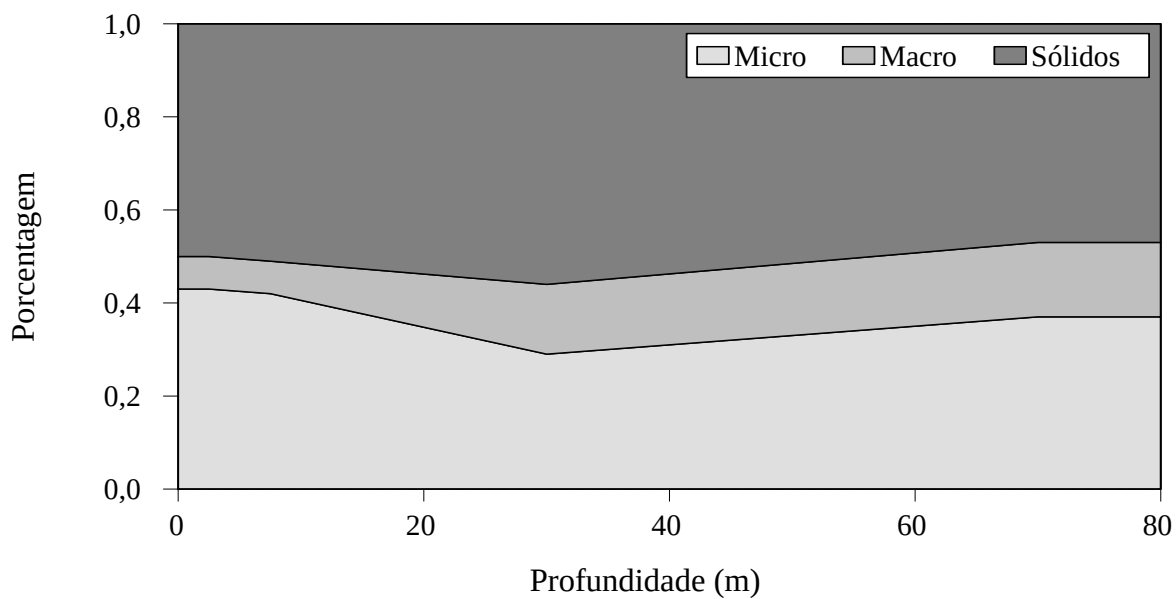


Figura 4 - Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A3 em cada camada de solo estudada

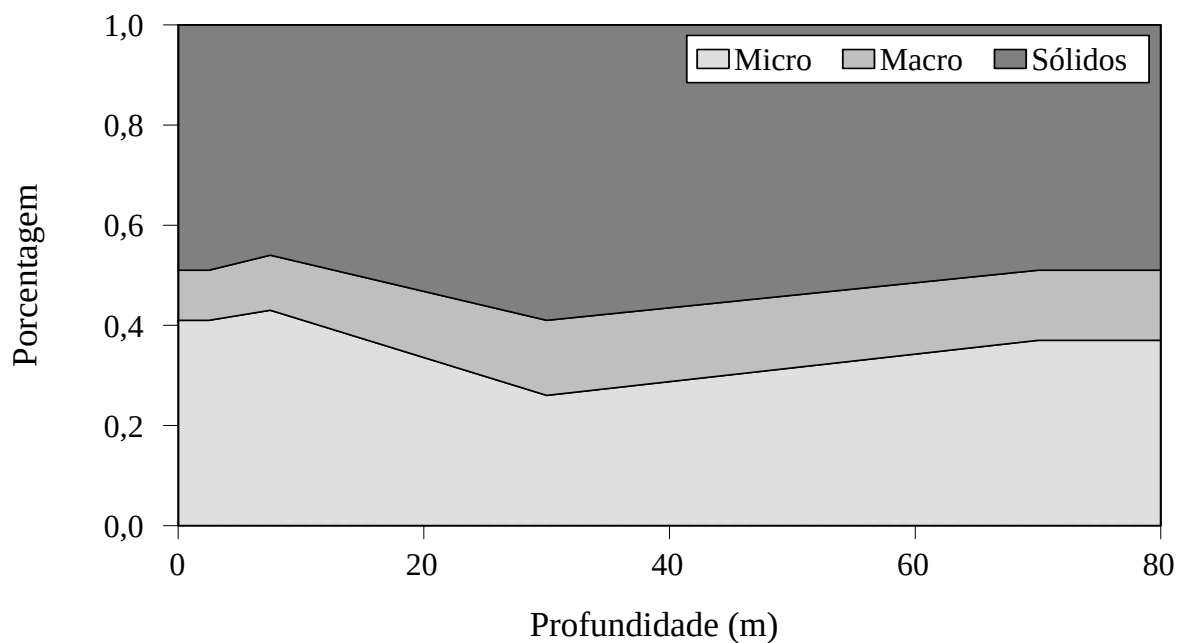


Figura 5 - Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A7 em cada camada de solo estudada

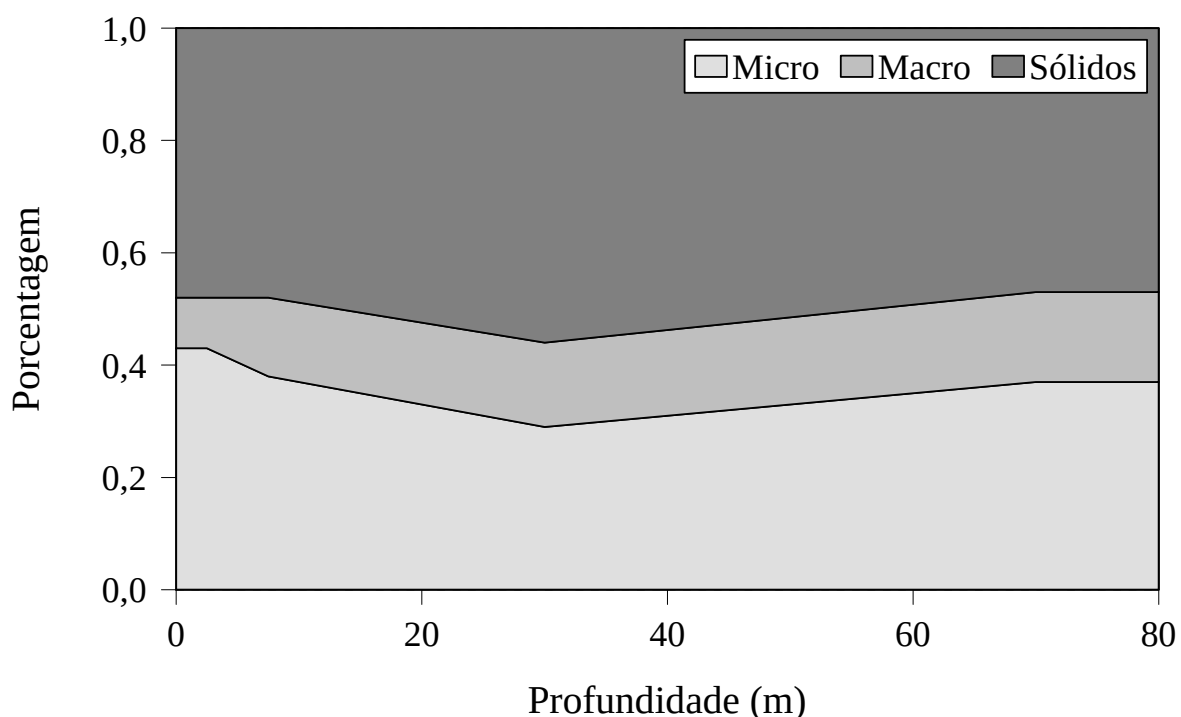


Figura 6 - Microporosidade, macroporosidade e sólidos totais para o tratamento A26 em cada camada de solo estudada.

Para A0 foram encontradas as menores variações para a porosidade total, entre 0,48 e 0,52 $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ e, conseqüentemente, 0,52 e 0,48 $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ para a fase sólida. Essa fase está mais próxima da proporção ideal na camada superficial do solo, entre 0-0,05m, onde o teor de matéria orgânica é de 4,3%, teor que diminuiu com o aumento da profundidade do solo, atingindo 1,6% na camada de 0,60-0,80m. Para a média das camadas os valores obtidos estão de acordo com Kiehl (1979) que cita como proporção ideal para os componentes do solo, 50% de porosidade total e 50% de sólidos, sendo 33% da porosidade microporos e 17% macroporos. Com relação aos sólidos, 45% com matéria mineral e 5% com matéria orgânica.

Para as áreas que receberam adição de resíduos líquidos de suínos houve uma variação maior entre a proporção das fases, para algumas camadas de solo. As áreas A3, A7 e A26 mostraram os menores valores de porosidade total na camada de 0,20-0,40m, respectivamente, de 0,44; 0,41 e 0,45 $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$. Com a diminuição dos valores de

porosidade total nessa camada de solo, também houve diminuição dos valores de microporos e macroporos. Para a microporosidade foram obtidos valores de 0,29; 0,26 e 0,29dm³.dm⁻³, respectivamente, para o A3, A7 e A26. Para a macroporosidade os valores foram de 0,15dm³.dm⁻³ para as três áreas citadas.

Apesar da redução na porosidade total os resultados obtidos para a camada de 0,20-0,40m para a fase porosa do solo, representam 2/3 com microporos e 1/3 com macroporos, proporção considerada como ideal por Kiehl (1979).

Os resultados de porcentagem de agregados, para as áreas e as camadas de solos estudados, são representados no Quadro 9.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostrou predominância de agregados com diâmetro médio entre 2 e 8 mm.

Na camada 0-0,05m não houve diferença significativa entre as áreas estudadas, quanto a porcentagem de agregados com diâmetro médio entre 2 e 8 mm.

Para camadas mais profundas que 0,05m e para a média geral, entre as áreas que receberam o resíduo, A3, A7 e A26, a quantidade desses agregados diminuiu.

Analisando-se as camadas em cada área, verifica-se que houve diminuição na porcentagem de agregados com diâmetro entre 2 e 8 mm, para as áreas que receberam o resíduo e para a média geral, com aumento da profundidade do solo.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, dos agregados com diâmetro médio entre 2 e 0,105 mm, mostrou que a adição de resíduo ao solo resultou em aumento na porcentagem para a maioria das camadas estudadas e para a média geral.

Analisando-se as camadas em cada área, verifica-se que a média dos agregados com diâmetro entre 2 e 0,105mm aumentou da superfície para as camadas subsuperficiais do solo, concordando com Castro Filho et al. (2003) que verificaram que doses crescentes de chorume de suíno, proporcionaram melhoria na agregação do solo com resultado maior do teor de carbono orgânico.

Quadro 9. Valores médios dos agregados para cada peneira, para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	%					%
Agregados 8-4mm						
0-0,05	80,66 Aa	77,28 Aa	69,17 Aa	77,47 Aa	76,14 a	28,66
0,05-0,10	74,89 Aba	86,05 Aa	51,19 Cab	61,57 BCab	68,42 a	15,17
0,20-0,40	61,92 Aa	42,00 Ab	51,64 Aab	51,62 Ab	51,79 b	26,61
0,60-0,80	64,95 Aa	29,75 Bb	29,40 Bb	36,97 Bb	40,26 b	25,71
Média	70,60 A	58,77 B	50,35 B	56,90 B	-	22,14
CV(%)	25,01	19,32	27,60	27,00	22,14	-
Agregados 2-1 mm						
0-0,05	4,32 Bc	6,74 ABb	10,22 Ac	2,17 Bc	1,46 c	57,53
0,05-0,10	5,93 BCbc	3,74 Cb	15,14 Aab	9,38 Bbc	8,54 bc	33,55
0,20-0,40	9,63 Aa	12,53 Aa	11,09 Abc	11,01 Aab	11,06 b	24,35
0,60-0,80	8,76 Bab	13,77 Aba	17,99 Aa	18,48 Aa	14,75 a	29,70
Média	7,16 C	9,20 BC	13,61 A	10,26 B	-	3,81
CV(%)	31,73	38,87	18,59	45,38	3,81	-
Agregados 1-0,5 mm						
0-0,05	4,07 ABb	5,46 ABb	7,61 Ab	2,17 Bc	4,82 d	60,70
0,05-0,10	6,14 ABab	3,01 Bb	10,75 Ab	8,86 Ab	7,19 c	48,10
0,20-0,40	8,18 Ba	14,39 Aa	11,29 ABb	12,53 ABab	11,59 b	28,98
0,60-0,80	7,71 Bab	17,89 Aa	18,69 Aa	15,83 Aa	15,03 a	19,18
Média	6,52 B	10,19 A	12,08 A	9,84 A	-	32,76
CV(%)	37,62	28,63	31,47	33,82	32,76	-
Agregados 0,5-0,25 mm						
0-0,05	3,91 ABb	4,14 ABb	5,22 Ab	1,64 Bc	3,72 c	53,00
0,05-0,10	4,70 ABab	2,32 Bb	9,27 Ab	6,15 ABbc	5,61 c	55,58
0,20-0,40	7,22 Cab	13,91 Aa	8,37 BCb	12,56 ABab	10,52 b	31,26
0,60-0,80	7,74 Ba	18,66 Aa	15,93 Aa	12,79 ABa	13,78 a	29,30
Média	5,89 B	9,75 A	9,70 A	8,29 AB	-	37,96
CV(%)	35,12	32,33	33,81	47,93	37,96	-

Continuação do Quadro 9.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	%					%
Agregados 0,25-0,105 mm						
0-0,05	2,41 ABc	3,17 ABb	3,49 Ac	1,27 Bc	2,59 c	51,59
0,05-0,10	3,54 Abc	1,91 Ab	5,69 Ab	7,79 Aab	4,73 c	88,67
0,20-0,40	5,60 Bab	10,38 Aa	5,31 Bb	6,99 ABab	7,07 b	38,45
0,60-0,80	6,26 Ba	13,15 Aa	11,93 Aa	10,14 Aba	10,37 a	28,86
Média	4,45 B	7,15 A	6,60 AB	6,55 AB	-	48,32
CV(%)	34,83	36,70	37,91	68,88	48,32	-
Agregados < 0,105 mm						
0-0,05	4,62 Aa	3,21 Aa	4,29 Aa	4,42 Aa	4,13 a	66,16
0,05-0,10	4,80 Aa	3,14 Aa	7,97 Aa	6,24 Aa	5,53 a	78,23
0,20-0,40	7,49 Aa	6,79 Aa	12,26 Aa	4,63 Aa	7,79 a	116,29
0,60-0,80	4,58 Aa	6,79 Aa	6,07 Aa	5,79 Aa	5,80 a	54,91
Média	5,37 A	4,98 A	7,64 A	5,27 A	-	93,96
CV(%)	74,80	63,31	123,11	42,32	93,96	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%, para cada malha.
Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%, para cada malha.

Os agregados com diâmetro médio menor do que 0,105mm não apresentaram diferença estatística significativa tanto entre as áreas como para as camadas estudadas.

Os resultados obtidos para as classes de agregados evidenciam que a adição do resíduo e o conseqüente aumento no teor de matéria orgânica do solo, estão favorecendo a formação de agregados maiores que 0,105mm, resultado que está de acordo com Fortun et al. (1990) que observaram aumento na proporção de agregados maiores do que 0,2 mm

No Quadro 10 são mostrados os valores de argila dispersa em água, para as áreas estudadas.

Quadro 10. Valores médios do teor de argila dispersa em água para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$g.kg^{-1}$					%
0-0,05	219 Aa	230 Ab	218 Aa	247 Aa	229 b	16,38
0,05-0,10	258 Aa	189 Bb	279 Aa	269 Aa	249 ab	14,28
0,20-0,40	282 Aa	308 Aa	335 Aa	284 Aa	302 a	30,65
0,60-0,80	179 Aa	211 Ab	268 Aa	153 Aa	202 c	73,64
Média	235 A	234 A	275 A	238 A	-	3,38
CV(%)	36,71	25,77	28,10	39,02	3,38	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostrou que para as camadas de 0-0,05, 0,20-0,40 e 0,60-0,80m, não foram obtidas diferenças estatísticas entre as áreas estudadas, mostrando, portanto que não houve influência da adição de resíduos, na dispersão da argila somente na camada de 0,05-0,10m, o teor foi significativamente menor para A3, mostrando maior floculação da argila, nesta camada.

Analisando-se as camadas em cada área, observa-se que na camada de 0,20-0,40m, da A3 houve um aumento significativo na argila dispersa em água, havendo menos argila floculada, resultado que pode ser relacionado com a diminuição nos valores de matéria orgânica, observada para essa camada. Para a média geral houve diminuição no teor de argila dispersa com aumento da profundidade do solo.

Os valores do índice de agregação, o diâmetro médio ponderado estão apresentados no Quadro 11.

A análise estatística dos dados obtidos de DMP nas áreas em cada camada, mostra que como a maior quantidade de agregados encontrados possuía diâmetro entre 2 e 8 mm, os índices de DMP obtidos são altos, concordando com Müller (2002). Isso mostra que a estabilidade desses agregados em água é alta, resultado que pode ser relacionado com os valores de matéria orgânica encontrados no Quadro 3, comentam Santo e Camargo (1999) pois nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10m, as áreas que receberam o resíduo apresentaram valores de matéria orgânica maiores. Já nas camadas de 0,20-0,40 e 0,60-0,80m

os valores são menores para as duas propriedades. Para a A0, os resultados na camada de 0,60-0,80m, foram maiores estatisticamente que A3, A7 e A26, comportamento que pode ser atribuído a gênese deste solo, com ausência de gradiente textural, e conseqüentemente uma estrutura mais uniforme ao longo do perfil. Nas áreas que receberam o resíduo, a diminuição no DMP pode estar sendo influenciada pela matéria orgânica que pode estar caminhando para subsuperfície.

Quadro 11. Valores médios do diâmetro médio ponderado (DMP) para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	mm					%
0-0,05	4,9567 Aa	4,8018 Aa	4,3888 Aa	4,7512 Aa	4,7246 a	18,06
0,05-0,10	4,6547 ABab	5,2456 Aa	3,4279 Cab	3,9417 BCab	4,3175 a	13,06
0,20-0,40	3,9616 Ab	2,8900 Ab	3,6294 Aab	3,4183 Aab	3,4749 b	25,99
0,60-0,80	4,1286 Ab	2,2223 Bb	2,2581 Bb	2,6833 Bb	2,8231 c	20,54
Média	4,4255 A	3,7899 B	3,4261B	3,6986 B	-	19,33
CV(%)	9,88	16,17	26,86	23,94	19,33	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Figura 7, são ilustrados os resultados de permeabilidade para as áreas estudadas.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, não resultou em diferença significativa

Na áreas A3 e A7 pode-se verificar uma tendência de menores valores de permeabilidade nas duas camadas mais superficiais, resultados que concordam com os valores de maior densidade do solo e maior microporosidade dessas áreas que receberam adição de resíduos orgânicos, por período menor de tempo. E há tendência de menores taxas de permeabilidade quando se comparadas as áreas A26 e A0, discordando de Castro Filho et al. (2003), que obtiveram aumento na taxa de infiltração do solo, com aplicação de chorume de suíno e concordando com Khaleel et al. (1981) e Wei et al. (1985), que não obtiveram aumento na condutividade hidráulica do solo saturado trabalhando com lodo de esgoto.

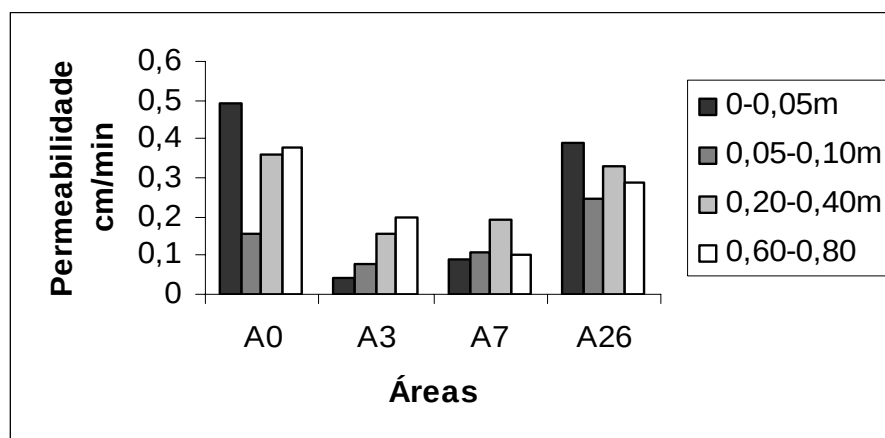


Figura 7. Permeabilidade do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

No Quadro 12, são apresentados os valores de resistência do solo a penetração.

Quadro 12. Valores médios de resistência do solo a penetração para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	MPa					%
0-0,05	2,78 Aa	3,06 Aa	2,62 Aab	3,11 Aa	2,89 a	52,98
0,05-0,10	3,31 Aa	3,09 Aa	3,06 Aa	3,29 Aa	3,18 a	39,15
0,20-0,40	1,90 Aa	1,83 Aa	1,21 Ab	1,23 Ab	1,54 b	61,32
0,60-0,80	1,32 Aa	1,23 Aa	1,29 Ab	1,19 Ab	1,26 b	55,18
Média	2,33 A	2,30 A	2,04 A	2,20 A	-	51,76
CV(%)	55,90	51,67	52,27	46,05	51,76	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostrou que não houve diferença estatística entre os valores, para as áreas e as camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10m. A comparação direta entre as camadas pode ser realizada uma vez que as determinações de resistência do solo à penetração foram feitas com teor de água no solo a

0,006MPa, concordando com os comentários de Beltrame et al. (1981) e Arshad et al. (1996) citados por Beutler et al. (2001).

Para as camadas 0,20-0,40m e 0,60-0,80m nas áreas A7 e A26 e para a média geral, foram obtidos menores valores de resistência a penetração resultado que pode ser explicado pela diminuição da densidade do solo e menor microporosidade observadas nessas camadas. Esses resultados discordam dos obtidos por Barbosa et al., (2000) que encontram menores valores de resistência a penetração somente na superfície do solo, trabalhando com lodo de esgoto.

No Quadro 13, são apresentados os valores de carbono das substâncias húmicas do solo estudado, dividido em ácido húmico, ácido fúlvico e humina.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas dentro de cada camada, para o C da fração ácido fúlvico, mostra uma diminuição significativa para A7 e A26, para camada de 0-0,05m em relação a A0. Na camada de 0,05-0,10m observa-se também uma diminuição nos valores para A7. Já na camada 0,20-0,40m observa-se um aumento significativo na A3, em relação a A0 e A26, sendo essa a única camada em que a quantidade de ácidos fúlvicos são encontrada é menor que na A0. Para a camada 0,60-0,80m, não houve diferença estatística entre as camadas.

Na média geral, há uma diminuição nos valores de C da fração ácido fúlvico nos tratamentos que receberam o resíduo.

Analisando-se as camadas em cada área e na média geral, observa-se que os valores das camadas 0-0,05 e 0,05-0,10m não diferem entre si, apresentando valores significativamente maiores que nas camadas de 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Para a camada de 0,60-0,80m foram encontrados os menores valores de ácidos fúlvicos para todas as áreas.

Quadro 13. Valores médios de C das substâncias húmicas para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$g\ kg^{-1}$					%
Ácido Fúlvico						
0-0,05	5,14 Aa	4,30 ABa	3,78 Ba	4,19 Ba	4,35 a	12,47
0,05-0,10	4,49 Aa	4,08 ABa	3,77 Ba	4,22 Aba	4,14 a	9,17
0,20-0,40	3,52 BCb	3,87 Ab	3,76 ABa	3,39 Cb	3,63 b	5,80
0,60-0,80	2,89 Ab	2,83 Ac	3,03 Ab	2,79 Ac	2,88 c	7,36
Média	4,01 A	3,77 AB	3,58 B	3,65 B	-	9,69
CV(%)	14,37	5,15	7,07	8,43	9,69	-
Ácido Húmico						
0-0,05	3,66 Ba	4,32 Ba	5,40 Aa	4,55 Aba	4,48 a	13,73
0,05-0,10	2,03 Bb	3,59 Ab	4,37 Ab	4,41 Aab	3,60 b	19,95
0,20-0,40	1,53 Bc	3,34 Ab	3,12 Ac	1,92 Bb	2,48 c	10,28
0,60-0,80	1,26 Dc	1,98 Cc	2,74 Bc	3,29 Ac	2,32 c	8,12
Média	2,12 C	3,30 B	3,91 A	3,54 AB	-	15,49
CV(%)	8,14	8,15	15,94	20,05	15,49	-
Humina						
0-0,05	16,16 Aa	18,18 Aa	17,13 Aa	19,41 Aa	17,72 a	25,70
0,05-0,10	9,54 Bb	15,15 Aa	13,14 Ab	14,58 Ab	13,10 b	13,94
0,20-0,40	6,66 Cb	9,24 ABb	11,50 Ab	7,84 BCc	8,81 c	17,35
0,60-0,80	5,04 Cb	9,03 Ab	7,00 Bc	8,62 ABc	7,42 c	15,37
Média	9,35 B	12,90 A	12,19 A	12,61 A	-	22,38
CV(%)	36,72	21,04	15,05	18,08	22,38	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada e na média geral, para o C da fração ácido húmico (Quadro 13), mostra um aumento significativo para áreas que receberam a adição do resíduo líquido de suínos em relação à A0, que apresentou para todas as camadas estudadas sempre teores estatisticamente menores que as demais áreas.

Analisando-se as camadas em cada área, foram obtidos teores significativamente maiores nas camadas superficiais, e menores nas subsuperficiais. Na média geral, observou-se comportamento semelhante, ou seja, com o aumento da profundidade houve diminuição nos valores de ácido húmico, paralelo à redução do carbono orgânico total. (Quadro 14).

Quadro 14- Valores médios de carbono total do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada profundidade do solo estudado.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	g dm ⁻³					%
0-0,05	24,96 Aa	26,79 Aa	26,31 Aa	28,15 Aa	26,55 a	18,40
0,05-0,10	16,06 Bb	22,83 Aa	21,28 Ab	23,21 Ab	20,84 b	10,04
0,20-0,40	11,71 Bbc	16,44 Ab	18,38 Ac	13,16 Bc	14,92 c	9,55
0,60-0,80	9,19 Cc	13,83 ABb	12,77 Bd	14,70 Ac	12,63 d	8,02
Média	15,48 B	19,97 A	19,68 A	19,81 A	-	14,93
CV(%)	25,24	14,56	8,94	10,68	14,93	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para o C da fração humina (Quadro 13) mostra que na camada 0-0,05m não houve diferença estatística entre os valores, resultados coerentes com os de carbono total que também não foram diferentes entre as áreas (Quadro 11).

Para as demais camadas estudadas observa-se que os teores de humina foram significativamente maiores nas áreas A3, A7 e A26, em relação à A0.

Comportamento semelhante foi obtido para a média geral, ou seja, a A0 apresentou menores quantidades de humina que os tratamentos que receberam o resíduo líquido de suíno.

Analisando-se as camadas em cada área, e a média geral, verifica-se que os teores de humina foram significativamente maiores nas camadas superficiais e menores nas subsuperficiais.

Os valores das substâncias húmicas, permitem constatar que a humina apresenta-se em maiores quantidades em relação aos ácidos fúlvicos e húmicos, estando assim a matéria orgânica encontrada em maior quantidade no seu estado mais avançado de humificação, conforme Schnitzer e Khan (1978).

As correlações entre porcentagem de agregados entre 2 a 8 mm e ácido fúlvico e ácido húmico para A3, estão ilustradas na Figura 8.

Os agregados entre 2 e 8 mm encontrados no solo, possuem melhor correlação com o ácido fúlvico que com o ácido húmico, não concordando com Burak et al. (2001), que constataram o ácido fúlvico ser mais eficiente na formação de agregados menores.

Para a área A7 (Figura 9) observou-se um comportamento inverso ao observado no A3, estando os agregados entre 2 e 8 mm, mais em função do ácido húmico, concordando com Burak et al. (2001).

Para a área A26 (Figura 10) obteve-se o mesmo comportamento da A3, havendo uma tendência de maior influência dos ácido fúlvicos na formação de agregados entre 2 e 8 mm. Analisando a Figura 9, onde não há influência da aplicação do resíduo, os ácidos fúlvicos e húmicos se comportaram de forma semelhante, havendo tendência de maior influência dos ácidos fúlvicos.

Na área A0 (Figura 11) onde não foram adicionados resíduos aos solos os ácidos fúlvicos e húmicos mostraram comportamentos, de forma semelhante, havendo uma tendência de maior influência dos ácidos fúlvicos.

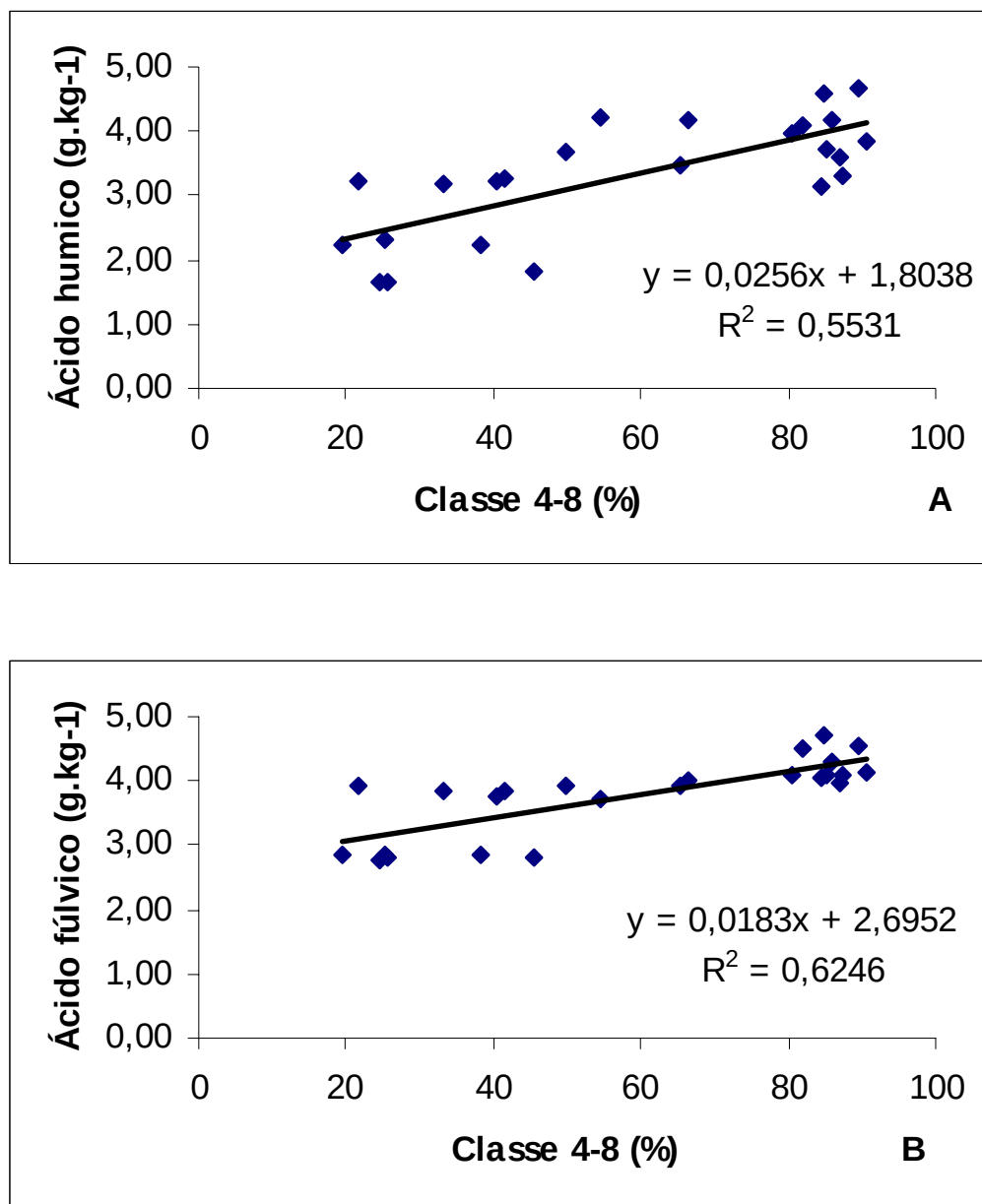


Figura 8. Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) na área A3.

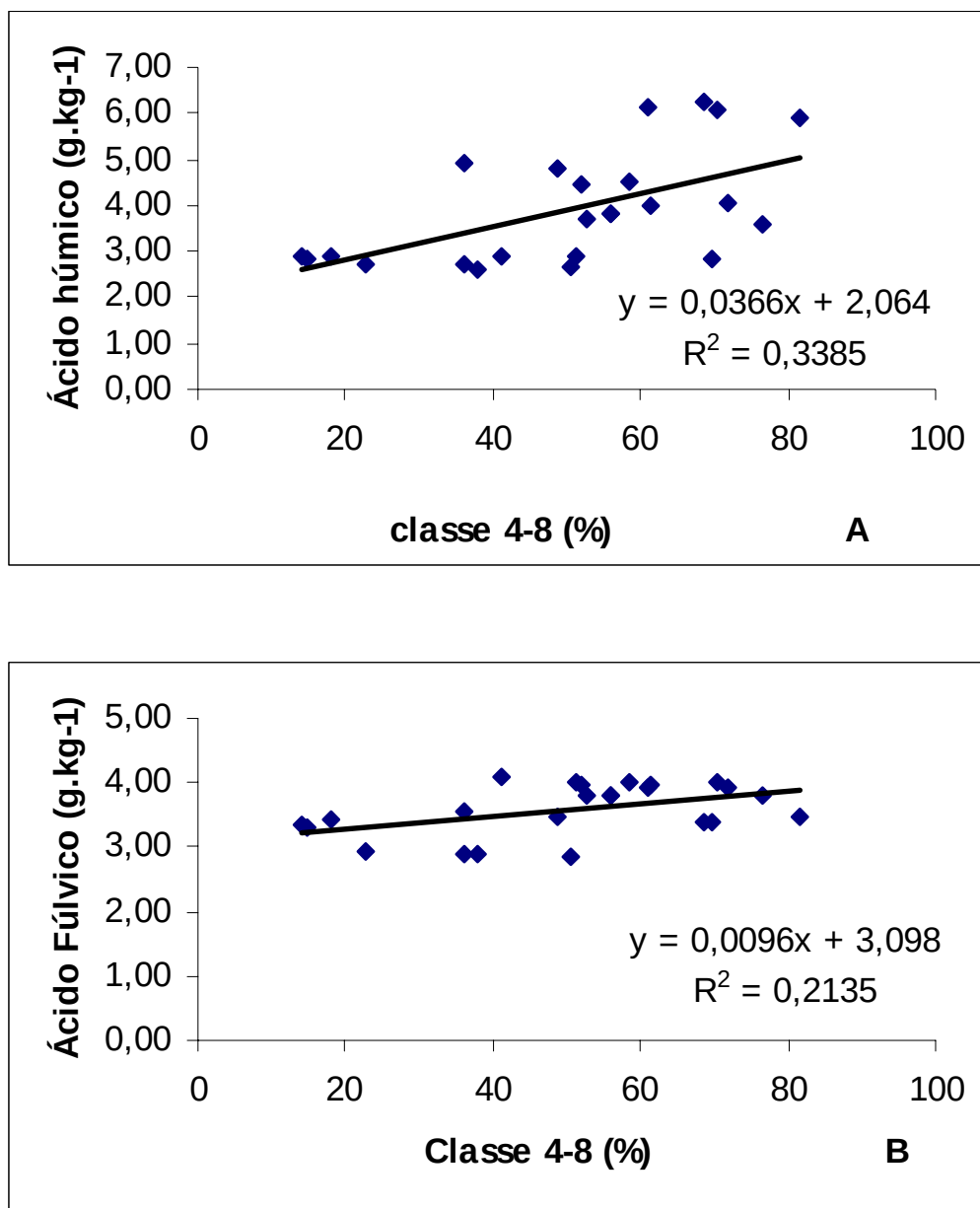


Figura 9. Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) na área A7.

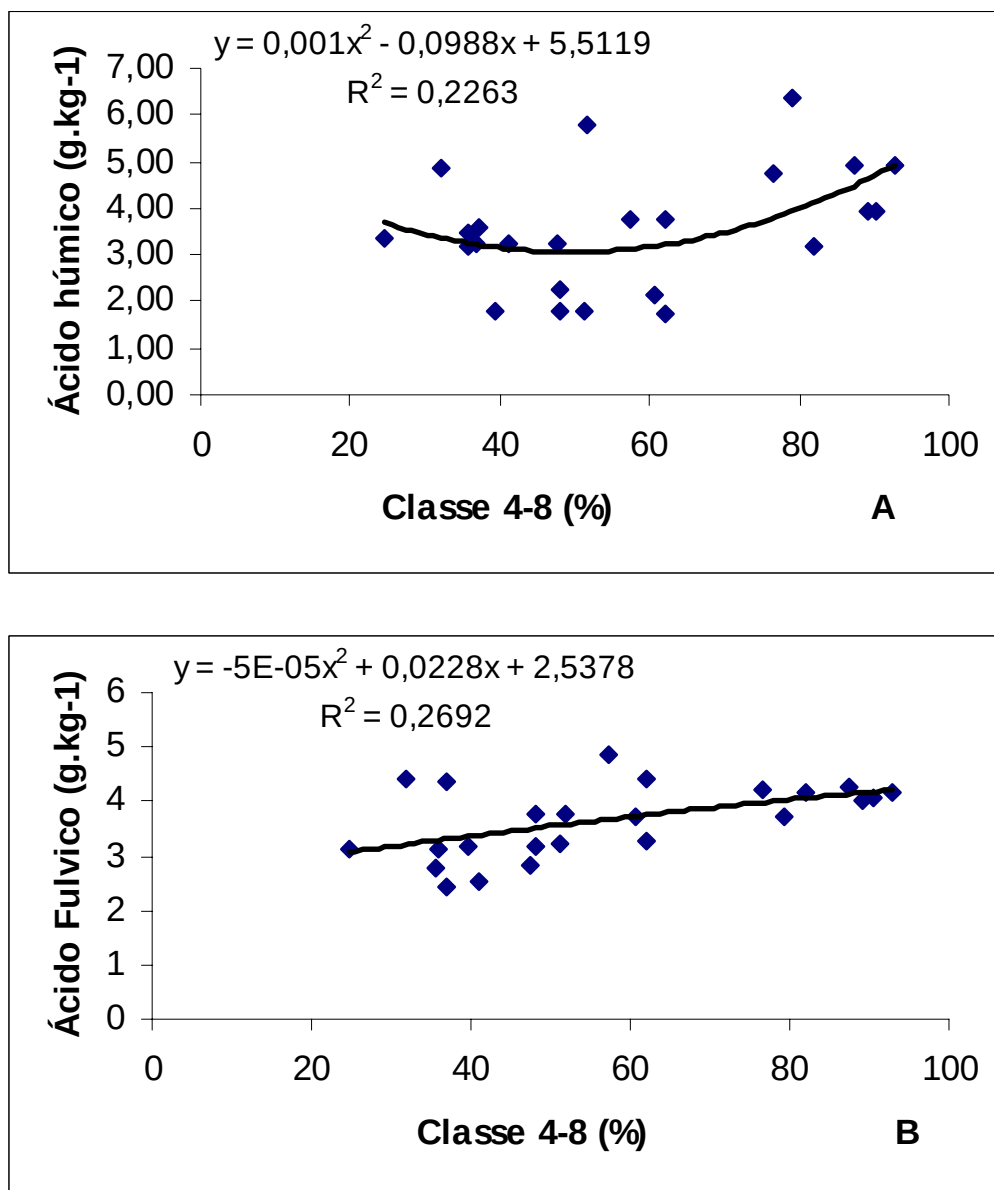


Figura 10. Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) na área A26

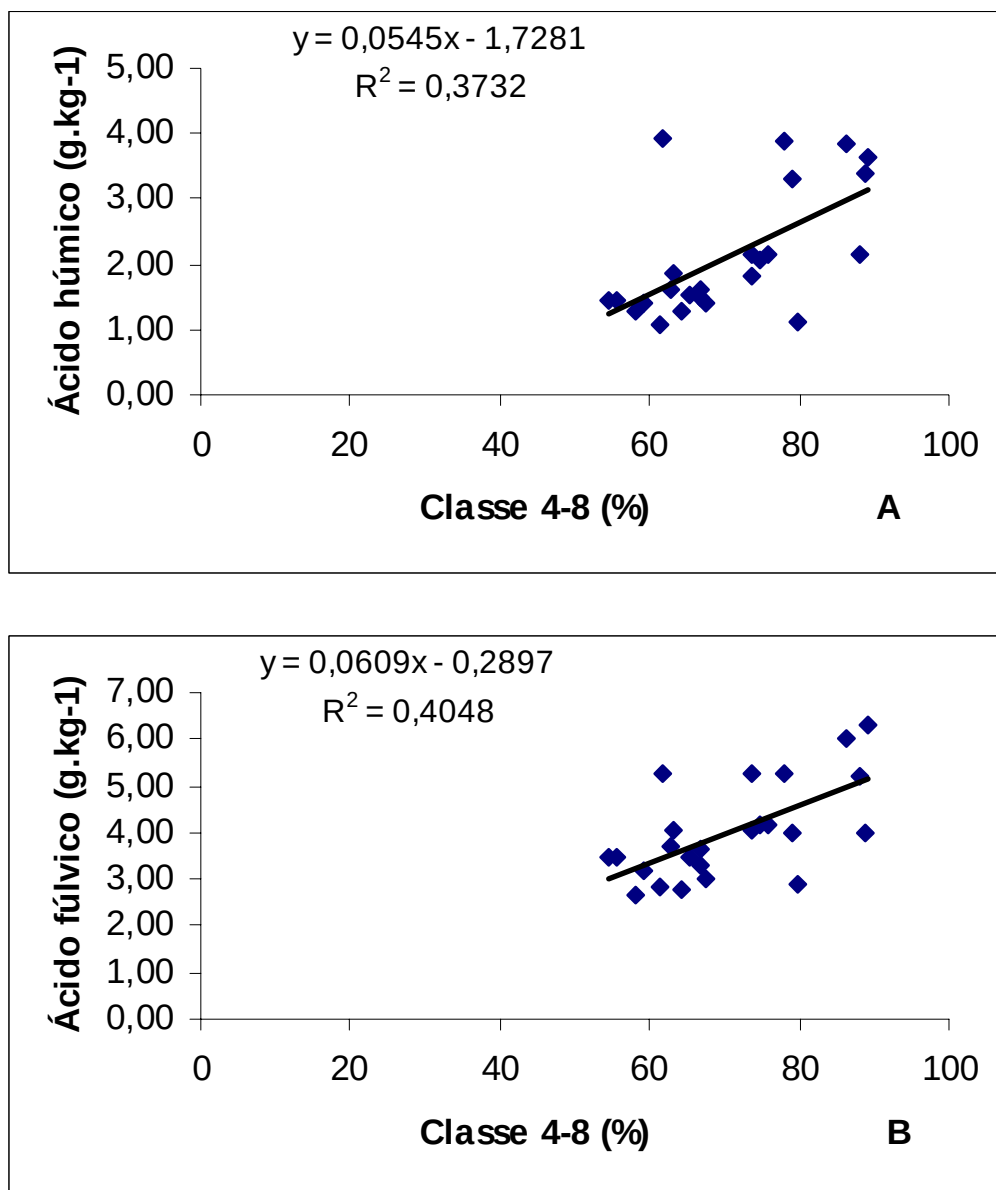


Figura 11. Porcentagem de agregados maiores (4 mm) em função do ácido húmico (A) e ácido fúlvico (B) na área A0.

2. Propriedade Químicas

Apesar do resíduo líquido de suíno não ser considerados por muitos autores, como adubo orgânico, e sim como condicionador do solo, foram obtidos altos valores de macro e micronutrientes no resíduo utilizado nas áreas estudadas, pH próximo a neutralidade e relação C/N baixa (Quadro 2).

Os valores dos macronutrientes obtidos no solo para as áreas estudadas encontram-se no Quadro 15.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para os valores de P (Quadro 15), mostrou que A0, apresenta valores muito baixos de P, principalmente nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10m, comparando-se com as áreas que receberam o resíduo, nas quais houve aumento significativo nos teores. Para as camadas 0,20-0,40 e 0,60-0,80m, os valores de P parecem já não serem influenciados pela aplicação do resíduo líquido de suíno.

Na média geral, houve aumento significativo dos valores de P, nas áreas que receberam o resíduo líquido de suíno, concordando com Anghinoni, (1985) e Kiehl, (1985) que consideram a matéria orgânica como importante fonte de fósforo para as plantas.

Analizando-se as camadas em cada área, para A3, A7 e A26, observou-se que houve um acúmulo de P na camada de 0-0,05m, como decorrência da aplicação do resíduo líquido de suíno, único material aplicado ao solo. Na média geral, observou-se que conforme aumenta a profundidade diminui os valores de P, concordando com Kiehl (1985).

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para os valores de K, mostra que a aplicação do resíduo líquido de suíno, resultou em aumento significativo deste nutriente nas áreas, A3, A7 e A26, quando comparadas a A0, não concordando com Sharpley et al. (sd) citados por Matos (1997), que não obtiveram aumento do K em superfície.

Na média geral entre as áreas que receberam o resíduo a A7 foi a que apresentou os maiores teores não diferindo da A3, seguida pela A26 onde foi constatada uma diminuição significativa. Os valores da A0 são muito baixos, quando comparados aos das áreas que receberam o resíduo líquido de suíno, evidenciando a influência do resíduo.

Quadro 15. Valores médios de macronutrientes no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
M	$mmol_c.dm^{-3}$					%
Potássio						
0-0,05	1,2 Ba	7,2 Aa	7,0 Aa	8,1 Aa	5,8 a	14,22
0,05-0,10	0,7 Cb	7,3 Aa	6,3 ABa	5,3 Bb	4,9 b	15,59
0,20-0,40	0,4 Db	4,0 Bb	4,9 Ab	2,7 Cc	3,0 c	16,15
0,60-0,80	0,3 Cb	2,0 Bc	3,8 Ab	2,3 Bc	2,1 d	18,06
Média	0,6 C	5,1 AB	5,5 A	4,6 B	-	16,23
CV(%)	33,92	13,70	12,52	17,39	16,23	-
Cálcio						
0-0,05	11 Ba	45 Aa	41 Aa	50 Aa	37 a	32,58
0,05-0,10	9 Bab	22 Ab	23 Ab	18 Ab	18 b	25,04
0,20-0,40	7 Dd	12 Bb	14 Abc	10 Cc	11 c	9,06
0,60-0,80	7 Bb	9 Ab	10 Ac	10 Ac	9 c	9,59
Média	9 B	22 A	22 A	22 A	-	34,51
CV(%)	20,06	45,68	32,79	14,72	34,51	-
Magnésio						
0-0,05	5 Ba	29 Aa	25 Aa	34 Aa	23 a	41,54
0,05-0,10	3 Bb	11 Ab	9 Ab	9 Ab	8 b	26,11
0,20-0,40	1 Cb	6 Ab	6 Ab	3 Bbc	4 c	23,53
0,60-0,80	1 Bb	3 Ab	4 Ab	2 ABc	2 c	39,47
Média	3 B	12 A	11 A	12 A	-	52,94
CV(%)	52,62	58,61	52,44	31,80	52,94	-
Sódio						
0-0,05	0,5 Ca	1,3 Aa	0,8 Ba	0,8 Ba	0,8 a	14,66
0,05-0,10	0,5 Cab	1,3 Aa	0,8 Ba	0,5 Cb	0,7 ab	20,88
0,20-0,40	0,4 Cbc	1,2 Aa	0,8 Ba	0,5 Cb	0,6 b	23,71
0,60-0,80	0,3 Bc	1,4 Aa	0,7 Ba	0,6 Bab	0,7 ab	30,25
Média	0,4 D	1,3 A	0,7 B	0,6 C	-	22,65
CV(%)	19,52	21,16	19,39	22,14	22,65	-

Continuação do Quadro 15.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$mg.dm^{-3}$					%
	Fósforo					
0-0,05	12 Ba	145 Aa	176 Aa	169 Aa	125 a	57,87
0,05-0,10	7 Bb	29 Bb	96 Ab	48 ABb	45 b	75,33
0,20-0,40	2 Bbc	4 Bb	9 Ac	2 Bb	4 c	29,28
0,60-0,80	2 ABc	2 ABb	3 Ac	1 Bb	2 c	36,59
Média	6 B	45 A	71 A	55 A	-	90,80
CV(%)	54,08	125,39	50,18	80,57	90,80	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando-se as camadas em cada área, e a média geral nota-se diminuição significativa dos valores de K da camada superficial para as subsuperficiais.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para os valores de cálcio, evidenciam aumento significativo nos teores, nas áreas que receberam o resíduo líquido de suíno, em relação a A0.

Na média geral entre as áreas, a aplicação do resíduo líquido de suíno, resultou em aumentos significativos nos teores de cálcio para as áreas que receberam o resíduo.

Analisando-se as camadas em cada área, e a média geral, observou-se uma diminuição nos teores de cálcio conforme aumenta a profundidade do solo, evidenciando um acúmulo de cálcio na camada 0-0,05m.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para os valores de magnésio, resultou em comportamento semelhante ao encontrado para cálcio, somente com teores menores de Mg, concordando com e Konrad e Castilho (2002), que trabalharam com resíduo de curtume e Kiehl, (1985).

Os valores dos macronutrientes, apresentam-se de forma crescente nas áreas que receberam a matéria orgânica na forma de resíduo líquido de suíno evidenciando aumento da fertilidade do solo, o que está de acordo com Santos e Camargo (1999), Sediya et al. (2000) e Theodoro et al. (2002).

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, para os valores de Na (Quadro 15), mostrou que para a camada de 0-0,05m a A3, houve aumento significativo em relação as áreas A7 e A26. Entre essas áreas, não houve diferença significativa. Quando compara-se as áreas que receberam o resíduo de suíno com a A0, os valores diminuem significativamente, nesta última camada.

Para as camadas de 0,05-0,10, 0,20-0,40 e 0,60-0,80m os valores de A0 e A26 não diferem estatisticamente. Os maiores valores foram encontrados em A3.

Na média geral das áreas, pode-se observar uma diminuição nos valores de Na, conforme aumenta período de aplicação, resultado que discorda de Gianelo e Ernani (1983), Aquino Neto e Camargo, (2000) e Konrrad e Castilho (2002), que constataram aumento de sais conforme aplica-se o resíduo no solo.

Analisando-se as camadas em cada área, para A3 e A7 os valores não diferiram em profundidade. Para A26 e A0 houve diminuição significativa dos teores de Na conforme aumenta a profundidade. Na média geral, houve diferença significativa na camada 0-0,05 e 0,20-0,40m.

Esses resultados podem ser atribuídos à menor afinidade que o Na tem em relação a adsorção ao solo, quando comparada à dos demais elementos de acordo com Schroeder (1984), podendo o elemento estar sendo lixiviado, já que foi observado em resultados anteriores o caminhamento do resíduo para as camadas mais profundas do solo.

Os valores de condutividade elétrica do solo, são apresentados no Quadro 16.

A análise estatística dos dados obtidos para as áreas em cada camada, mostra que os valores são maiores para as áreas que receberam o resíduo de suíno.

Na média geral, pode-se observar uma diminuição nos valores de CE conforme aumenta o período de aplicação. Comparando-se os valores médios da A0 com as demais áreas, observou-se que houve aumento nos valores de CE.

Analisando-se as camadas em cada área, para A3, A7 e A26 os valores de CE não diferiram em profundidade. Para A0 observou-se diminuição significativa da CE conforme aumenta a profundidade do solo. Na média geral os valores são menores significativamente na camada de 0,05-0,10m.

Quadro 16. Valores médios de condutividade elétrica do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
M	$\mu S.cm^{-1}$					%
0-0,05	188 Ba	463 Aa	264 Ba	285 ABa	300 a	38,23
0,05-0,10	72 Bb	235 Aa	165 ABa	218 Aa	173 b	35,53
0,20-0,40	25 Bb	611 Aa	234 Ba	318 ABa	298 a	67,41
0,60-0,80	27 Cb	564 Aa	296 Ba	262 BCa	287 a	55,80
Média	78 C	468 A	240 B	270 B	-	54,44
CV(%)	73,54	51,11	39,34	42,65	54,44	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores encontrados para CE para as áreas que receberam o resíduo líquido de suíno, foram de forma geral maiores que a A0.

Os valores de micronutrientes do solo, são apresentados no Quadro 17.

A análise estatística dos dados obtidos para os valores de cobre nas áreas em cada camada, mostrou que entre 0 e 0,10m para as áreas que receberam o resíduo, A3, A7 e A26 houve o aumento significativo em comparação a A0, concordando com Bayer e Mielniczuk, (1999). Para camada de 0,20-0,40m os valores de cobre são significativamente maiores em A7. Para camada de 0,60-0,80m não houve diferença estatística entre as áreas, A0, A3, A7 e A26.

Na média geral, observou-se um aumento significativo em A7 e A26, sendo que está última área não diferiu estatisticamente de A3. Os valores de cobre para a A0, foram menores significativamente, em relação as áreas que receberam o resíduo.

Analisando-se as camadas dentro de cada área, na A3 as camadas superficiais 0-0,05 e 0,05-0,10m, apresentaram maiores valores de cobre, diferindo das camadas subsuperficiais 0,20-0,40 e 0,60-0,80m. Para A7, os valores decresceram significativamente da camada superficial 0-0,05 até 0,60-0,80m. Para A26, os valores diferiram significativamente entre a camada 0-0,05 e as demais.

Na média geral, houve decréscimo nos valores de cobre encontrados conforme aumentou a profundidade do solo.

Os valores de cobre encontrados nas áreas que receberam o resíduo líquido de suíno apresentam-se dentro dos limites estabelecidos por Baath et al. (1998), não havendo problemas de toxidez por este elemento nas áreas estudadas.

Quadro 17. Valores médios de micronutrientes no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
M	$mg\ dm^{-3}$					%
Cobre						
0-0,05	4,5 Ba	12,1 Aa	15,7 Aa	15,4 Aa	11,9 a	25,86
0,05-0,10	4,4 Cc	8,5 ABa	9,1 Ab	7,5 Bb	7,4 b	8,99
0,20-0,40	4,2 Ba	4,6 Bb	6,0 Ac	4,6 Bbc	4,8 c	11,47
0,60-0,80	2,7 Ab	2,7 Ab	3,3 Ad	3,2 Ac	2,9 d	19,01
Média	3,9 c	7,0 B	8,5 A	7,7 AB	-	24,00
CV(%)	14,69	32,68	10,50	26,86	24,00	-
Zinco						
0-0,05	1,2 Ba	23,0 ABa	38,0 Aa	23,0 ABa	21,3 a	70,43
0,05-0,10	0,5 Cb	3,5 BCb	11 Ab	6,0 Bb	5,2 b	44,61
0,20-0,40	0,2 Bb	0,3 Bb	2,1 Ab	0,7 Bb	0,8 b	66,39
0,60-0,80	0,1 Bb	0,1 Bb	0,7 Ab	0,2 Bb	0,3 b	64,26
Média	0,5 C	6,7 B	12,9 A	7,5 AB	-	109,93
CV(%)	60,52	121,41	92,21	62,47	109,93	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para os valores de zinco nas áreas em cada camada, mostrou que para a camada de 0-0,05m, a área A7 apresentou valores significativamente mais elevados que A0, não diferindo da A3 e A26, resultado que concorda com Bayer e Mielniczuk, (1999). Entre 0,05 e 0,80m a área A7 apresentou valores maiores de zinco em comparação às demais áreas estudadas.

Na média geral, os maiores valores foram encontrados para A7 e A26, sendo que esta última que não diferiu de A3. Os menores valores foram encontrados para A0.

Analisando-se as camadas em cada área, para todas as áreas, observou-

se acúmulo de zinco na camada de 0-0,05m, com diferença significativa em relação às demais camadas.

Os valores de zinco encontrados na A0 mostram que o solo estudado apresenta naturalmente altos valores de zinco em superfície, havendo diminuição conforme aprofunda-se no perfil. Com a aplicação do resíduo líquido de suíno os valores de zinco aumentaram mas não atingiram o valor estabelecido por Baath et al. (1998), que é de 40 kg.ha⁻¹, valor que pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas.

Apesar do cobre ser mais fortemente retido ao húmus, segundo Kiehl, (1985), o zinco foi encontrado em maior quantidade nas áreas de aplicação de resíduo de suíno, resultado que deve ser decorrente do fato de o zinco estar em maiores quantidades que o cobre, na composição do resíduo in natura, conforme apresentado no Quadro 2.

Os valores de soma de bases do solo, são apresentados no Quadro 18.

A análise estatística dos dados obtidos para a soma de bases para as áreas em cada camada, mostra que para as camadas superficiais 0-0,05 e 0,05-0,10m, os valores não diferiram entre as áreas que receberam o resíduo líquido de suíno A3, A7 e A26, e são maiores que A0. Para camada de 0,20-0,40 e 0,60-0,80m a A7 apresentou os maiores valores de soma de bases enquanto que menores valores foram encontrados em A0.

Quadro 18. Valores médios de soma de bases no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$mmol_c.dm^{-3}$					%
0-0,05	18 Ba	81 Aa	73 Aa	92 Aa	66 a	32,91
0,05-0,10	12 Bb	40 Ab	39 Ab	32 Ab	31 b	21,33
0,20-0,40	9 Db	21 Bb	24 Abc	16 Cc	18 c	10,33
0,60-0,80	9 Cb	15 ABb	17 Ac	14 Bc	14 c	12,41
Média	12 B	39 A	38 A	38 A	-	35,63
CV(%)	26,24	44,10	33,31	18,35	35,63	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na média geral, as áreas que receberam o resíduo líquido de suíno mostraram valores de soma de bases maiores em comparação a A0.

Analisando-se as camadas em cada área, e a média geral, verifica-se que os valores da camada de 0-0,05m foram maiores em comparação as demais áreas estudadas, evidenciando que houve acúmulo de bases em superfície, principalmente nas áreas que receberam a adição do resíduo.

Os valores de CTC do solo, são apresentados no Quadro 19.

A análise estatística dos dados obtidos para a CTC nas áreas em cada camada, mostra que nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10m, não houve diferença significativa entre os valores de CTC para as áreas estudadas, discordando de Kiehl (1985), Raij (1991), Piccolo (1996) Canellas et al. (1999), Santos e Camargo (1999). Entre 0,20 e 0,80m as áreas A26 e A0 apresentaram, respectivamente, os maiores valores e os menores valores de CTC.

Quadro 19. Valores médios de CTC no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$mmol_c.dm^{-3}$					%
0-0,05	160 Aa	166 Aa	152 Aab	182 Aa	165 a	16,17
0,05-0,10	130 Aa	149 Ab	139 Aab	163 Aa	145 b	19,33
0,20-0,40	83 Cb	133 Bb	172 ABa	187 Aa	144 bc	20,23
0,60-0,80	72 Cb	123 Bb	116 Bb	193 Aa	126 c	11,80
Média	111 C	143 B	145 B	181 A	-	17,47
CV(%)	24,33	13,29	19,20	14,63	17,47	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando-se as camadas em cada área, observa-se que para , área A26, que apresentou os maiores valores de CTC, e não houve diferença estatística significativa entre as camadas estudadas. Para A0 a CTC foi mais alta entre 0 e 0,10m, enquanto que para A3 somente na camada superficial e, para A7 entre 0 e 0,40m.

Os resultados observados em subsuperfície para as áreas estudadas concordam com Kiehl (1985), Raij (1991), Piccolo (1996) Canellas et al. (1999), Santos e

Camargo (1999), somente em subsuperfície nas áreas estudadas, evidenciando a influência do resíduo em profundidade no solo.

Na Figura 12, que ilustra os valores de CTC em função da matéria orgânica do solo para A0 (A), A3 (B), A7 (C) e A26 (D), constata-se boas correlações de CTC e matéria orgânica para as áreas A0 e A3, enquanto que para as áreas A7 e A26, a correlação não é significativa, resultado que discorda de Canellas et al. (1999).

Os valores de V% do solo são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20. Valores médios de V% no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	g dm ⁻³					%
0-0,05	11 Ba	47 Aa	47 Aa	51 Aa	39 a	21,43
0,05-0,10	11 Ba	27 Ab	28 Ab	20 Ab	22 b	28,16
0,20-0,40	11 Ba	16 Abc	15 Ac	9 Bc	13 c	19,76
0,60-0,80	13 ABa	12 Bc	15 Ac	8 Cc	12 c	15,64
Média	11 C	25 AB	26 A	22 B	-	25,42
CV(%)	20,93	29,75	24,16	16,58	25,42	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para a V%, para as áreas em cada camada, mostrou que para as camadas 0-0,05 e 0,05-0,10m, não houve diferença estatística entre as áreas que receberam o resíduo de suíno, somente destas em relação a A0. Para a camada de 0,20-0,40m os valores de V% das áreas A3 e A7 não diferiram entre si e foram maiores que as das áreas A26 e A0, que também não diferiram entre si. Para a camada 0,60-0,80m A7 apresentou os maiores valores seguida de A3 e A26. A área A0 não diferiu das áreas que receberam o resíduo A3 e A7. Para A26 os valores foram significativamente menores.

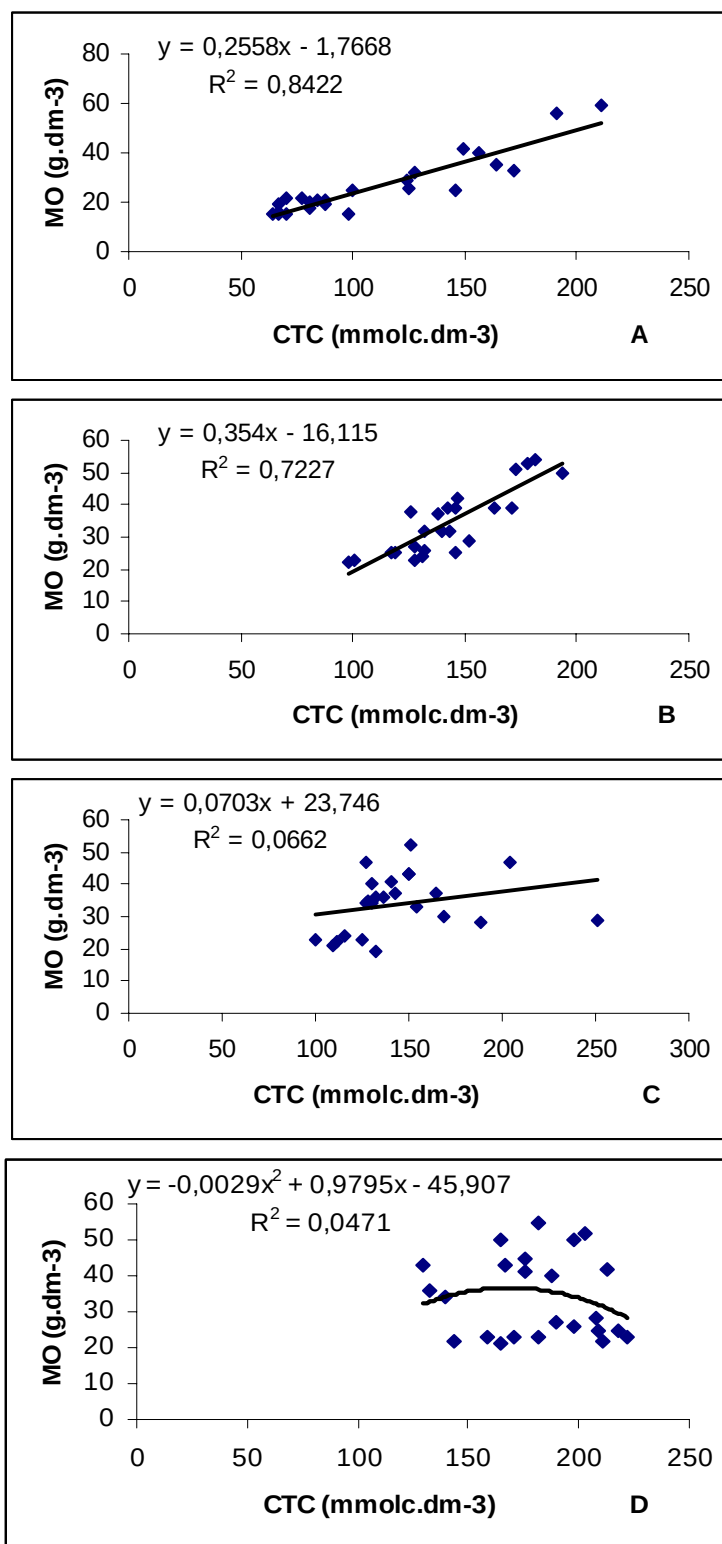


Figura 12. Valores de CTC em função da matéria orgânica do solo para A0 (A), A3 (B), A7 (C) e A26 (D)

Na média geral, observa-se aumento significativo nos valores de V% nas áreas que receberam o resíduo líquido de suíno.

Analisando-se as camadas em cada área observa-se que em todas as áreas em que houve adição do resíduo, os valores de V% foram menores com o aumento da profundidade do solo. Isso não acontece com A0, para a qual não foram observadas diferenças entre as camadas.

Pode-se constatar que o resíduo de suíno não elevou a V% do solo acima de 50%, com exceção da camada 0-0,05m da A26, mas resultou em aumento significativo na fertilidade do solo, resultado que concorda com Santos e Camargo (1999) e Sediya et al. (2000), que observaram ser a compostagem do resíduo de suíno, um adubo de alto valor fertilizante, tornando excelente opção de disposição desses resíduos no ambiente.

Os valores de pH do solo são apresentados no Quadro 21.

Quadro 21. Valores médios de pH do solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	<i>CaCl₂</i>					%
0-0,05	3,8 Cb	4,7 Ba	4,7 Ba	5,0 Aa	4,6 a	4,69
0,05-0,10	3,8 Bb	4,2 Ab	4,3 Ab	4,1 Ab	4,1 b	3,51
0,20-0,40	4,0 Aa	3,9 Bc	3,9 Bc	3,9 Bc	3,9 c	1,20
0,60-0,80	4,1 Aa	3,9 Bc	3,8 Bc	4,0 Ac	3,9 c	1,22
Média	3,9 B	4,2 A	4,2 A	4,3 A	-	3,22
CV(%)	1,52	4,81	3,53	1,77	3,22	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise estatística dos dados obtidos para o pH, para as áreas em cada camada, mostrou que para a camada de 0-0,05m os valores aumentaram significativamente de A0 para A3, A7 e para A26. Para camada de 0,05-0,10m entre as áreas que receberam a adição do resíduo não houve diferença significativa entre os valores de pH que foram significativamente maiores quando comparados com os de A0. Para a camada de 0,20-0,40m ocorreu o inverso da camada anterior, ou seja, entre as áreas que receberam o

resíduo de suíno não houve diferença significativa, mas os valores são significativamente menores quando comparados com os de A0. Para a camada de 0,60-0,80m os valores de pH foram maiores em A0 e A26.

Na média geral houve um aumento significativo para as áreas que receberam o resíduo de suíno em comparação a A0, concordando com Kiehl (1985).

Analisando-se as camadas em cada área observa-se para A3, A7 e A26 uma diminuição significativa do pH em profundidade. O inverso pode-se observar para a A0, com valores de pH crescentes conforme aumenta a profundidade. Esses resultados indicam que o resíduo está interferindo no aumento do pH em superfície concordando com Kiehl (1985).

Observa-se, também, que mesmo com um aumento significativo nos valores de pH, esses valores são considerados muito baixos, constatando-se assim, que só o resíduo não foi capaz de elevar o pH, apesar de que o resíduo in natura possui um pH de 6,8 (Quadro 2), quase próximo a neutralidade.

3. Propriedades microbiológicas

Os valores de carbono microbiano do solo (biomassa), são apresentados no Quadro 22.

A análise estatística dos dados obtidos para os valores de carbono microbiano (biomassa) nas áreas em cada camada mostrou que para camada de 0-0,05m não houve diferença significativa entre as áreas estudadas. Para as camadas de 0,05-0,10 e 0,60-0,80m, entre as áreas que receberam o resíduo de suíno não houve diferença significativa, sendo encontrados valores maiores quando comparados a A0. Para a camada de 0,20-0,40m somente houve diferença entre A3 e A0, mostrando aumento significativo para as áreas que receberam o resíduo de suíno.

Analisando-se as camadas em cada área, as A3 e A7 não mostraram diferença significativa. Para A26, entre a profundidade 0 até 0,40m, não foram encontradas diferenças significativas, mas comparando-se com a camada 0,60-0,80m houve aumento significativo, concordando com Andrade et al. (2002b).

Quadro 22. Valores médios de carbono microbiano (biomassa) no solo para as áreas A0 (Mata), A3 (3 anos de aplicação), A7 (7 anos de aplicação), A26 (26 anos de aplicação) em cada camada de solo estudada.

Camada	A0	A3	A7	A26	Média	C.V.
m	$\mu g.g^{-1}$					%
0-0,05	12039 Aa	28776 Aa	18205 Aa	15856 Aa	18719 a	69,78
0,05-0,10	4405 Cb	20554 Aa	14388 ABa	15391 ABa	13685 ab	47,39
0,20-0,40	5286 Bab	24665 Aa	12039 ABa	17031 ABa	14755 ab	54,07
0,60-0,80	6166 Bab	12333 Aa	16737 Aa	10571 Aab	11452 b	63,15
Média	6974 C	21582 A	15342 AB	14712 AB	-	63,15
CV(%)	61,31	66,33	56,16	34,20	63,15	-

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Apesar das diferenças em superfície não serem significativas houve uma tendência de aumento da biomassa do solo, com a aplicação do resíduo de suíno.

Pode-se observar que, para o solo em profundidade, as áreas que receberam o resíduo, apresentaram valores altos de biomassa até a camada de 0,60-0,80m, como influência da matéria orgânica que caminhou até as camadas mais profundas.

Esse aumento na biomassa do solo pode estar influenciando a agregação, concordando com Tsai (1992), que diz haver semelhança no tamanho dos microrganismos, principalmente das células bacterianas, com as partículas de argila (de mais ou menos 2 μm), existindo a possibilidade da existência de adesão ou ligação das partículas de argila às células microbianas.

Os resultados de aumento na biomassa do solo, com a aplicação do resíduo de suíno, mostram que nenhuma das propriedades analisadas está influenciando negativamente o solo das áreas estudadas podendo ser consideradas viáveis no desenvolvimento de plantas e organismos vivos, concordando com Jahnel (1997).

CONCLUSÕES

1- A aplicação do resíduo líquido de suíno promoveu aumento da matéria orgânica, dos ácidos húmicos e da humina até 0,80m, em relação a área de mata.

2- A aplicação de resíduo diminuiu o diâmetro médio ponderado dos agregados, a porcentagem de agregados com diâmetro entre 8 e 2 mm e a permeabilidade do solo, aumentou a porcentagem de agregados com diâmetro entre 2 e 0,105 mm e não influenciou na macroporosidade, microporosidade, porosidade total, argila dispersa em água e a resistência do solo a penetração em relação ao solo de mata.

3- As propriedades químicas do solo (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, CTC, SB, V% e CE) foram alteradas positivamente em relação ao solo das camadas superiores (0-0,05 e 0,05-0,10m) pela aplicação do resíduo líquido de suíno.

4- A biomassa do solo foi influenciada positivamente pela adição do resíduo de suíno.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, R.C.; ANDRADE, C.L.; TMENEZES, J.F.S.; PIMENTA, F.F.; KONZEN, E.; RATKE, R.F. Monitoramento ambiental do uso de dejetos líquido de suínos como insumo na agricultura: 1- Perdas de terra e de água por escoamento superficial. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da água, 14, Cuiabá, MT.CD *Anais...* SBCS, 2002. 1 CDRoom.

ANDRADE, C.L.T.; ALVARENGA, R.C.; MENEZES, J.F.S.; PIMENTA, F.F.; KONZEN, E.; BASSO, R.B.; PALOSCHI, R. Monitoramento ambiental do uso de dejetos líquido de suínos como insumo na agricultura: 2- Dinâmica da água no solo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da água, 14, Cuiabá, MT.CD *Anais...* SBCS, 2002a. 1 CDRoom.

ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E.; BALOTA, E.L. Populações de bradirizóbio/rizóbio em função da aplicação de resíduo de suíno e dos sistemas de plantio. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da água, 14, Cuiabá, MT.CD *Anais...* SBCS, 2002b. 1 CDRoom.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. *R. bras. Ci. Solo*, v.24, p.857-865. 2000.

ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (ed.) *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. (Ed.) *Adubação nitrogenada no Brasil*. Ilhéus: CEPLAC, 1985. p. 1-19.

AQUINO NETO, M. V. e CAMARGO, O. A. Acúmulo de crômio em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl_3 e resíduos de curtume. *R. bras. Ci. Solo*, v.24, p.225-235. 2000.

ARCHER, J.R.; SMITH P.D. The relation between bulk density available water capacity, and air capacity of soils. *Journal of Soil Science*, London, v.23, n.4, p.475-480, 1972.

BAATH, E.; DIAZ-RAVINA, M.; FROSTEGARD, A.; CAMPBELL, C.D. Effect of metal-rich sludge amendments on the soil microbial community. *Applied and Environmental Microbiology*, v.64, n.1, p.238-245. 1998.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos, 2000. Internet: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/AVALIACOESDEPROPRIEDADES.htm>.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BENGHOUGH, A.G; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth responses: a review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.*, v.41, p 341-358. 1990.

BEUTLER, A.N.; SIVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distroférico Típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.25, n.1, p. 167-177. 2001.

BOHERE, P.B. *A suinocultura Brasileira*. ABIPECS (Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de carne Suína). http://www.vet.ufg.br/palestra6_PBeunur.pdf, 2003

BUCKMAN H.O.; BRADY N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 2^a ed. Rio de Janeiro, 1969.

BURAK, D.L.; CARVALHO JUNIOR, I.A.; FONTES, M.P.F. Substâncias húmicas e a agregação de solos altamente intemperizados. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4, Viçosa, 2001. *Resumos...* Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (IHSS), 2001. p. 102-104.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

CARDOSO, E.J.B.N *Ecologia microbiana do solo*. In: CARDOSO, E.J.B.N; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. *Microbiologia o solo*. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, M.A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I.C.B. Aggregates stability under soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brasil. *Soil and Tillage Research*. V. 65, p. 45-51. 2002.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M.A.T.; CAVIGLIONE, J.H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização do chorume suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. *Resumos...* Ribeirão Preto, UNESP/ SBCS, 2003. CD-Rom.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison:ASA/SSSA,1994 p.3-21.

EMBRAPA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS *Manual de métodos de análise de solo*. 2^aed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999. 212p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p 991-996. 1999.

FORTUN, A.; BENAYAS, J.; FORTUN, C. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. *J. of Soil Sci.*, v.41, p.563-572. 1990.

GERARD, C.J; MEHTA, H.C.; HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. *Soil Sci.* v. 114, p. 37-49. 1972.

GIANELO, C.; ERNANI, P.R. Rendimento de matéria seca de milho e alteração na composição química do solo pela incorporação de quantidades crescentes de cama de frango, em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 7, p 285-290. 1983

GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.*, v.73, p. 223-232. 1993.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: Revisão metodológica. *Rev. Nordestina Biol.* v.10, p.1-22. 1995.

GODINHO, J.F. *Suinocultura: tecnologia e viabilidade econômica*. São Paulo: Nobel, 3ª ed., 1988. 323 p.

HAFEZ, A.A.R. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixture of manure from various domestic animals. *Soil Sci.* v. 118, p 53-59, 1974.

HAYES, M.H.B; SWIFT, R.S. The chemistry of soil organic colloids. In: GREENLAND, D.J.; HAYES, M.H.B., *The chemistry of soil constituents*. Chichester, UK: J. Wiley, 1978, p.179-320.

HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. New York: Academic Press, 1982. 366p.

IPT. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:1.000.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981.

JAHNEL, M.C. *Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbilógicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos*. Piracicaba. 1997. 79p. Tese

(Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem*, v. 8, p. 209-213, 1976.

KHALEEL, R.; REDDY, K.R.; OVERCASH, M.R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual.*, v.10, p. 133-141. 1981.

KIEHL, J.E. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KIEHL, J.E. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KING, L.D.; MORRIS, H.P. Nitrogen movement resulting from surface application of liquid sewage sludge. *J. Environm. Qual.*, v. 3, p. 238-243, 1974.

KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D Alterações químicas e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curume. *R. bras. Ci. Solo*, v.26, p.257-265. 2002.

KUMADA, K. *Chemistry of soil organic matter*. Japan Scientific Societies Press. Elsevier. 1987. 241p.

LANARV *Laboratório Nacional de Referência Vegetal*. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes. Métodos oficiais do Ministério da Agricultura - Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1988.

LARSON, W.E; PIRCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 37-51.

MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O.; OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um LATOSSOLO AMARELO saturado e não saturado. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 25, p 1-9. 2001.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.; FREITAS, S.P.; VIDIGAL, S.M.; GARCIA, N.C. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos. *Revista Ceres*, v. 44, n.245, p 399-410. 1997.

MARSCHENER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press, 1995. 889p.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strengter. R. Bras. Ci. Solo, v. 23, p 197-202. 1999.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. Lavras : Editora UFLA, 2002, 625p.

MÜLLER, M.M. Influência do monocultivo na cana-de-açúcar e nas propriedades físicas e químicas de um Nitossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico. Botucatu. 2002. 120p. Tese (Doutorado Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP.

NANNIPIERI, P. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In: KLUG, M.J. & REDDY, C.A., *Current perspectives in microbial ecology*. American Society for Microbiology, Washington. 1984. p.515-521.

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. Soil. Sci. Soc. Am. J. v. 51, p. 186-193. 1987.

OLIVEIRA, P.A.V. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia EMBRAPA/CNPQA, 1993. 188p. (EMBRAPA/CNPQA, Documento 27).

OLIVEIRA, J.B.; CARVALHO, M.M.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo*. 1:500.000, IAC. 1999.

PAULA, L.F. *Tratamento biológico de águas residuárias de abatedouros de suínos*. São Carlos. 1982. 206p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L.V. Influência dos restos de matéria orgânica nas macro e microestruturas do solo. *Bioresource Technol*, v.43, p.205-13. 1993.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G. Relações entre estrutura do solo e tempo de aplicação de esterco de suínos. In: WILLIAMS, J.H. et al (eds). *Long term effects of sewage sludge and farm slurries applications*. London: Elsevier, 1985. p.45-56.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant and Soil*, v. 123, p. 27-37. 1990

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Macromolecular changes on humic substance induced by interaction with organic acids. *European Journal of soil Science*, Cambridge, v. 47, p. 319-328, 1996.

PURI, G.; BARRACLOUGH, D. Comparison of 2450 MHz microwave radiation and chloroform fumigation-extraction to estimate soil microbial biomass nitrogen using ¹⁵ N-labelling. *Soil Biol. Biochem.*, v. 25, p. 521-522, 1993.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Campinas: Instituto Agronômico, 1991. 20p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico. 2001. 285p.

RICHARDS, L.A *Diagnosis improvements of saline and alkaline soils*. Washington, Departament of Agriculture, 1954. 160p.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491p.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênesis, 1999. 491p.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS M., F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. *R. bras. Ci. Solo*, v.25, p.765-769. 2001.

SCHROEDER, D. *Soils- Facts and Concepts*. Ed: Int. Potash Institute. Switzerland. 1984. 140p.

SCHULTEN, H.R; SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. *Soil Science*, Baltimore, v.162, p-115-130, 1997.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. Soil organic matter. Amsterdam: Elsevier, 1978. 319p.

SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.C.P.; VIDIGAL, S.M.; MATOS, A.T. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. *Scientia Agricola*, v.57, n.1, p. 185-189. 2000.

SEGANFREDO, M.A. *A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 35p.(Circular Técnica, 22).

SONNEVELD, C.; ENDE, J. van den; BES, S.S. de. Estimating the chemical compositions of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 by volume extracts. *Plant and Soil*, v. 122, p. 169-175, 1990.

STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis composition, reaction*. New York: Wiley, 1982. 443p.

TATSUKAWA, J. Determination of fulvic and humic acid. *Jps. J. Soil Sci. Plant Nutr*, v. 37, p.28-33, 1966.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. *R. bras. Ci. Solo*, v.25, p. 725-730. 2001.

TAYLOR, H.M.; BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plantas. *Soil Sci.*, v. 98, p. 174-180, 1964.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GINELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 159-196.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; MOURÃO JUNIOR, M. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob mata nativa e sistemas de produção de café orgânico em conversão e convencionais. Internet: www.planetaorganico.com.br/trabVanessa2.htm. 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. bras. Ci. Solo*, v.22, p.301-309. 1998.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N. (eds.) *Microbiologia do Solo*. Campinas-SP, 1992. p. 59-72.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, v.19, p.703-707. 1987.

WEI, Q. F.; LOWERY, B.; PETERSON, A. E. Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.*, v. 14, p. 178-180. 1985.

WEIL, R.R.; KROONTJE, W. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. *J. Environ. Qual.*, v. 8, p. 387-392, 1979.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agr.*, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZAGAL, E. Effects of microwave radiation on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.*, v.21, p. 603-605, 1989

