

**ALTERAÇÕES DE PROPRIEDADES DE SOLOS
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

JANE MARISA JONASSON COSTA LIMA

**Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.**

**Piracicaba
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1995**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

L732a Lima, Jane Marisa Jonasson Costa
Alterações de propriedades de solos cultivados com
cana-de-açúcar. Piracicaba, 1995.
173p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Cultivo seqüencial - Efeito 2.
Relação solo-planta-ambiente 3. Solo - Degradação -
São Paulo (Estado) 4. Solo - Propriedade - Alteração
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba

CDD 631.41
631.45

***Ao Valmiqui,
Wagner,
Thienes
e Cassio***

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José L. I. Demattê pelo apôio, confiança e orientação durante todo nosso treinamento em pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima pela co-orientação, ensinamentos, contribuições e principalmente pela incansável compreensão e conselhos na elaboração deste trabalho. Obrigado Valmiqui.

Ao Prof. Dr. Geraldo V. França pela atenção, incentivo, paciência que sempre nos dispensou.

Aos amigos Pablo V. Torrado, Jairo A. Mazza, Gerd Saprovek e Quirijn De Jong Van Lier (Quirino) pela amizade e apoio.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade para realização do doutorado.

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro concedido para realização deste trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO.....	xi
SUMMARY	xiii
1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Características físicas.....	5
2.1.1. Densidade e estrutura	5
2.1.2. Água disponível.....	8
2.2. Características químicas.....	10
2.3. O emprego da micromorfologia no estudo de solos cultivados	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1. Seleção das áreas de estudo	20
3.2. Coleta de amostras.....	20
3.3. Amostragem para caracterização química e granulométrica.....	24
3.4. Amostragem para análise micromorfológica, densidade e curva de retenção.....	24
3.5. Procedimentos analíticos de laboratório.....	24
3.5.1. Análises químicas.....	24
3.5.2. Análises físicas.....	30
3.5.3. Análise micromorfológica.....	31
3.5.4. Análise mineralógica e isotópica	31
3.5.5. Análise estatística.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Morfologia dos solos.....	33

4.2. Características físicas.....	37
4.2.1. Densidade do solo.....	37
4.2.2. Porosidade	43
4.2.3. Retenção de água	54
4.3. Características químicas.....	64
4.3.1. Cations trocáveis - cálcio, magnésio, potássio.....	64
4.3.2. Soma (S) e saturação por bases (V%).....	72
4.3.3. pH e hidrogênio trocável.....	77
4.3.4. Alumínio (Al) e saturação por alumínio (m%).....	79
4.3.5. Carbono orgânico.....	81
4.3.6. Capacidade de troca cationica (CTC).....	86
4.3.7. Capacidade de troca cationica efetiva (CTCe).....	87
4.3.8. Fósforo	91
4.3.9. Ponto de carga zero (PCZ).....	93
4.3.10. Micronutrientes	96
4.4. Mineralogia da fração argila	100
4.5. Características micromorfológicas.....	103
4.5.1. Considerações gerais sobre a micromorfologia	127
4.5.2. Avaliação da porosidade através de computador.....	139
4.6. Considerações finais	140
5. CONCLUSÕES	143
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
APÊNDICE.....	167

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1a. Representação das condições estudadas.....	23
Figura 1b. Esquema da amostragem	29
Figura 2. Representação esquemática da morfologia do LE textura argilosa ..	34
Figura 3. Representação esquemática da morfologia do LE textura média-arenosa e LR muito argiloso	35
Figura 4. Representação esquemática da morfologia da TE e AQ.....	36
Figura 5. Relação entre densidade do solo e macroporos	41
Figura 6. Densidade dos solos sob mata e cultivados.....	45
Figura 7. Diâmetro dos poros - LE argiloso	48
Figura 8. Diâmetro dos poros - LE argiloso	49
Figura 9. Diâmetro dos poros - LE média-arenosa.....	50
Figura 10. Diâmetro dos poros - LR muito argiloso	51
Figura 11. Diâmetro dos poros - TE argiloso	52
Figura 12. Diâmetro dos poros - AQ	53
Figura 13. Curvas de retenção de água do LE argiloso (P1, P2, P3).....	55
Figura 14. Curvas de retenção de água do LE argiloso (P4, P5).....	56
Figura 15. Curvas de retenção de água do LE média-arenosa (P6, P7).....	57
Figura 16. Curvas de retenção de água do LR muito argiloso (P8, P9, P10)...	58
Figura 17. Curvas de retenção de água do TE argiloso (P11, P12).....	59
Figura 18. Curvas de retenção de água da AQ (P13, P14)	60
Figura 19. Conteúdo de água disponível (cm^3/cm^3) nos perfis sob mata e cultivados	63
Figura 20. Distribuição do cálcio em profundidade.....	70
Figura 21. Distribuição do magnésio em profundidade	71
Figura 22. Distribuição do potássio em profundidade.....	74
Figura 23. Relação entre algumas características químicas do solos sob	

cana e sob mata	76
Figura 24. Saturação por bases (V%) dos solos estudados.....	78
Figura 25. Distribuição do alumínio em profundidade	80
Figura 26. Distribuição do carbono em profundidade.....	84
Figura 27. Dinâmica do carbono nos solos cultivados.....	85
Figura 28. Distribuição da CTC efetiva em profundidade.....	88
Figura 29. Relação entre algumas características químicas do solos sob cana e sob mata.....	90
Figura 30. Distribuição do fósforo em profundidade.....	92
Figura 31. Curvas de titulação potenciométrica (0-10 cm)	94
Figura 32. Difratogramas de raios-X (amostras deferrificadas e glicoladas dos solos estudados na camada de 0-10 cm).....	102
Figura 33. Fotomicrografia do LE argiloso (P1) sob mata na profundidade de 0-20 cm	106
Figura 34. Alteração da trama com o cultivo na camada de 10-20 cm do Latossolo Vermelho-Escuro argiloso	111
Figura 35. Alteração do espaço poroso na camada de 0-10 cm do Latossolo Vermelho-Escuro textura média-arenosa.....	113
Figura 36. Alteração do espaço poroso na camada de 10-20 cm do LR.....	117
Figura 37. Fotomicrografia da camada de 0-10 cm do Latossolo Roxo.....	119
Figura 38. Alteração na morfologia dos poros na TE na camada de 0-10 cm	122
Figura 39. Alteração do espaço poroso na camada de 0-10 cm da AQ	125
Figura 40. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em condições de cultivo e mata	130
Figura 41. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em condições de cultivo e mata	131

Figura 42. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro textura média arenosa em condições de cultivo e mata.....	132
Figura 43. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Roxo textura muito argilosa em condições de cultivo e mata	133
Figura 44. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade da Terra Roxa Estruturada textura argilosa em condições de cultivo e mata	134
Figura 45. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade da Areia Quartzosa em condições de cultivo e mata.....	135
Figura 46. Fotomicrografia da camada de 0-20 cm. A)-Trama porfírica de ocorrência local provavelmente ocasionada pela ação da vinhaça em cana soca na AQ (P14). B)-Raiz com orientação oblíqua em área cultivada. (Aumento 40 X).....	136
Figura 47. Alteração das raízes na camada de 10-20 cm do LE argiloso. A)-Raiz normal orientada verticalmente em condição de mata. B)-Raiz fina e tortuosa com orientação horizontal em área cultivada. (Aumento 40 X).....	137

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição granulométrica (%) dos solos estudados	22
Tabela 2. Solos, local, uso e manejo das áreas estudadas.....	25
Tabela 3. Valores de densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporos dos solos cultivados e sob mata	39
Tabela 4. Características químicas dos solos cultivados(cana soca e cana planta) e sob mata.....	65
Tabela 5. Valores mínimos, máximos, médias e coeficiente de variação (CV) de algumas características químicas dos solos sob cana e mata na profundidade de 0-20 cm	73
Tabela 6. Valores do ponto de carga zero (PCZ) em duas profundidades.....	95
Tabela 7. Teores de micronutrientes dos solos sob mata e cultivados	97
Tabela 8. Composição mineralógica da fração argila.....	101
Tabela 9. Estimativa da macroporosidade (% da área da seção delgada ocupada por poros).....	139
Tabela 10. Média de produtividade em t/ha de cana por categoria das safras 1986 a 1994 da Usina Barra Grande em Lençóis Paulista	140

ALTERAÇÕES DE PROPRIEDADES DE SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: JANE MARISA JONASSON COSTA LIMA

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

RESUMO

Tomando-se o ecossistema natural inalterado como referência, avaliaram-se as mudanças nas propriedades de solos representativos do Estado de São Paulo cultivados com cana-de-açúcar por períodos de tempo variando de 12 a 40 anos com diferentes composição granulométrica e fertilidade

Os solos selecionados foram Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e álico de textura média e argilosa, Latossolo Roxo distrófico textura muito argilosa, Terra Roxa Estruturada eutrófica argilosa e Areia Quartzosa álica com ocorrência nos municípios de Lençóis Paulista, Ribeirão Preto, Barra Bonita e São Carlos.

As amostragens foram realizadas até 100 cm e foram avaliados parâmetros físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos.

Os solos originalmente álicos e distróficos tiveram significativos aumentos nos cátions trocáveis, saturação em bases, pH e capacidade de troca catiônica efetiva. Por sua vez, os solos originalmente eutróficos tornaram-se distróficos sem, no entanto, atingir níveis que possam ser considerados preocupantes.

Ocorreram perdas importantes de carbono independente das características dos solos e do manejo o que influenciou na diminuição da capacidade de troca catiônica e aumento do ponto de carga zero.

Os micronutrientes apresentaram tendências à diminuição com o cultivo.

A densidade do solo apresentou acréscimos diferenciados de acordo com a composição granulométrica refletindo em aumento da água disponível e restrição do desenvolvimento radicular.

A porosidade total e macroporosidade sofreram reduções atingindo níveis considerados críticos em áreas de cana soca; na reforma do canavial as operações de preparo contribuíram para regeneração parcial do espaço poroso aproximando-se dos valores originais do ecossistema natural.

O cultivo promoveu alterações a níveis microscópicos até a profundidade de 30 cm principalmente em relação à trama e morfologia dos poros.

A atividade biológica foi reduzida em função do cultivo contribuindo para a redução da macroporosidade.

CHANGES IN PROPERTIES OF SOILS CROPPED TO SUGARCANE

Author: JANE MARISA JONASSON COSTA LIMA

Adviser: Prof. Dr. J. L. I. DEMATTÉ

SUMMARY

Cropped and adjacent virgin sites were compared to examine the effects of cropping on soil properties of representative areas from São Paulo State, Brazil, under sugarcane for 12 and 40 years.

The selected soils examined in this study were Oxisols, Alfisols and Quartzpsaments.

Physical, chemical, mineralogical and micromorphological analysis were performed in samples taken to a depth of 100 cm.

On soils with low initial fertility (allic and dystrophic soils) cultivation significantly increases exchangeable cations, base saturation, pH and the effective cation exchange capacity. The originally eutrophic soils showed a decrease in fertility.

Cropping resulted in losses of organic carbon independently of soil characteristics and management, resulting in decrease of cation exchange capacity and increase of the zero point of charge.

Micronutrients showed lowering trends with time of cropping.

Bulk density showed different increases dependent on the granulometric composition and seem to have influenced positively the water content between -0.01 MPa and -1.5 MPa and negatively the root system growth.

Total porosity and macroporosity decreased to critical levels. Disturbance caused by cropping operations contributed substantially for regeneration of the macroporosity.

Micromorphological observations revealed changes in the soil surface (0-30 cm) mainly in fabric and pore morphology and showed that faunal activity was reduced.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as lavouras comerciais no Brasil a cana-de-açúcar tem particularidades que a diferenciam das demais principalmente nos aspectos relacionados às interações solo-planta-ambiente. Durante um ciclo completo da cultura, média de cinco anos para o Estado de São Paulo, ela é renovada sendo o solo novamente preparado para receber um novo plantio.

As principais práticas agrícolas e de manejo empregadas restringem-se de quatro a cinco gradeações intercaladas com aração ou subsolagem e uma aplicação de corretivo. A seguir procede-se a sulcação para plantio colocando-se o adubo no fundo do sulco e, em certos casos, inseticida. Após o fechamento do sulco aplicam-se herbicidas de grande poder residual.

Depois de quatorze a dezesseis meses do plantio a cana é preparada para colheita com o uso do fogo. Esta pode ser feita manual ou mecanicamente e a retirada da cana é realizada por caminhões cujo peso varia entre vinte a trinta toneladas. Os caminhões trafegam nos talhões e são carregados mediante o uso de guinchos. Segue-se a operação de cultivo da soqueira que consiste em três passadas de máquinas pelo menos: uma para enleirar a palha remanescente, a outra para descompactar parcialmente o solo e adubar e, finalmente, uma terceira passada para nova aplicação de herbicida.

Esta seqüência de safra e cultivo da soqueira é repetida de quatro a cinco vezes, após o que a área é novamente preparada para um novo ciclo. Durante este ciclo grande parte das usinas e destilarias aplicam anualmente a vinhaça no mínimo em 1/3 da área de socas, que é feita por caminhões com doze a quinze mil litros.

É de se esperar, portanto, que ao longo de diversos ciclos da cultura estejam ocorrendo muitas alterações nas propriedades dos solos.

Apesar da maioria das pesquisas mostrarem tendência a salientar as modificações negativas no solo devido ao cultivo deve-se, por outro lado, admitir, que o emprego da tecnologia tanto pode aumentar a sua capacidade produtiva como acelerar a sua degradação.

É imperativo reconhecer também que algumas alterações no comportamento do solo são de conhecimento universal e altamente dependentes do tipo de uso ou manejo adotados. Muitas modificações são agronomicamente desejáveis o que leva à constatação de que modificar o solo não significa obrigatoriamente degrada-lo.

Assim, o monitoramento das alterações induzidas pelo cultivo devem se constituir numa necessidade básica de se buscar um direcionamento que objetive a recuperação ou a manutenção de suas propriedades.

A utilização do álcool derivado da cana-de-açúcar como combustível alternativo transferiu ao setor canavieiro uma grande responsabilidade a qual cria a necessidade de gerir melhor o solo com a finalidade de se obter uma produtividade segura e permanente.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a tendência das alterações nas principais propriedades de alguns dos mais importantes solos do Estado de São Paulo cultivados com cana-de-açúcar

2. REVISÃO DE LITERATURA

As mudanças pelas quais um solo em estado virgem passa ao ser cultivado são de interesse para os trabalhos agrícolas no entendimento dos problemas de manejo. Esses problemas não estão somente relacionados com a fertilidade como também com as propriedades físicas que afetam principalmente a retenção de água, aeração e estabilidade dos agregados. Em geral reconhece-se que o solo em boas condições físicas é potencialmente mais produtivo e menos susceptível à erosão. (DORMAN, 1933; RETZER e RUSSELL, 1941).

Para avaliar as transformações positivas ou negativas, decorrentes do sistema utilizado, SANCHEZ (1976) argumenta que resultados mais precisos poderiam ser obtidos utilizando-se um solo sob vegetação natural submetendo-o às explorações agrícolas desejadas e analisando os parâmetros periodicamente. O fator limitante em estudos dessa natureza é o tempo gasto para a sua realização. Assim, a outra opção para estimativa mais aproximada das tendências das alterações antrópicas é através da comparação de solos virgens e cultivados semelhantes no que diz respeito à sua classificação e situação topográfica.

Os trabalhos selecionados para esta revisão restringiram-se àqueles em que as alterações das características do solo motivadas pelo cultivo foram avaliadas em comparação às condições originais.

2.1. Características físicas

2.1.1. Densidade e estrutura

É reconhecido que a compactação devido às modificações na estrutura causadas pelo cultivo altera as relações de ar e água no solo. Primeiro, porque a capacidade de troca gasosa pode ser inadequada para o crescimento saudável das raízes; segundo, a tensão com que a água é retida pode tornar indisponível grande parte da água; terceiro, porque a densidade pode chegar a um tal ponto que as raízes não conseguem penetrar nas camadas compactadas ficando impedidas de ter acesso à água e aos nutrientes das porções inferiores do solo (SCHWAB et al., 1966). Outro efeito da compactação relaciona-se com a alteração da atividade biológica, microflora e microfauna, que pode afetar a decomposição da matéria orgânica, mineralização dos nutrientes e denitrificação (HAKANSSON et al., 1988).

O cultivo pode aumentar a densidade do solo na camada superficial a valores até 100% acima das condições iniciais (MARTEL e DESCHENES, 1976; DAVIDSON et al., 1967). Mudanças na densidade podem também variar consideravelmente dependendo da textura e da quantidade de matéria orgânica (CURTIS e POST, 1964).

O uso de rotação de culturas e cultivo contínuo por 10 anos em um solo de textura média siltosa afetaram a agregação do solo, como constatado por JOHNSTON et al. (1942). Sob rotação de culturas houve a predominância de estrutura granular devido em parte ao melhor desenvolvimento do sistema radicular. No cultivo contínuo a presença acentuada de torrões dificultou os trabalhos agrícolas e foram relacionadas as perdas de matéria orgânica da ordem de 16% em relação às condições originais. Esses autores enfatizaram a importância da cobertura vegetal para manutenção da matéria orgânica e estrutura favorável evitando perdas de solo e de água

Alterações na estrutura e diminuição na estabilidade de agregados principalmente em superfície aumentam o risco de erosão (LAWS e EVANS, 1949). Estudos em solos de textura argilosa cultivados por 40, 50 e 90 anos mostraram decréscimo da porosidade total porém sem diferença significativa; já a porosidade de aeração foi significativamente mais baixa no solo cultivado, o que foi considerado fator limitante na produção uma vez que resultou num decréscimo no teor de água no ponto de saturação de 50 a 100% em relação ao solo virgem. Essas modificações ocorreram devido à diminuição significativa no conteúdo de matéria orgânica principalmente na camada superficial que contribuiu para alteração da forma e tamanho dos agregados. Em um estudo comparativo com seis solos em estado virgem e cultivado ANDERSON e BROWNING (1949) verificaram maior porcentagem e estabilidade de agregados nos solos virgens. O cultivo causou um marcado aumento na densidade e redução da porosidade de aeração. A redução de matéria orgânica e a degradação dos agregados causaram decréscimo no conteúdo de água.

As camadas superficiais de um solo cultivado não mais conservam as características originais. A estrutura granular ou grumosa, que predomina em solos sob vegetação nativa, associada com altos conteúdos de água e ar, é alterada para maciça, em placas ou torrões, que indicam sérias modificações nas propriedades físicas. Em solos de textura média, cultivados por 45 anos, KLINGEBIEL e O'NEAL (1952) constataram essas alterações e que refletiram na redução dos macroporos de 9,2 para 3,5% e no aumento da densidade de 1,1 para 1,31 g/cm³. Concluíram que a grandeza das mudanças na estrutura depende do tipo de solo, do teor de matéria orgânica e da intensidade do manejo. Constatações semelhantes foram feitas por McKEAGUE et al. (1987) ao analisar o efeito do longo tempo de cultivo na camada superficial de um solo de textura média-argilosa. A estrutura fortemente desenvolvida adquiriu aspecto maciço com o cultivo. A densidade de 0,97 no horizonte superficial

passou para $1,49 \text{ g/cm}^3$, resultando num decréscimo de 6% na porosidade de aeração. Nas observações macromorfológicas verificaram que as raízes se localizaram somente nas fissuras e nos canais formados previamente por raízes e pela fauna; abaixo dos 30cm não se verificou efeito do manejo. Para MEDVEDEV (1979) o cultivo prolongado causou degradação na morfologia dos macroagregados e reduziu a porosidade. Os agregados estáveis em água ($> 0,25\text{mm}$) decresceram significativamente. A porosidade decresceu (12 a 13,7%) devido à redução no diâmetro dos agregados e presença de maior quantidade de material fino. No solo cultivado dois tipos de organizações de agregados predominaram: agregados isolados e agregados artificialmente aglomerados (torrões). Em consequência a densidade aumentou de 4 a 6% .

Em solos de texturas diferentes, após 25 anos de cultivo, a densidade aumentou cerca de 7 a 20% em relação às condições iniciais (BAUER e BLACK,1981) como consequência das perdas de carbono. Os maiores acréscimos foram nos solos de textura argilosa (20%).

Em um solo de textura muito argilosa, CHAN et al. (1988) diagnosticaram que decréscimos significativos na estabilidade estrutural só ocorreram após 20 e 50 anos de cultivo, resultando numa redução na porosidade de aeração inferior ao limite considerado crítico ($< 10\%$) e afetando consideravelmente a atividade biológica. De acordo com PAGLIAI (1987) solos de textura muito argilosa mantêm alta porosidade por longo tempo após o cultivo devido a expansão e contração.

O preparo do solo por aração e gradagem é realizado na maioria das vezes fora das condições ideais de umidade provocando alterações principalmente na estrutura. SILVA e RIBEIRO (1992), com o objetivo de avaliar o grau de modificações de algumas características morfológicas e físicas em solos submetidos ao cultivo intensivo com cana-de-açúcar por 5,15 e 25 anos, constataram que a morfologia se apresentou semelhante às condições iniciais a não ser no horizonte superficial. O horizonte orgânico de

4cm de espessura, presente no solo virgem, foi incorporado ao A subjacente formando o horizonte Ap. Ao contrário do que se tem observado na literatura, nos solos cultivados verificou-se uma tendência ao melhor desenvolvimento da estrutura. Tal fato foi explicado como conseqüência do abundante sistema radicular da cana-de-açúcar. A porosidade total decresceu somente na profundidade de 0-20cm, passando de 50 para 43-47% em virtude da redução na macroporosidade, embora não significativa.

2.1.2. Água disponível

Considerável atenção tem sido dada para o efeito da textura, matéria orgânica e estrutura no relacionamento solo-água. Considerações teóricas revelam que os solos siltosos retém mais água que os argilosos e arenosos. Entretanto se no solo argiloso ocorrerem microagregados estáveis com tamanhos variando de 0,10 a 0,002mm ele terá maior retenção de água (JAMISON, 1958). Portanto, o papel da textura torna-se menos importante com o desenvolvimento da estrutura. Isso é verdadeiro no caso dos latossolos fortemente estruturados onde a perda de água não pode ser prevista pela textura (SHARMA e UEHARA, 1968). Em latossolos com mais de 60% de argila e com agregados altamente estáveis as curvas de retenção assemelham-se às de solos com textura arenosa (SHERMAN e ALEXANDER, 1959).

JAMISON (1953) e SALTER et al. (1966) relataram que o cultivo afeta principalmente a água retida a baixas tensões, isso porque os poros maiores são mais afetados pelas mudanças na estrutura. Para BODMAN et al. (1958) o colapso dos macroporos resulta em pequenos aumentos de poros com tamanho inferior a 30 μm . PAGE e WILLARD (1946) ao comparar um solo virgem de textura muito argilosa com um similar cultivado por 45 anos verificaram que a perda de matéria orgânica contribuiu para alteração da estrutura e com isso resultou em decréscimo da porosidade total e

conseqüente redução no conteúdo de água. Situação semelhante foi constatada por SKIDMORE et al. (1975) em que o cultivo alterou a porosidade total e afetou o conteúdo e transmissão de água do solo. Entretanto OBI e NNABUDE (1988) não constataram diferença significativa na porosidade total em solos cultivados, porém a macroporosidade decresceu de 19% para 11%, refletindo em perda de água de 33% entre o ponto de saturação e 0.06 MPa .

BLANK e FOSBERG (1989) registraram que o horizonte A dos solos virgens retém significativamente mais água (70%) que o similar Ap (54%) na tensão de 0 MPa, sendo altamente correlacionada com o carbono. Para esses autores os altos níveis de matéria orgânica e a presença contínua de raízes no horizonte A promovem condições necessárias para a atividade dos microorganismos os quais contribuem para o surgimento de agregados estáveis e conseqüentemente maior porosidade.

A água disponível aumenta com o acréscimo de matéria orgânica em solos de textura grosseira (JAMISON, 1953; SALTER et al., 1966); porém quando a textura torna-se mais fina a água disponível é influenciada muito mais pela textura que pela matéria orgânica (JAMISON, 1958). HILL (1959) constatou que os solos cultivados armazenam mais água disponível que os similares sob floresta e JAMISON (1956) sugeriu que a aração e o cultivo podem aumentar a água disponível, isto porque a matéria orgânica é altamente correlacionada com o conteúdo de água a 1,5 MPa, indicando que com o aumento de carbono, a água é retida em uma forma não disponível, assegurando, portanto, pelo decréscimo de matéria orgânica com o cultivo, maior conteúdo de água. Entretanto ANDERSON e BROWNING (1949), verificaram que as práticas de manejo tem pouco efeito na porcentagem da água disponível. McKEAGUE (1987) constatou decréscimo significativo na água disponível em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. De 31% originalmente passou para 20 e 26% após o cultivo. Já SILVA e RIBEIRO (1992) verificaram um aumento na água disponível principalmente nos solos

cultivados por 15 e 25 anos. BAUER e BLACK (1994) relataram que o declínio da matéria orgânica em solos de textura arenosa não alterou a água disponível e praticamente aumentou nos solos de textura argilosa devido concomitante aumento da densidade.

2.2. Características químicas

A remoção da vegetação original seguida pela adição de calcário, fertilizantes e cultivo, poderá resultar em substanciais modificações no solo especialmente na camada arada. Algumas dessas mudanças podem ser de tal ordem que influenciam na classificação do solo. Além das alterações físicas drásticas mudanças nas características químicas poderão ser observadas destacando-se pH, soma de bases, alumínio trocável, saturação com alumínio e capacidade de troca efetiva.

Mudanças dessa natureza foram constatadas por ANDERSON e BROWNING (1949), em que o pH do solo cultivado foi mais elevado em relação às condições originais. Entretanto o fósforo não apresentou mudanças consistentes e o potássio mostrou teores mais baixos. SANCHEZ et al. (1983) também verificaram aumento do pH em solos cultivados por 8 anos. A saturação por alumínio decresceu em 5 e 60%. Com relação ao cálcio, magnésio e potássio os aumentos deram-se nos primeiros anos, seguidos por decréscimo e estabilização porém com níveis acima dos originais. A CTC efetiva aumentou cerca de 50% seguindo estreitamente o pH.

Muitos estudos evidenciaram que o cultivo contínuo tem alterado o conteúdo de potássio trocável na superfície do solo (SHARPLEY e BUOL, 1987; SPARKS et al., 1980). De acordo com as observações de COPE (1981) em seis solos cultivados por dois anos sem receber fertilizantes potássicos, ocorreu decréscimo de 26% no conteúdo desse elemento quando comparado com as condições originais. Entretanto, quando foi aplicado cerca de 112 kg de

K ha/ano, num período de vinte e um anos, constatou-se um aumento de 240%. SHARPLEY e SMITH (1988) pesquisaram o comportamento de solos cultivados por 16 e 60 anos constatando que a adição de fertilizantes resultou em aumento no potássio trocável até a profundidade de 45 cm; aqueles que não receberam fertilizantes exibiram decréscimo em relação aos análogos virgens. As alterações foram significativas até a profundidade de 15 cm, devido: aplicação de fertilizantes potássicos, retirada pelas plantas, flutuações na umidade e distúrbio devido à aração. Abaixo dessa profundidade, embora os teores de potássio estivessem mais elevados que os iniciais, não foram significativos. PECK et al. (1973) também encontraram pequeno aumento de potássio trocável abaixo dos 43 cm em solos de textura média-arenosa com 560kg/ha/ano aplicados por 9 anos.

GOLDIN e LAVKULICH (1988) observaram que as principais modificações antropogenéticas ocorridas nos solos cultivados em relação às condições originais relacionaram-se ao aumento drástico do pH; os teores de cátions foram altamente dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuíram a fertilidade e os álicos aumentaram. CHAN et al. (1988) constataram que em solos cultivados por 8, 9, 20 e 50 anos, o aumento do pH variou de 0,5 a 1,5 unidades. De acordo com esses autores os altos valores de pH podem ter sido a causa dos baixos teores de fósforo encontrados. CHAN et al. (1992) verificaram redução de 15,2% na CTC em solos cultivados por 10 anos quando comparados com seus adjacentes sob mata. Essas perdas foram significativamente relacionadas com o nível de carbono orgânico. A redução da CTC foi acompanhada por perdas nos cations trocáveis, principalmente cálcio e magnésio. Situação semelhante foram verificada por LEPSCH et al. (1994) em que, solos originalmente de alta fertilidade sofreram reduções nos teores de cations básicos quando cultivados e, ao contrário, os de baixa fertilidade foram enriquecidos. Muitos dos solos revelaram aumento da capacidade de troca catiônica com o cultivo, sugerindo que esse aumento, a

despeito do decréscimo na matéria orgânica, resultou da adição de calcário e fósforo, os quais contribuíram para o aumento das cargas variáveis.

Muitos pesquisadores tem estudado o esgotamento da matéria orgânica em solos cultivados por comparação dos conteúdos de carbono com seus similares sob pastagem permanente ou vegetação original . Com base nesses estudos verificaram que os solos cultivados perdem cerca de 1% do carbono por ano durante os primeiros 20 a 30 anos de cultivo.

Diversos autores concordam com essa tendência geral, entretanto alguns trabalhos evidenciam consideráveis variações. Certos trabalhos relatam que as perdas atuais de carbono variam de 0 à 2,5 por ano, outros mostram aumento de matéria orgânica sob cultivo (WHEETING, 1937; DORMAN, 1933). Algumas das razões de tal variabilidade está na dependência das condições iniciais de carbono presentes (MANN,1986; ROBERTSON, 1983), na textura (FOSTER, 1981) e no histórico do uso e manejo (MONREAL e JANSEN, 1993).

Freqüentemente tem sido sugerido que as perdas de matéria orgânica diminuem após um fluxo inicial e eventualmente cessa quando o solo atinge um conteúdo que representa um equilíbrio em relação ao tipo de cultura que está sendo utilizada. Vários pesquisadores tem sugerido que a degradação da matéria orgânica efetivamente cessa após 22 anos de cultivo. CHANG (1950) observou entretanto que as perdas de matéria orgânica podem continuar devido efeitos do vento e erosão hídrica .

De acordo com ROVIRA e GREACEN (1957) o rápido declínio da matéria orgânica na fase inicial de cultivo, se relaciona com a oxidação como resultado do aumento das atividades microbiológicas. Trabalhos recentes tem sugerido que as perdas de matéria orgânica devido a esse mecanismo são pequenas (ROBERTS e CHAN, 1990). Já CHAN e MEAD (1988) atribuíram as perdas em superfície (0-15cm) motivadas por redistribuição da matéria

orgânica em função da inversão do solo devido a aração e MONREAL e JANZEN (1993) associaram, juntamente com esse mecanismo, a erosão e oxidação bioquímica.

TIESSEN et al. (1982) investigaram as perdas de carbono de três solos de diferentes texturas submetidos a diversos anos de cultivo, e chegaram as seguintes conclusões. Nos solos cultivados por quatro anos não ocorreram mudanças significativas nas concentrações de carbono, quando comparados com seus similares sob campo nativo, independente da classe textural. Nos solos cultivados por 60 e 70 anos os conteúdos de carbono decresceu cerca de 35% nos solos de textura argilosa e média-siltosa. Nos de textura média-arenosa os decréscimos foram bem maiores nas concentrações de carbono (46%) e atingiram até o horizonte B. Após 90 anos de cultivo, as perdas só foram verificadas no solo de textura argilosa cerca de 27% para o carbono. De acordo com os resultados obtidos esses autores concluíram que, após prolongados anos de cultivo as perdas de matéria orgânica não parecem ter atingido um equilíbrio. Provavelmente o declínio esteja relacionado a processos erosivos associados com baixos conteúdos de matéria orgânica nos solos.

Os horizontes superficiais são geralmente diferentes dos de subsuperfície em estrutura, textura, pH, matéria orgânica e conteúdo de nutrientes. O cultivo e a erosão resultam em misturas progressivas desses horizontes condicionando mudanças em relação a água, matéria orgânica, mineralogia e suprimento de nutrientes. SCHIMEL et al. (1985) analisaram o impacto do cultivo e erosão na dinâmica do carbono em três toposequências de solos sob pastagem e cultivo, com materiais de origens diferentes. As concentrações de carbono variaram com o material de origem e, declinaram significativamente com o cultivo em todos os solos. As maiores perdas de carbono ocorreram em solos de textura siltosa devido alta proporção em superfície e baixa resistência à erosão. Já nos de textura arenosa e argilosa

as perdas foram menores, porém por razões diferentes. Nos solos de textura arenosa, embora facilmente erodíveis, a distribuição uniforme do carbono com a profundidade refletiu em menores perdas enquanto que os de textura argilosa, mais resistentes à erosão, e possuem maior poder de retenção da matéria orgânica

LEPSCH et al. (1994) comparando solos sob vegetação original de floresta com similares cultivados, constataram perdas de carbono da ordem de 6% para solos argilosos de regime perúdicico e 37% para solos arenosos de regime ústico. Em relação ao cerrado as diferenças não foram significativas.

BAUER e BLACK (1994) sugerem que a diminuição da produtividade resulta do declínio do conteúdo de matéria orgânica associada com as perdas de solo por erosão. ISMAIL et al. (1994) constataram que o decréscimo da matéria orgânica foi provavelmente a mais importante modificação ocorrida nos solos cultivados por eles analisados.

2.3. O emprego da micromorfologia no estudo de solos cultivados

A utilização de métodos micromorfológicos na investigação da influencia do cultivo sobre as propriedades dos solos está se tornando cada vez mais freqüente devido fundamentalmente à possibilidade de estudá-lo em sua condição natural, isto é, com a estrutura preservada que é o grande trunfo dessa técnica. As maiores contribuições tem se dado na pesquisa da estrutura em condições naturais e nas mudanças ocorridas em diferentes sistemas de manejo.

De uma maneira geral por ocasião do cultivo ocorre alteração da pedalidade e rearranjo espacial das partículas contribuindo para decréscimo da porosidade total, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade (LAWS e EVANS, 1949; BOUMA e HOLE, 1971; JONGERIUS, 1982; COLLINS e LARNEY, 1987). Essa alteração é resultante

de distúrbios induzidos por implementos agrícolas através da ruptura dos agregados que adquirem tamanhos e formas irregulares e se apresentam mais empacotados (RUSSELL, 1973 e HADAS et al. 1978).

Assim as diversas operações de preparo do solo promovem estados estruturais diferenciados (CURMI, 1988).

A nova organização resulta em alterações da trama do solo e conseqüentemente na morfologia dos poros. Normalmente a trama dos solos cultivados parece refletir um empilhamento das unidades estruturais de 150 a 200 μm e, as vezes, certa unificação em unidades maiores originando tramas de aparência mais densas que as originais (RUSSELL, 1973 e JONGERIUS, 1982).

Geralmente as tramas grânica e granóidica, que ocorrem nos horizontes superficiais dos solos sob mata, se alteram com o cultivo para porfírica ou frágmica (BREWER e PAWLUK, 1975; JONJERIUS, 1982; KOOISTRA, 1987). Essas tramas por sua vez são novamente modificadas pela aração e gradagem resultando em reorganizações grânicas e granóidicas porém diferentes das originais quanto ao tamanho, forma e arranjo dos agregados (BULLOCK et al. 1985).

Em um solo cultivado por cinquenta anos, PAWLUK (1980) verificou que as práticas de manejo foram responsáveis pela grande variação no tamanho dos agregados. Os torrões, as crostas e os grânulos foram freqüentes e responsáveis pela composição da seqüência grânica-granóidica-porfírica na superfície acompanhada por decréscimo da porosidade a curtas distâncias, e por frágmica-fragnóidica-porfírica em subsuperfície, expressando o empacotamento mais denso das unidades e refletindo condições de compactação. Constatações semelhantes foram observadas por MARTIN et al. (1987) em solo cultivado por 49 anos. A trama grânica e granóidica limitou-se aos 5 cm superficiais como resultado da ação do sistema

radicular; abaixo dessa profundidade predominou a trama porfírica densa com cavidades e fragmóidica devido a coalescência dos agregados.

BLANK e FOSBERG (1989) examinando os efeitos do cultivo nas características micromorfológicas, observaram mudanças da trama somente na camada superficial. A trama granóidica-porfírica substituiu a grânica originalmente predominante, refletindo em redução na macro e microporosidade.

A modificação da trama com o cultivo reflete diretamente na morfologia dos poros. Poros do tipo fendas e cavidades, de diversos tamanhos, geralmente substituem os poros de empilhamento compostos responsáveis pela elevada macroporosidade das áreas de vegetação natural.

PAGLIAI et al. (1984), constataram que a intensidade de cultivo aumentou os poros do tipo fendas e cavidades que se tornaram mais irregulares implicando provavelmente em prejuízos ao desenvolvimento radicular. Em estudos de áreas compactadas, BULLOCK et al. (1985), observaram que os poros de empilhamento e bioporos foram substituídos por fendas ($>60\mu\text{m}$) em situação mais ou menos paralela à superfície, contribuindo para o aparecimento de uma estrutura laminar. Os poros com dimensões inferiores a 6mm não foram afetados.

McKEAGUE et al. (1987) e BLANK e FOSBERG (1989) também constataram essas mudanças onde a predominância de poros do tipo fendas ($<40\mu\text{m}$) e cavidades ($<500\mu\text{m}$) na camada de 0 a 30 cm, refletiu em condição apédica e efêmera distribuição de raízes. Entretanto, PAGLIAI (1987) observou somente poros do tipo fendas na camada de 0 a 6 cm de um solo cultivado. Isso foi atribuído ao efeito do cultivador que contribui para o surgimento de material extremamente fino, o qual é compactado pelo impacto da chuva. Associado a esse fato há de se considerar a textura muito argilosa o que, de acordo com CHEN et al. (1980), facilita a orientação da fração argila e formação de crostas superficiais.

O cultivo de um Oxissol de textura muito argilosa por 6 e 12 anos resultou na formação de camadas com estrutura laminar na superfície com muitas vesículas. A evidência de erosão foi detectada pela presença de camadas de 6cm constituídas de material grosseiro (areia e cascalho) fortemente empilhados e ausência de material fino (plasma). A atividade biológica decresceu, principalmente as espécies capazes de produzir canais de grandes dimensões. Essas condições refletiram na diminuição da infiltração e do crescimento radicular (KOOISTRA et al. 1990). Entretanto, para BRESSON e ZAMBAUX (1990), embora o cultivo tenha provocado decréscimo da macroporosidade a maior parte dos canais de minhocas resistiu à compactação assim como os microagregados embora a trama tenha se tornado mais densa. O aumento do pH e decréscimo da matéria orgânica afetaram a coesão das partículas e alteraram a estrutura plásmica tornando a compactação irreversível.

Além do volume e geometria dos poros a continuidade também é alterada afetando o fluxo de água em profundidade (BOUMA et al. 1977; 1982; 1991). A menor efetividade no movimento da água de um solo cultivado por sete anos foi traduzida não só pela interrupção da continuidade dos poros provocada pela aração, como também pela tortuosidade de suas paredes, principalmente no horizonte superficial, uma vez que definem o fluxo de água. No solo onde a mobilização foi mínima as condições foram opostas (FRANCIS et al., 1988 e SHIPITALO e PROST, 1987).

Vários trabalhos tem enfatizado o aumento da porosidade com o cultivo. Geralmente os poros do tipo cavidades intercomunicantes e aplainados que comumente contribuem para aumentar a porosidade dos solos cultivados, estão relacionados não somente com o tipo de manejo como também com a variabilidade do solo. Esse aumento provavelmente favorece a infiltração da água e aeração do solo (BULLOCK et al. 1985).

ACQUAYE et al. (1992) constataram aumento da porosidade e conseqüentemente da infiltração de água após o cultivo de um solo de textura argilosa. Os poros aplainados e cavidades intercomunicantes de diversos tamanhos e direções foram freqüentes principalmente em subsuperfície. Esse aumento pode ser atribuído, de acordo com BREWER (1976), ao incremento de cálcio em profundidade e aos ciclos de umedecimento e secagem. Em trabalho semelhante desenvolvido por MERMUTH et al. (1992), os poros aplainados (>50mm) tiveram ocorrência diversificada em diferentes profundidades devido à variabilidade espacial do solo que propriamente ao efeito dos diferentes tipos de preparo.

Associado à textura argilosa, NORTON e SCHROEDER (1987), consideraram a introdução de resíduos orgânicos e observaram que nos cinco primeiros anos a porosidade decresceu consideravelmente. De cinco a nove anos aumentou rapidamente estabilizando-se após esse período. O acréscimo da porosidade foi resultante provavelmente da atividade biológica que se tornou mais efetiva após um estágio inicial de consolidação.

Considerando a natureza dinâmica da porosidade, têm-se sugerido amostragens mais freqüentes e por períodos mais longos para sua avaliação (MERMUT et al. 1992).

O uso de fertilizantes também tem efeito nas características micromorfológicas. O emprego da calagem associada com adubação orgânica por vinte e cinco anos melhorou consideravelmente a estrutura de um solo de textura arenosa favorecendo mudanças na trama e conseqüente aumento na microporosidade (BOUMA, 1969 citado por FITZPATRICK, 1984). Observações semelhantes foram feitas por DUTARTRE et al. (1993), em que a adição de fertilizante orgânico favoreceu a cimentação do esqueleto em unidades estruturais originando localmente a trama porfírica. Em um solo de textura argilosa a adição de uréia, amônia e nitrato de cálcio causaram coalescência das unidades estruturais alterando a trama grânica para granóidica e no solo

em que ocorreu maior adição de uréia e nitrato de cálcio a trama frágmica e porfírica predominaram (GOH et al. 1987).

Considerando as alterações do solo motivadas pelo cultivo sob o ponto de vista micromofológico cabe ressaltar que o exame e interpretação das observações numa escala micro deverão sempre serem acompanhados por observações e descrições detalhadas de campo do perfil do solo (CURI et al. 1985).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Seleção das áreas de estudo

Considerando que foram comparadas áreas virgens e cultivadas selecionaram-se locais próximos entre si (Figura 1a) com o ecossistema natural preservado e com o agrossistema cana-de-açúcar estabelecidos em uma mesma classe de solo e pertencentes à mesma classe textural (Tabela 1). Procurou-se selecionar locais e solos os mais representativos das principais regiões canavieiras do Estado de São Paulo (Tabela 2).

3.2. Coleta de amostras

Foram abertas trincheiras com dimensões de 100 x 100 x 150 cm para realização de exame morfológico e coleta de amostras indeformadas para determinação da densidade, curvas de retenção de água e análises micromorfológicas (4 repetições). A amostragem foi realizada entre linhas.

Tabela 1 . Composição granulométrica (%) dos solos estudados.

Solo	Prof. (cm)	Areia Total	Silte	Argila
P1 - LEd textura argilosa (mata)	0-10	57	7	36
	10-20	55	7	38
	20-30	51	7	42
	30-60	48	7	45
	60-100	47	8	45
P2 - LEd textura argilosa (c.planta)	0-10	60	7	33
	10-20	60	6	34
	20-30	58	6	36
	30-60	56	6	38
	60-100	58	5	37
P3 - LEd textura argilosa (c.soca)	0-10	56	7	37
	10-20	55	7	38
	20-30	49	7	44
	30-60	46	7	47
	60-100	46	7	47
P4 - LEa textura argilosa (mata)	0-10	47	7	46
	10-20	45	9	46
	20-30	42	8	50
	30-60	37	9	54
	60-100	35	9	56
P5 - LEd textura argilosa (c.soca)	0-10	35	4	61
	10-20	35	8	57
	20-30	30	10	59
	30-60	30	11	58
	60-100	35	8	57
P6 - LEa textura média- arenosa (mata)	0-10	83	3	14
	10-20	84	2	14
	20-30	82	2	16
	30-60	81	3	16
	60-100	81	2	17
P7 - LEd textura média- arenosa (c.soca)	0-10	79	4	17
	10-20	79	4	17
	20-30	81	4	15
	30-60	81	3	16
	60-100	81	3	16

Tabela 1 . Continuação

Solo	Prof. (cm)	Areia Total	Silte	Argila
P8 - LRd textura m. argilosa (mata)	0-10	19	10	71
	10-20	15	10	75
	20-30	13	10	77
	30-60	11	12	77
	60-100	13	11	76
P9 - LRd textura m. argilosa (c.planta)	0-10	22	12	66
	10-20	19	13	68
	20-30	19	12	69
	30-60	16	12	72
	60-100	16	15	69
P10 - LRd textura m. argilosa (c.soca)	0-10	18	14	68
	10-20	18	14	68
	20-30	17	13	70
	30-60	14	13	73
	60-100	12	12	76
P11 - TEe textura argilosa (mata)	0-10	40	18	42
	10-20	40	16	44
	20-30	32	14	54
	30-60	28	14	58
	60-100	28	14	58
P12 - TEd textura argilosa (c.soca)	0-10	34	13	53
	10-20	33	13	54
	20-30	31	12	57
	30-60	29	13	58
	60-100	30	11	59
P13-AQa textura arenosa (mata)	0-10	84	2	14
	10-20	84	2	14
	20-30	84	2	14
	30-60	83	3	14
	60-100	82	3	15
P14-AQd textura arenosa (c.soca)	0-10	88	2	10
	10-20	86	2	12
	20-30	85	2	13
	30-60	84	2	14
	60-100	84	1	15

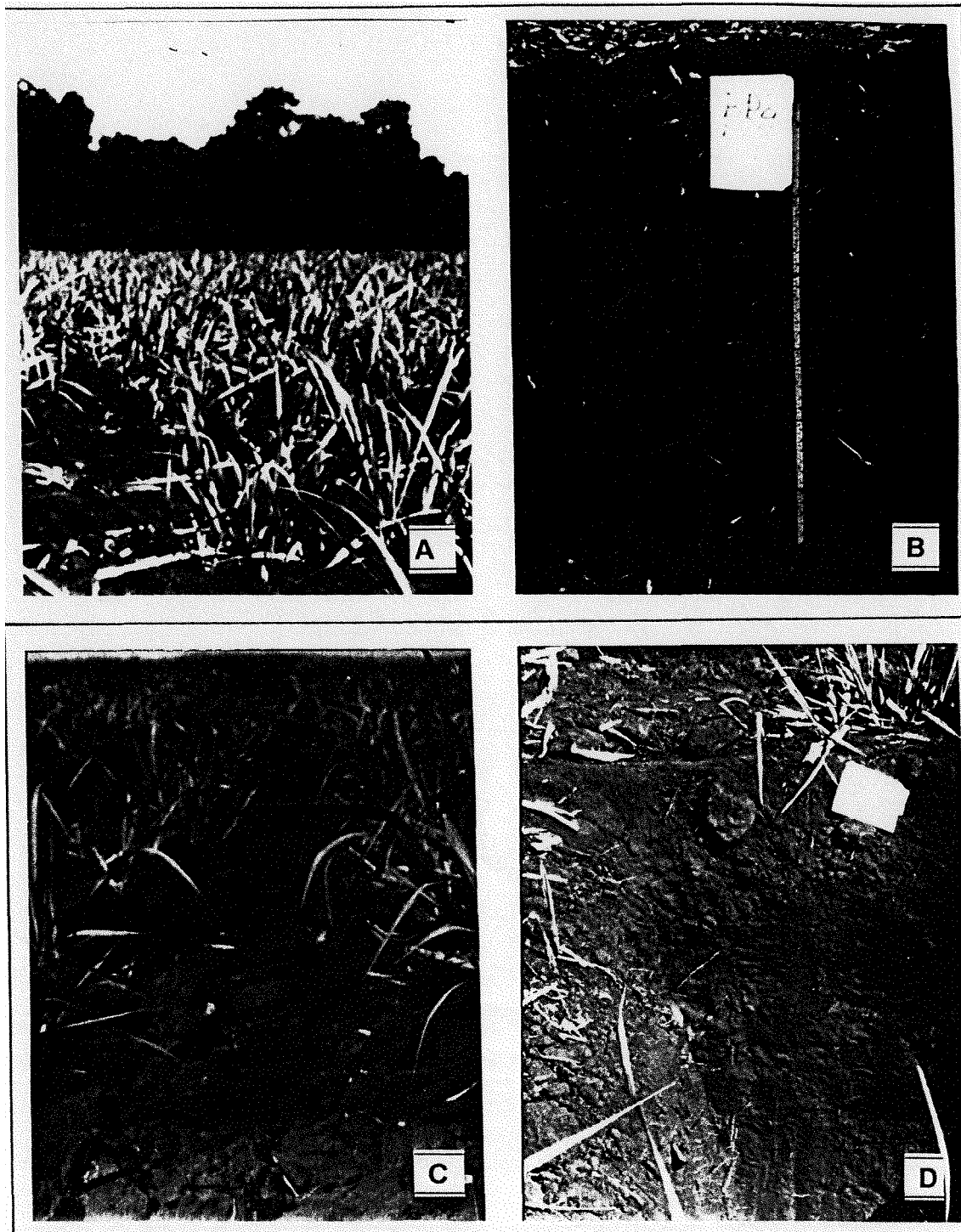


Figura 1a. Representação das condições estudadas. A) Área de mata e cana vizinhas entre si. B) Trincheira sob mata. C) Área de cana soca. D) Trincheira sob cana soca.

3.3. Amostragem para caracterização química e granulométrica

Essa amostragem foi realizada ao redor das trincheiras com auxílio de trado em 5 profundidades (Figura 1b) sendo coletadas 8 amostras compostas por área, correspondentes às profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-100 cm, perfazendo um total de quarenta amostras em cada local.

3.4. Amostragem para análise micromorfológica, densidade e curvas de retenção

Foi feita nas paredes das trincheiras nas mesmas profundidades das amostras coletadas com trado (Figura 1b), de forma a preservar sua condição natural (amostras indeformadas). As amostras para micromorfologia foram retiradas com auxílio de caixa de Kubiena e aquelas para determinação da densidade e curvas de retenção com auxílio de anel volumétrico.

3.5. Procedimentos analíticos de laboratório

3.5.1. Análises químicas

As análises químicas foram feitas segundo as normas indicadas pela EMBRAPA (1979), constando das seguintes determinações:

- pH em CaCl₂;
- cálcio, magnésio, potássio trocáveis;
- fósforo assimilável;
- hidrogênio + alumínio trocáveis;
- carbono orgânico

Micronutrientes: Fe, Cu, Mn, Zn pelo método DTPA.

Tabela 2. Solos, local, uso e manejo das áreas estudadas.

Perfil	Município	Solo	Uso	Manejo
1	Lençóis Paulista	LEd, argiloso	mata primitiva	-
2	Lençóis Paulista	LEd, argiloso	cana planta	18 anos de cultivo Grade pesada Calagem (V%=60%) Subsolagem (50cm) e/ou aração Grade niveladora Plantio/adubação: N-40-60kg/ha P205-100-120kg/ha K ₂ O-120kg/ha Herbicida. Gessagem.
3	Lençóis Paulista	LEd, argiloso	cana soca	21 anos de cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Vinhaça(150m ³ /ha-últimos 12 anos Cultivo-escarificação- 100kg/ha N Herbicida. Gessagem.

Tabela 2. Continuação.

4	Lençóis Paulista	LEa, argiloso	mata primitiva	-
5	Lençóis Paulista	LEd, argiloso	cana soca	30 anos de cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Cultivo/escarificação/adubo Adubo: N-100 kg/ha K ₂ O-120 kg/ha Herbicida. Gessagem
6	Lençóis Paulista	LEa, média	mata primitiva	-
7	Lençóis Paulista	LEd, média	cana soca	12 anos de cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Cultivo/escarificação/adubo Adubo :N-100 kg/ha K ₂ O-120 kg/ha Herbicida. Fosfatagem. Gessagem

Tabela 2. Continuação.

8	Ribeirão Preto	LRd, muito argiloso	mata primitiva	-
9	Ribeirão Preto	LRd, muito argiloso	cana planta	<p>40 anos de cultivo Erradicação soqueira c/grade pesada Calagem (V%=60%) Subsolagem (50cm) Grade intermediária Grade niveladora Plantio Adubo: N-30kg/ha, P2O5-140 kg/ha, K2O-140 kg/ha Herbicida Vinhaça (12 anos)</p>
10	Ribeirão Preto	LRd, muito argiloso	cana soca	<p>40 anos cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Cultivo/escarificação/adubo Adubo : N 100 kg / ha Herbicida Vinhaça 80m³/ha(14 anos)</p>

Tabela 2. Continuação.

11	Barra Bonita	TEe, argilosa	mata primitiva	-
12	Barra Bonita	TEd, argilosa	cana soca	32 anos de cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Cultivo/escarificação/adubo Adubo (10-25cm) : N - 100 kg/ha K2O-120 kg/ha Herbicida
13	São Carlos	AQa	mata primitiva	-
14	São Carlos	AQa	cana soca	12 anos de cultivo Corte/carregamento/transporte Enleiramento palha Cultivo/escarificação/adubo Adubo : (10-25cm) - N - 100kg/ha Herbicida Vinhaça -300m ³ /ha (12 anos)

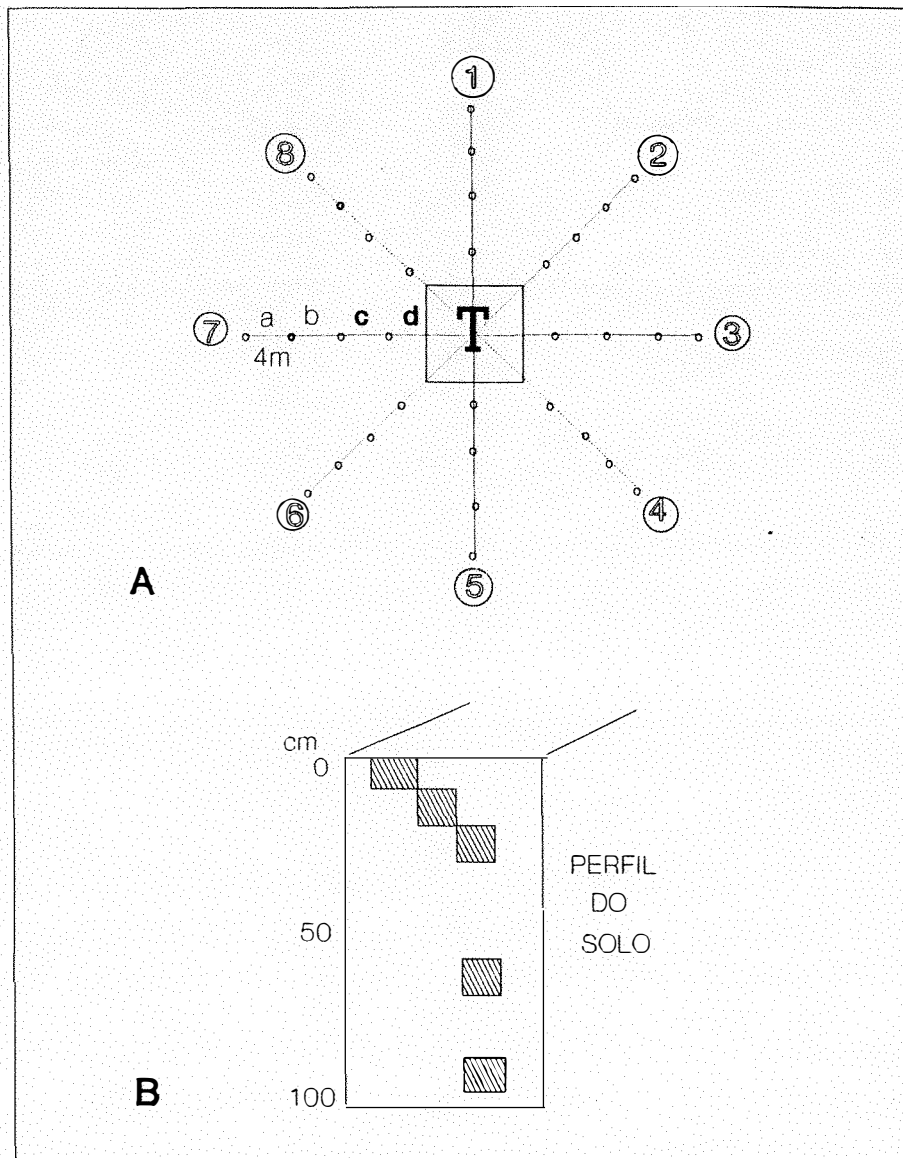


Fig.1b.Esquema de amostragem. A)T=Trincheira,a-b-c-d=amostra simples, 1a8=amostra composta, 4m=distância entre amostras B) Amostras indeformadas para micromorfologia,densidade e umidade.

Ponto de carga zero (PCZ): de acordo com a metodologia empregada por VAN RAIJ e PEECH (1972), através de curvas de titulação potenciométrica (ácido e base) em soluções de CaCl_2 0,01 N e 2N.

3.5.2. Análises físicas

- Densidade do solo (D_s): método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1979);

- Densidade de partículas (D_p): método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1979);

- Granulometria (argila, silte e areia): a argila foi determinada pelo método da pipeta, a areia por peneiramento subdividindo-se em 5 subfrações - areia muito grossa (2-1 mm), areia grossa (1-0,5 mm), areia média (0,5-0,25 mm), areia fina (0,25-0,1 mm) e areia muito fina (0,1-0,05 mm) e o silte por diferença;

- Curvas de retenção de água no solo: as amostras foram submetidas aos potenciais de - 0.001 e - 0.005 MPa em mesa de tensão e - 0.01, - 0.033, - 0.1, - 1.5 MPa em membranas porosas na câmara de pressão de Richards;

- Porosidade total (VTP%): obtida a partir da relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas de acordo com a equação

$$\text{VTP}\% = 100 (D_p - D_s) / D_p$$

- Microporosidade (M_i %): foi considerada como a água retida a potencial de - 0.01 MPa;

- Macroporosidade (M_a %): obtida pela diferença entre a porosidade total (VTP%) e a água retida ao potencial de - 0.01 MPa (M_i %);

- Água disponível (AD%): obtida pela diferença no conteúdo de água retida entre os potenciais - 0.01 MPa e - 1.5 MPa;
- Diâmetro cilíndrico equivalente (DEC): estimado pelo emprego da equação sugerida por MARSHALL e HOLMES (1979).

3.5.3. Análise micromorfológica

Foi realizada em microscópio petrográfico em seções delgadas (lâminas) obtidas a partir de amostras indeformadas impregnadas com resina poliéster (CASTRO,1985). A nomenclatura utilizada baseou-se em BREWER (1976) e CURI et al. (1985).

Imagens de fotomicrografias das seções delgadas foram obtidas através de "scanner". Utilizando-se de um programa gráfico o esqueleto representado pelos grãos de quartzo foi enegrecido de forma a não confundir com o espaço poroso de coloração clara. Assim tratadas as imagens apresentavam regiões claras, representadas pelos poros, e setores escuros evidenciando a porção sólida.

A avaliação da porosidade foi feita pelo emprego do programa PCXAREA para microcomputador de autoria de Q. De Jong Van Lier.

3.5.4. Análise mineralógica e isotópica

A análise mineralógica da fração argila foi realizada por difratometria de raios-X em amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm e preparadas segundo as indicações de CAMARGO et al.(1986).

A abundância natural em carbono 13 foi determinada nas mesmas amostras usadas para as análises químicas (0-20 cm) utilizando-se

espectrômetro de massa segundo os procedimentos adotados pela Seção de Hidrologia do CENA/USP e expressa em unidades Delta ^{13}C (Delta ^{13}C ‰). As porcentagens de carbono derivado da mata e da cana foram obtidas através das equações sugeridas por CERRI (1986).

3.5.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Morfologia dos solos

Morfologicamente foram notadas diferenças marcantes entre os perfis sob mata e cultivados. As características que mais chamaram atenção foram aquelas ligadas à estrutura, porosidade, consistência e distribuição de raízes (Figuras 2,3 e 4).

No tocante à estrutura notou-se nas áreas cultivadas que os perfis apresentavam nos horizontes superficiais duas condições bem distintas: a porção mais superficial normalmente entre 0 - 10 cm mostrava uma estrutura granular moderada a fortemente desenvolvida o que pode ser atribuída ao efeito do sistema radicular da cana-de-açúcar. Abaixo dessa profundidade - entre 10 - 20 cm - encontrou-se material maciço que ao se quebrar desfazia-se em torrões predominantemente angulares de tamanhos variáveis e pouca terra fina. Essas condições foram observadas com maior intensidade nos solos de textura argilosa (P3,P5). Nos demais solos essas condições foram igualmente notadas, porém em grau menor (P7, P9, P10, P12, P14). Nas áreas de mata os horizontes superficiais apresentavam uma estrutura moderada a fortemente desenvolvida com exceção dos solos mais arenosos (P6 e P13).

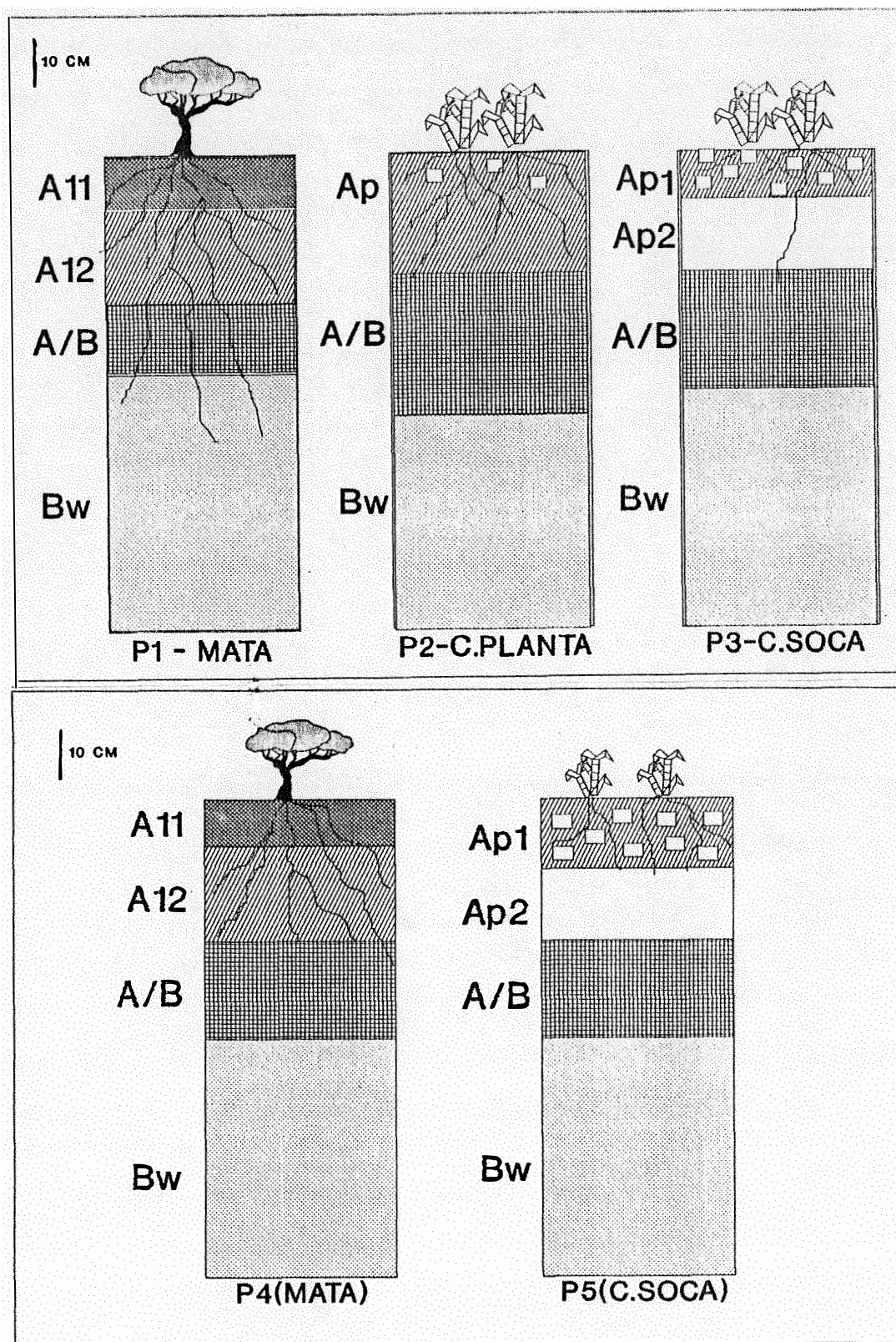


Figura 2. Representação esquemática da morfologia do LE textura argilosa.

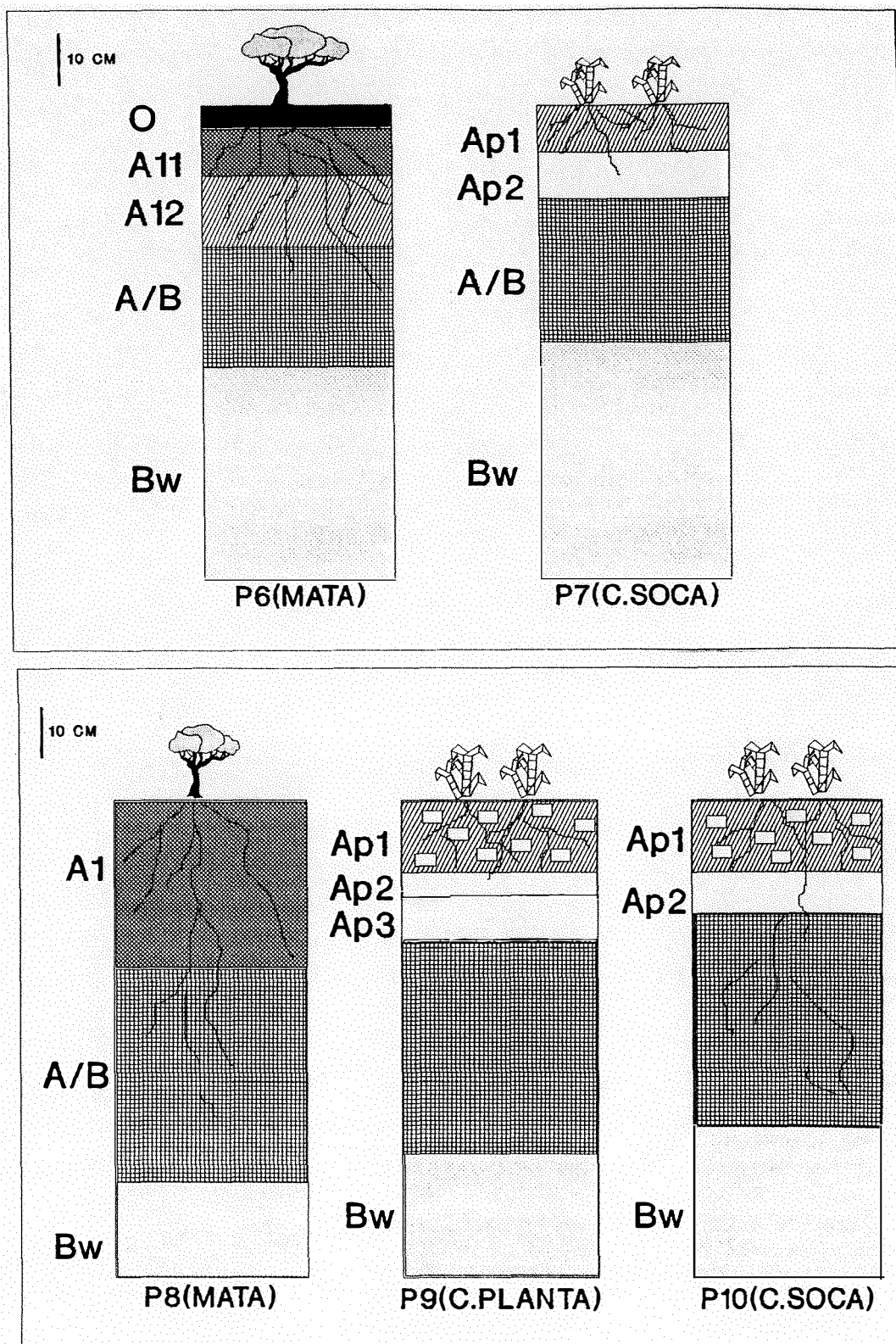


Figura 3. Representação esquemática da morfologia do LE textura média arenosa e LR textura muito argilosa.

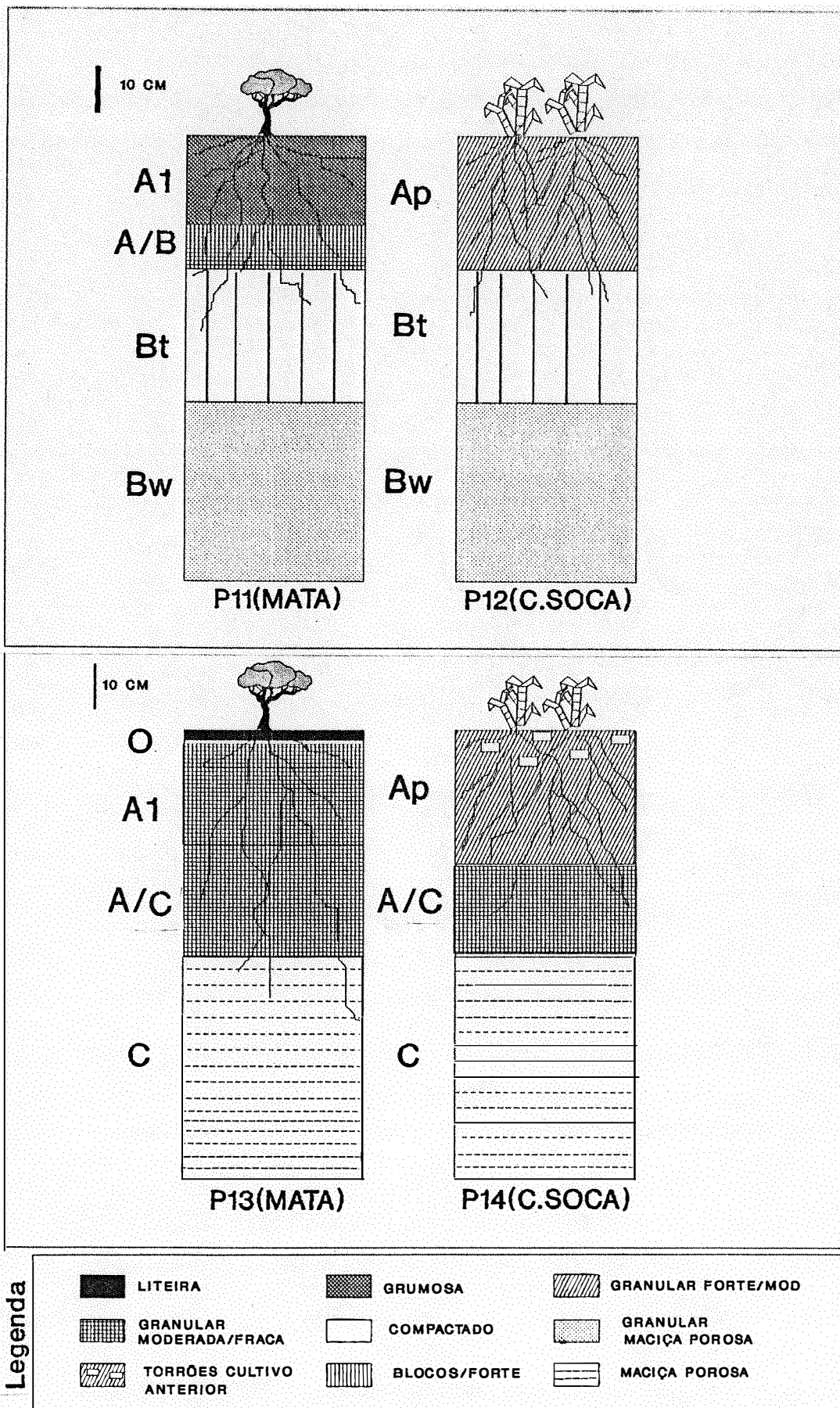


Figura 4. Representação esquemática da morfologia da TE e AQ.

Encontrou-se, ainda, com muita freqüência, na superfície dos solos argilosos e muito argilosos, torrões soltos de tamanho variável e de consistência dura, remanescentes de camadas compactadas desfeitas pela ação de subsolagens anteriores.

Nessas camadas maciças ficava evidente a redução na macroporosidade ao se comparar com a mesma profundidade no solo similar sob mata. Da mesma forma pode-se dizer em relação a consistência a seco que se revelava dura demonstrando compactação.

A distribuição de raízes ao longo do perfil nas áreas cultivadas mostrava tendência a uma disposição horizontal de parte do sistema radicular localizada acima das camadas compactadas. Nas poucas fissuras existentes, raras raízes foram observadas e mostravam, a um exame mais detalhado, serem mais finas e achatadas. A partir dessas camadas novamente se encontrava uma maior quantidade de raízes com aspecto normal. Cabe destacar, ainda, que essas condições também foram mais intensas em solos de textura argilosa. É importante salientar também que o sistema radicular, independentemente do solo considerado, era mais abundante na linha da planta, enquanto que nas entrelinhas tornava-se mais escasso o que foi atribuído a uma maior compactação dessas zonas pelo tráfego agrícola.

4.2. Características físicas

4.2.1. Densidade do solo

O cultivo influenciou a variação da densidade até a profundidade de 100 cm porém com magnitude bem inferior àquela das camadas superficiais (0-10

e 10-20 cm) conforme Tabela 3. Essa variação da densidade não foi significativa com exceção do P5. Constatações semelhantes foram também verificadas por BLEVINS et al. (1983), VAN DOREN et al. (1983) e SHEAR e MOSCHLER (1969) em solos intensamente cultivados.

Considerando a textura dos solos estudados verifica-se que os valores de densidade nos solos de textura argilosa (P2, P3, P5, P12) foram acrescidos de 7 a 11% com o cultivo até a profundidade de 20cm.

Ao se considerar o nível crítico de 10% como condição mínima para aeração de solo (GREENLAND,1981), verifica-se que, para os solos argilosos do presente estudo, a densidade deverá ser inferior a $1,63 \text{ g/cm}^3$ (Figura 5). Assim, os perfis P2, P3, P5 mostram, na profundidade de 10 a 20 cm, condições pouco favoráveis e até mesmo severas ao desenvolvimento radicular. Nessa profundidade foi observada, na análise macromorfológica, material maciço e menor concentração de raízes. Nas observações micromorfológicas verificaram-se canais orientados preferencialmente no sentido horizontal e oblíquo, e raízes tortuosas preenchendo todo o diâmetro dos poucos poros presentes.

Nos solos de textura média-arenosa (P7) e arenosa (P14) os valores foram de 18 a 22% superiores às condições originais até 20cm sendo, entretanto, inferiores ao valor ($1,81 \text{ g/cm}^3$) obtido por VEPRASKAS (1988) e VEIHMEYER e HENDRICKSON (1948) em solos de textura franco-arenosa e arenosa, que consideraram crítico pelo fato de não terem observado a presença de raízes. Tanto na macro como na micromorfologia constatou-se presença de raízes, porém em menor quantidade que as demais camadas.

Tabela 3. Valores de densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporos dos solos cultivados e sob mata

Prof.	Densidade do solo	Poros totais	Macroporos	Microporos
(cm)	(g/cm ³)	%		
P1 - Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (mata)				
0-10	1,30a	45a	26	19
10-20	1,51a	30a	12	18
60-100	1,36a	36a	16	20
P2 - Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso(cana planta)				
0-10	1,37a	37a	21	16
10-20	1,66a	24a	7	17
60-100	1,52a	35a	20	15
P3 - Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana-soca)				
0-10	1,46a	36a	16	20
10-20	1,71a	23a	8	15
60-100	1,44a	35a	18	17
P4 - Latossolo Vermelho Escuro álico argiloso (mata)				
0-10	1,39a	44a	22	22
10-20	1,50a	39b	20	19
60-100	1,30b	42a	19	23
P5 - Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,60b	34c	13	21
10-20	1,68b	31c	9	22
60-100	1,18c	45a	19	26
P6 - Latossolo Vermelho Escuro álico média-arenosa (mata)				
0-10	1,45a	35a	28	7
10-20	1,47a	34a	27	7
60-100	1,53a	29a	22	7
P7 - Latossolo Vermelho Escuro distrófico média-arenosa (cana-soca)				
0-10	1,65a	28b	17	11
10-20	1,79a	23b	13	10
60-100	1,63a	29a	19	10

Tabela 3. Continuação

Prof.	Densidade do solo	Poros totais	Macroporos	Microporos
(cm)	(g/cm ³)	%		
P8 - Latossolo Roxo distrófico m.argiloso (mata)				
0-10	1,14a	54a	19	35
10-20	1,21a	53a	23	30
60-100	1,17a	53a	20	33
P9 - Latossolo Roxo distrófico m.argiloso (cana planta)				
0-10	1,20a	53a	18	35
10-20	1,36a	48a	16	32
60-100	1,20a	51a	19	32
P10 - Latossolo Roxo distrófico m.argiloso (cana-soca)				
0-10	1,20a	52a	12	40
10-20	1,30a	48a	12	36
60-100	1,14a	49a	16	33
P11 - Terra Roxa Estruturada eutrófica argilosa (mata)				
0-10	1,30a	47a	24	23
10-20	1,53a	38a	18	20
60-100	1,11a	53c	29	24
P12 - Terra Roxa Estruturada distrófica argilosa (cana soca)				
0-10	1,45a	39a	13	26
10-20	1,64a	31b	9	22
60-100	1,21a	48c	22	26
P13 - Areia Quartzosa álica (mata)				
0-10	1,28a	48a	38	10
10-20	1,41a	38a	29	9
60-100	1,45a	38a	30	8
P14 - Areia Quartzosa distrófica (cana-soca)				
0-10	1,51a	39a	30	9
10-20	1,56a	31a	22	9
60-100	1,43a	39a	30	9

Médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey(na vertical). Não foi feita análise estatística para macroporos e microporos.

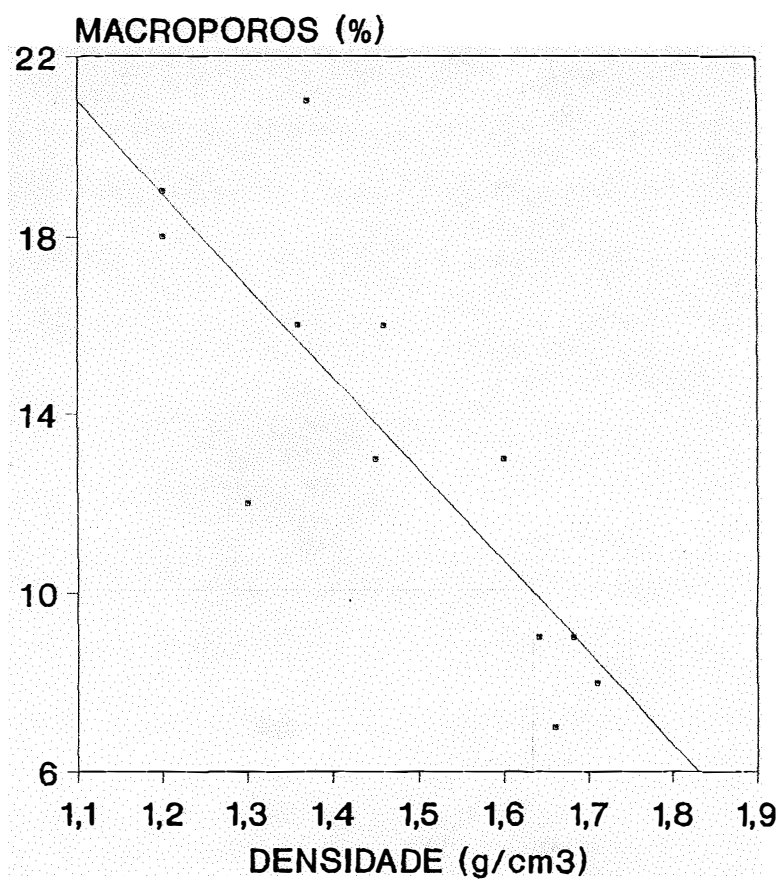


Figura 5. Relação entre densidade e macroporosidade nos solos de textura argilosa (profundidade 0-20 cm).

Verificou-se, ainda, na análise micromorfológica menor quantidade de poros devido a maior proximidade do esqueleto (grãos de quartzo).

No solo de textura muito argilosa (P9 e P10) os valores foram de 5 a 7% superiores no solo cultivado. Nesses solos a densidade foi inferior comparativamente aos demais solos estudados. Na profundidade de 10 a 20cm, as densidades foram superiores àquelas das condições originais, sem atingir contudo valores acima de $1,45 \text{ g/cm}^3$, considerado como desfavorável à penetração de raízes de acordo com VEIHMEYER e HENDRICKSON (1948). Como se verificou em observações microscópicas, a coalescência dos microagregados contribuiu para a redução do tamanho e quantidade dos poros influenciando no aumento da densidade.

Dentre os mecanismos responsáveis pelo aumento da densidade nos solos estudados, embora estatisticamente não significativo, pode-se destacar, provavelmente como a principal causa, a pressão exercida pelos implementos agrícolas e tráfego de veículos como constatado também em solos cultivados estudados por HAMMEL (1989), ONOFIOK (1988), CARTER (1987) e CASSEL (1983). De acordo com LAWS e EVANS (1949) essas condições provocam um decréscimo dos poros maiores que $60 \mu\text{m}$ o que contribui para que ocorra uma elevação nos valores de densidade do solo. A correlação negativa da densidade com o carbono ($r=-0,65$) evidenciou que a perda de matéria orgânica nos solos cultivados (Tabela 4), é igualmente um fator que contribuiu para a desestabilização dos agregados e conseqüentemente favoreceu o aumento da densidade conforme também verificado por BAUER e BLACK (1981), HARRIS et al., (1965) e EMERSON (1959). O decréscimo na população da fauna, evidenciado pela acentuada redução de canais - pedotúbulos - com o

cultivo, certamente contribuiu, juntamente com os mecanismos já citados, para uma redução no volume dos poros e aumento da densidade, fato observado em solos cultivados por BLANK e FOSBERG (1989), EHLERS (1975) e DOUGLAS et al. (1975).

Na profundidade de 60-100 cm os valores de densidade estão abaixo dos níveis críticos estabelecidos na literatura em função da textura dos solos estudados e praticamente pouco acima dos valores encontrados nas condições originais. Conclui-se, portanto, que essa profundidade praticamente não foi afetada pelo cultivo, como pode também ser constatado através da análise micromorfológica, uma vez que as diferenças comparativamente às condições iniciais foram pouco expressivas

De acordo com os valores obtidos nos solos cultivados há de se considerar o local da amostragem realizada - entrelinhas - visto que valores inferiores poderão ser obtidos quando as amostragens se fizerem nas linhas, como salientado por ONOFIOK(1988) e GILL e VANDENBERG (1968). Através das observações macromorfológicas, isso pode ser confirmado, visto que nas linhas o sistema radicular se apresentava mais exuberante.

4.2.2. Porosidade

O cultivo foi determinante na alteração da porosidade principalmente na profundidade de 0-20 cm. Como se verifica na Tabela 3, o cultivo ocasionou uma redução de 14 a 32 % da porosidade total nos solos de textura argilosa (P2,P3,P5,P12), média arenosa (P7) e arenosa (P14), porém significativa somente no P5, P7 e P12. A magnitude da redução do volume de poros totais

foi maior que a magnitude de aumento da densidade . Isso significa que o cultivo teve maior efeito sobre a porosidade conforme constatado também por ONOFIOK (1988).

No solo de textura muito argilosa (P9,P10) o volume de poros totais decresceu de 4 a 9% nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.

Essas alterações na porosidade total refletiram no aumento da densidade (Figura 6) e no decréscimo da retenção de água desses solos (Figuras 13 a 18).

O valor médio da macroporosidade ou poros de aeração ($>30\mu\text{m}$) nos solos cultivados variou de um mínimo de 7% a um máximo de 30 % até a profundidade de 0-20 cm (Tabela 3). Considerando os valores originais, o cultivo reduziu a macroporosidade a valores que variaram de 5 a 52%. De acordo com HANKANSSON et al. (1988) baixos valores de macroporosidade poderão imprimir condições anaeróbicas o que implicaria na diminuição da eficiência dos fertilizantes nitrogenados. Para CARTER (1990), os decréscimos na macroporosidade caracterizam bem os efeitos da compactação sobre a estrutura do solo, o que pode ser constatado ao se examinar a densidade dos solos em estudo. Também BOUMA (1982), salientou a importância da continuidade dos macroporos sobre sua quantidade. Essa continuidade, entretanto, em cultivos intensivos, como é o caso em questão, é suscetível aos efeitos do tráfego. As alterações na quantidade e forma dos macroporos ficaram bem evidenciadas nas seções delgadas e podem ser observadas através das fotomicrografias (Figuras 40 a 45).

As reduções mais acentuadas foram observadas nos solos de textura argilosa e na profundidade de 10-20 cm, onde os macroporos (Tabela 3)

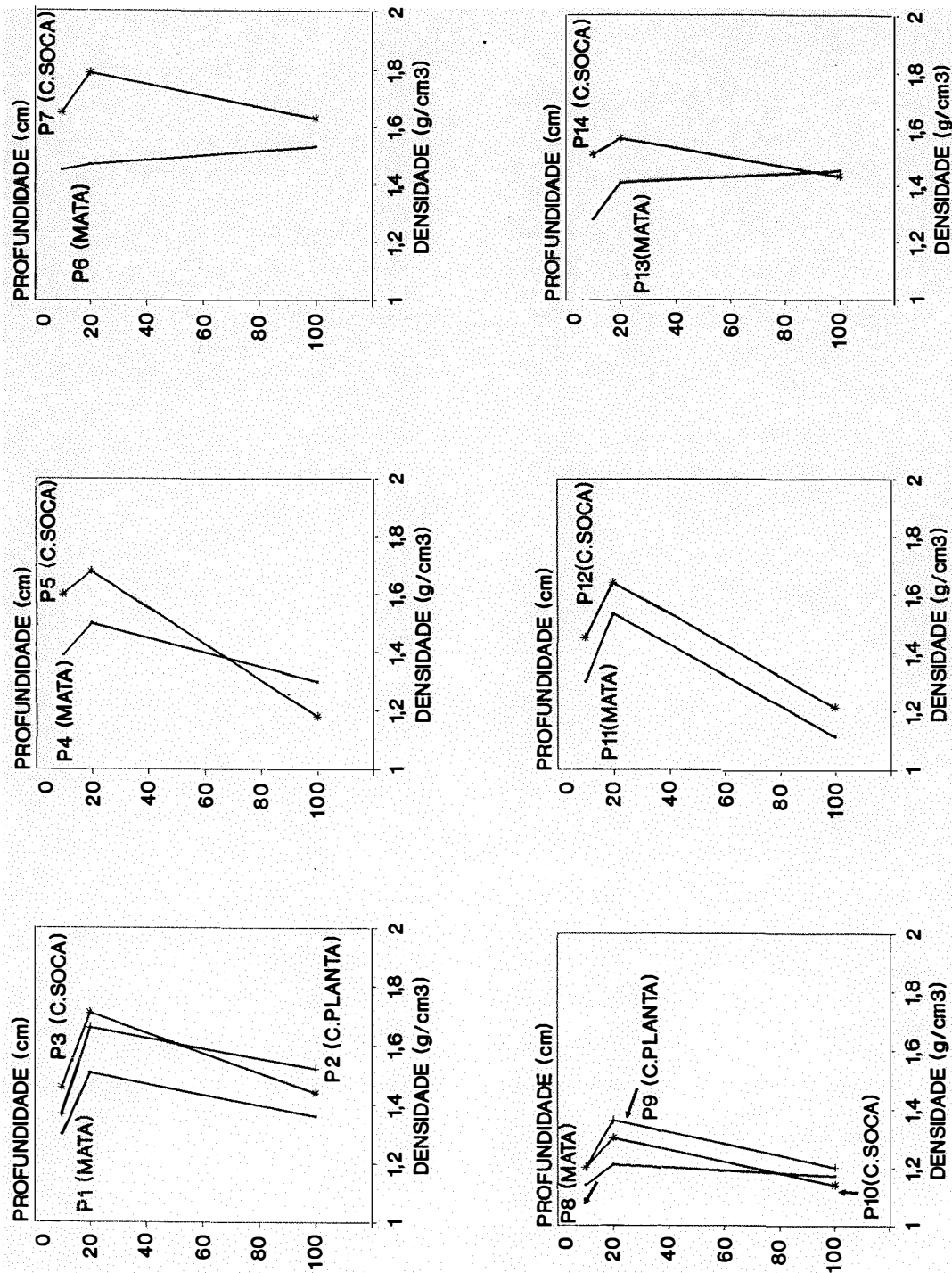


Figura 6. Densidade dos solos sob mata e cultivados.

situam-se abaixo das taxas aceitáveis - 9 e 10 % - e difusão gasosa consideradas adequadas para o funcionamento normal das raízes da cana-de-açúcar de acordo com ROBINSON (1964) e SCARSBROOK et al. (1952). Nessa profundidade, foi observado através da análise micromorfológica condição apédica e, localmente, fendas orientadas no sentido horizontal.

As menores reduções foram verificadas no solo textura muito argilosa (P9, P10) provavelmente relacionadas a uma menor modificação na morfologia dos agregados que continuam exibindo formas subarredondadas entretanto de dimensões menores que as originais e presença nítida da atividade da fauna, principalmente galerias de formigas e cupins considerados importantes na gênese de macroporos conforme colocação de RUSSELL (1973).

A microporosidade (Tabela 3) não teve alterações tão acentuadas como a macroporosidade e também não evidenciou um comportamento definido. Na maioria dos solos ocorreram aumento da microporosidade - 5 a 17% - considerando a profundidade de 0 a 20 cm. Em alguns solos ocorreram reduções, às vezes na profundidade de 10 a 20cm (7%), ou de 0 a 10cm (5 a 10%). Isso, de maneira geral, evidencia que o cultivo teve um efeito mais drástico sobre a macroporosidade em relação a microporosidade como foi notado por ONOFIOK (1988), uma vez que os macroporos são bastante sensíveis às cargas aplicadas ao solo (GUPTA, 1988; CARTER, 1988; CURRIE, 1984).

Na profundidade de 60-100 cm a redução da macroporosidade e microporosidade foram consideravelmente menores em relação às camadas superiores.

Em relação aos poros com diâmetro equivalente cilíndrico (DEC), nota-se a seguinte tendência (Figuras 7 a 12): na maioria dos perfis de mata na profundidade de 0-10 cm, o DEC, na faixa de 60-300 μm , é maior do que nos perfis cultivados. Na cana planta o DEC é maior que na cana soca. Na camada de 10-20 cm a tendência do DEC é a mesma porém com menor percentual. Na profundidade de 60-100 cm praticamente não ocorreram alterações significativas. As modificações no DEC estão relacionadas às atividades agrícolas. Após a remoção da mata a tendência do DEC é decrescer na faixa de 60-300 μm . Com o novo plantio, devido às operações de gradeação e aração há aumento desses poros tendendo a se aproximar do valor original da mata. Com as operações de colheita e cultivo da cana soca esta porosidade tende a diminuir quando comparado com a cana planta e a mata. A redução é muito variável chegando a mais de 50% (Perfil 5) ou a menores reduções como no perfil 14 (AQ).

Essas modificações no DEC são muito dinâmicas, com sensíveis prejuízos não necessariamente à cana planta mas sim à cana soca. Os poros com DEC de 3-30 μm (0-10 cm) a tendência parece ser inversa com exceção dos perfis 5 e 12. A maior ocorrência desses poros nos solos cultivados foi provavelmente responsável pelo aumento da água disponível, uma vez que segundo MARSHALL e HOLMES (1977), os mesmos são responsáveis pela retenção de água no solo.

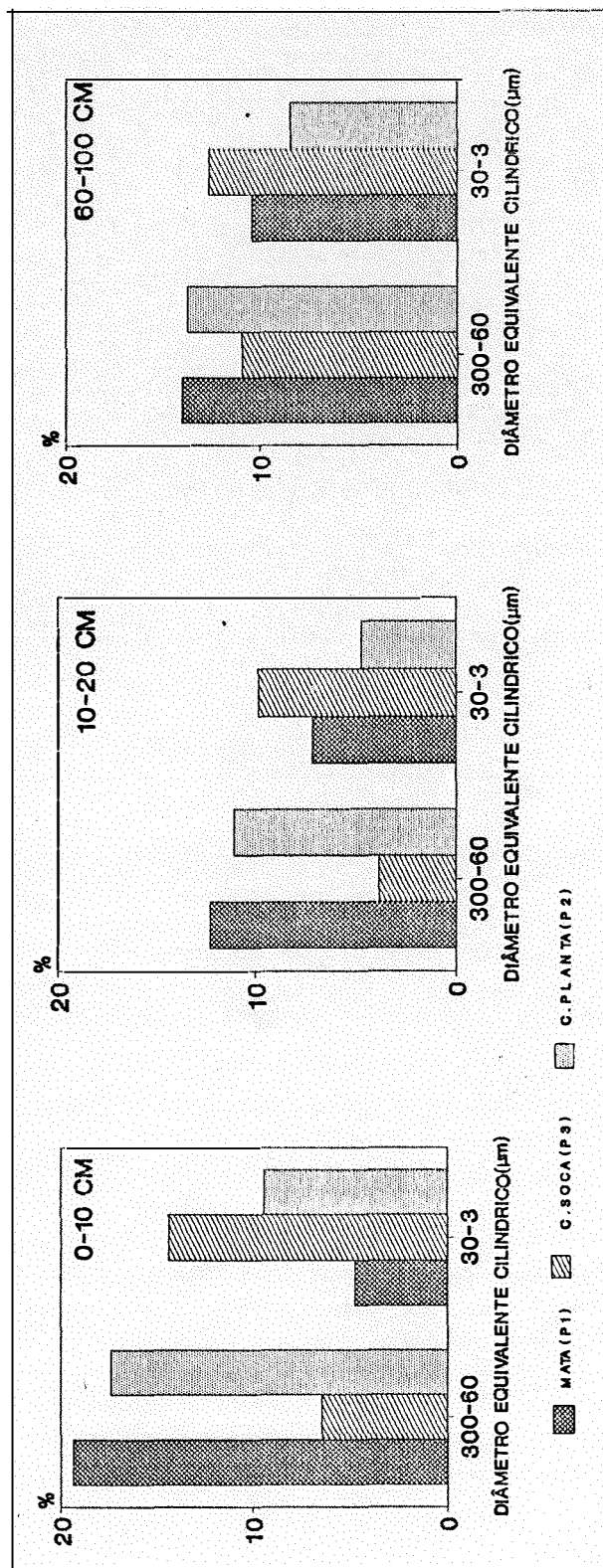


Figura 7. Diâmetro dos poros - LE-argiloso

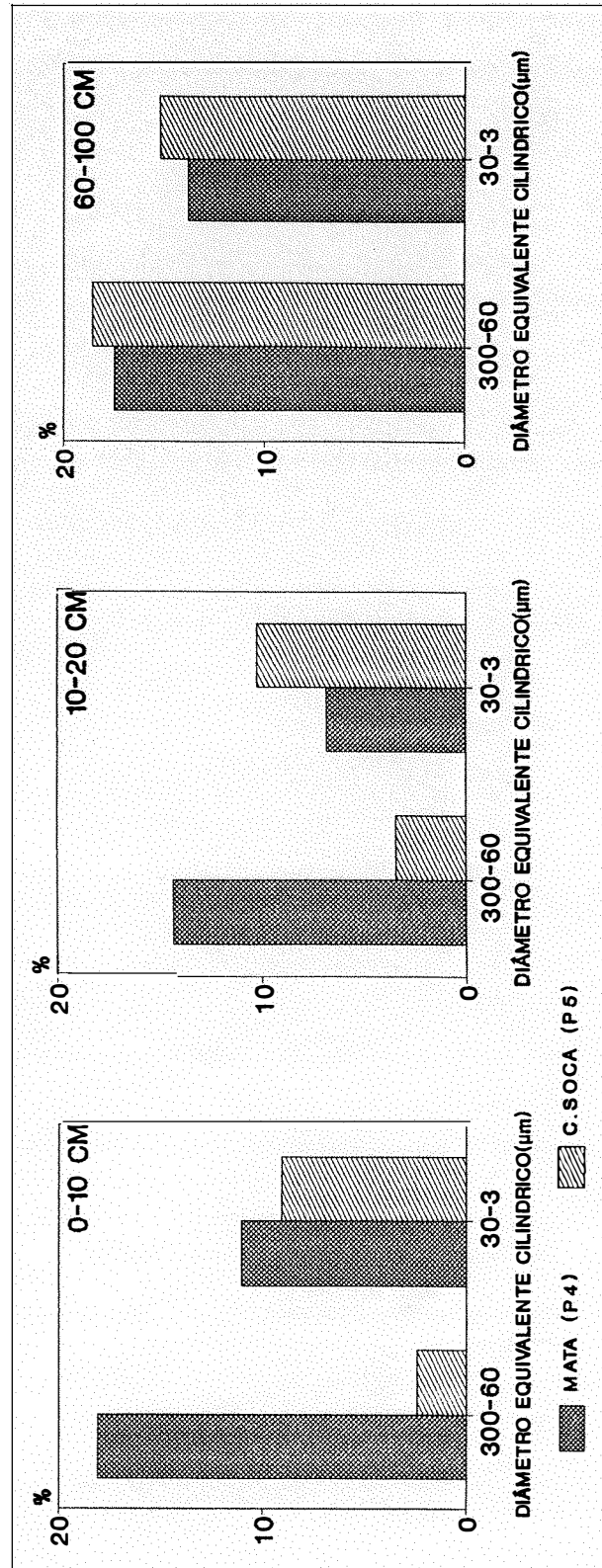


Figura 8. Diâmetro dos poros - LE-argiloso

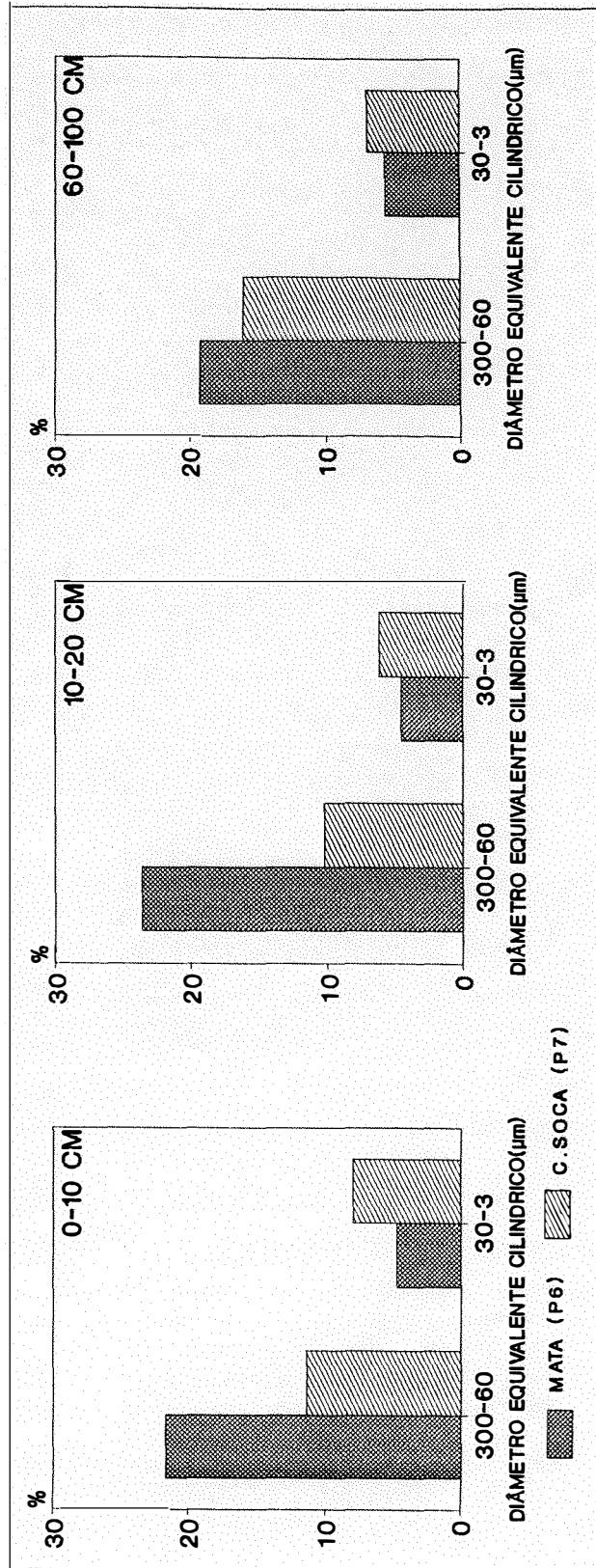


Figura 9. Diâmetro dos poros - LE-média-arenosa.

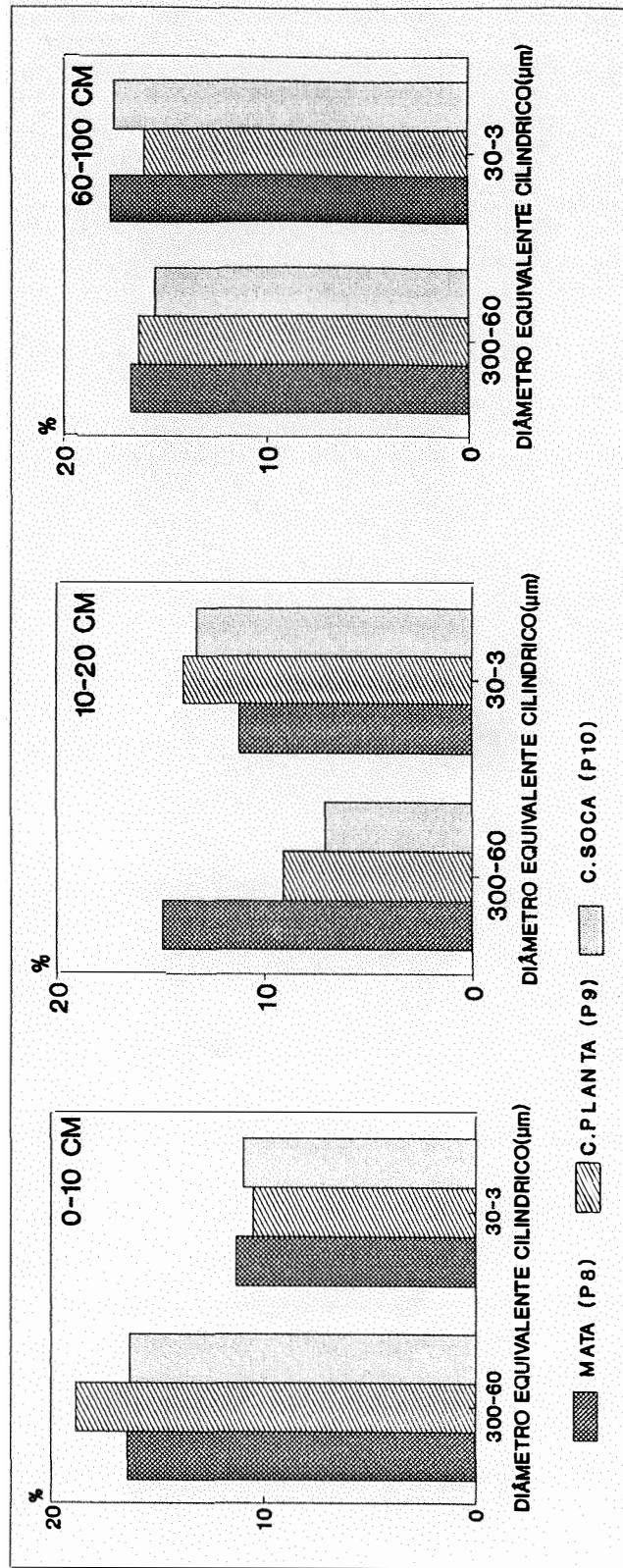


Figura 10. Diâmetro de poros - LR-m.argiloso.

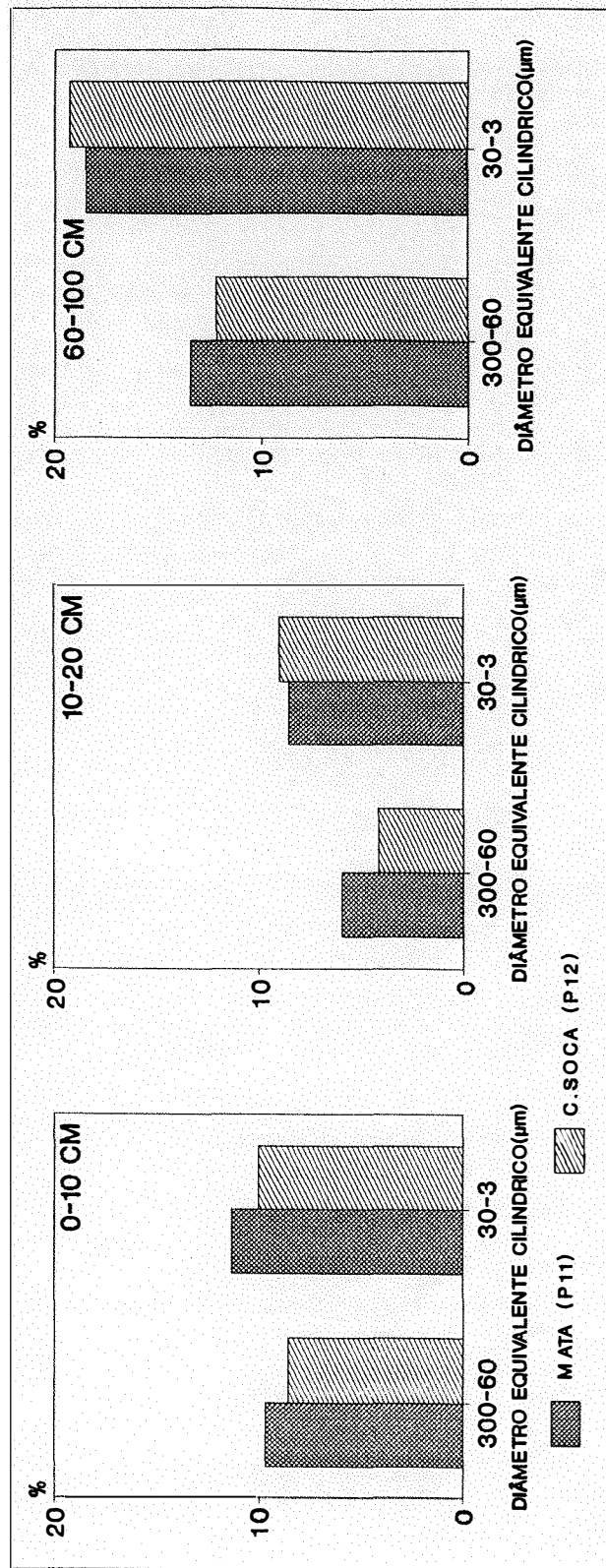


Figura 11. Diâmetro dos poros - TE-argiloso.

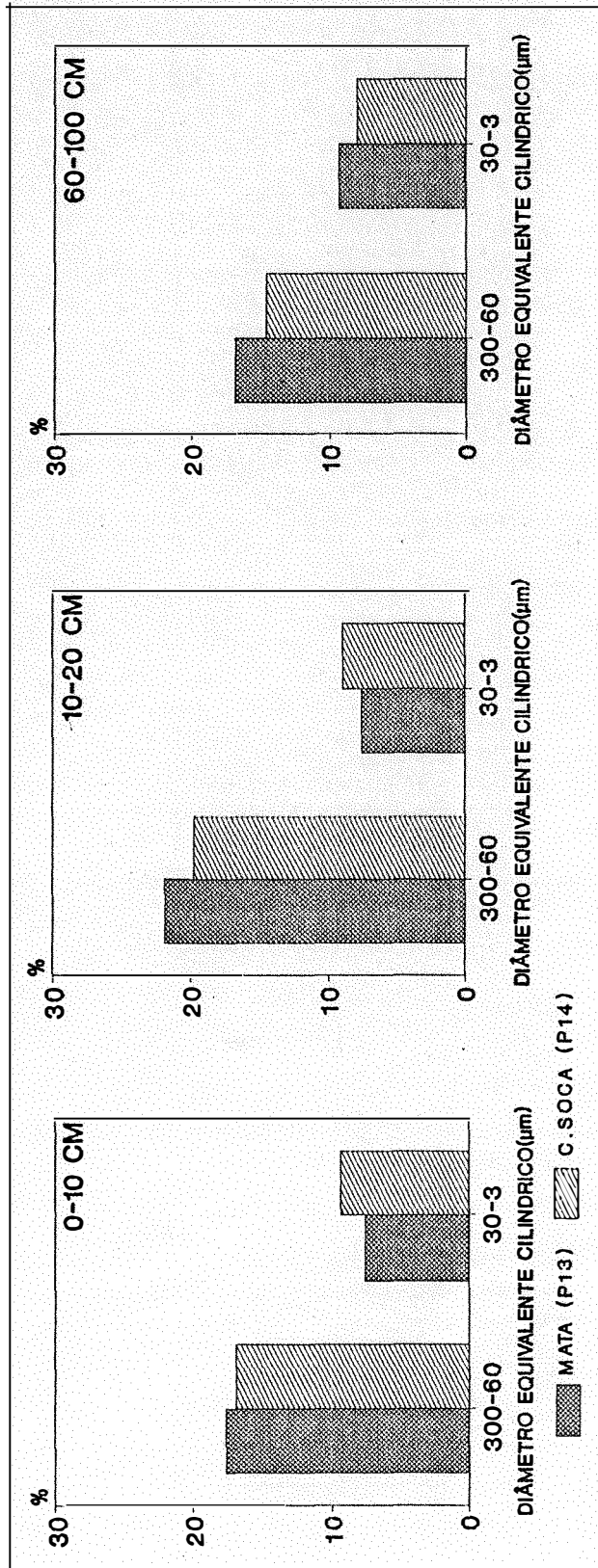


Figura 12. Diâmetro dos poros - AQ.

4.2.3. Retenção de água

As Figuras 13 a 18 mostram as curvas de retenção de água nas profundidades de 0-10, 10-20, 60-100 cm.

De maneira geral a análise dessas curvas evidencia que, nos solos onde os teores de argila são baixos - <17% - (Figuras 15 e 18), elas apresentam uma queda acentuada entre de -0.001 e -0.01MPa e a partir desse potencial mantém-se praticamente retas. Nos solos onde tem-se argila >35% (Figuras 13,14,16 e 17), as curvas mostram um decréscimo gradual, demonstrando a influência da textura. Entretanto, quando se comparam os solos cultivados com seus similares sob mata, logo com textura semelhante, também se nota diferença entre as curvas o que, nesse caso, é devido a uma condição estrutural distinta provocada pelas atividades agrícolas. Constatações semelhantes foram feitas por SHARMA e UEHARA (1968), CAGAUAM e UEHARA (1965) ao compararem áreas cultivadas e virgens com diferentes texturas.

De acordo com CAMBIER e PROST(1981), SHARMA e UEHARA(1968), até -0.01MPa são drenados os poros interagregados e a partir desse potencial a água retida está nos poros intragregados. Baseando-se nessa afirmação verifica-se que as maiores diferenças na retenção de água entre os solos cultivados e sob mata foram observadas a baixos potenciais (-0.01MPa) e até a profundidade de 20 cm, nos solos de textura argilosa e arenosa. No ponto de saturação desses solos houve decréscimos que variaram de 2 a 40% no

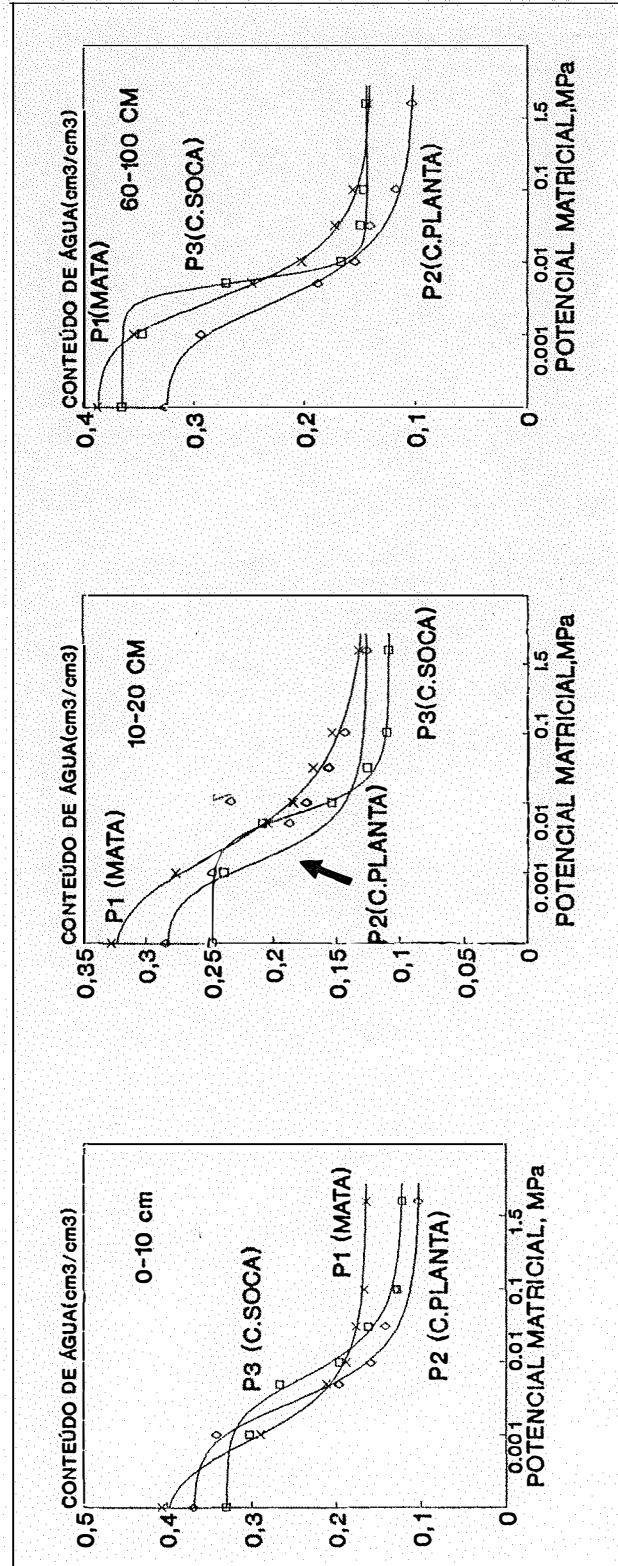


Fig.13. Curvas de retenção de água do LE argiloso (P1,P2,P3)

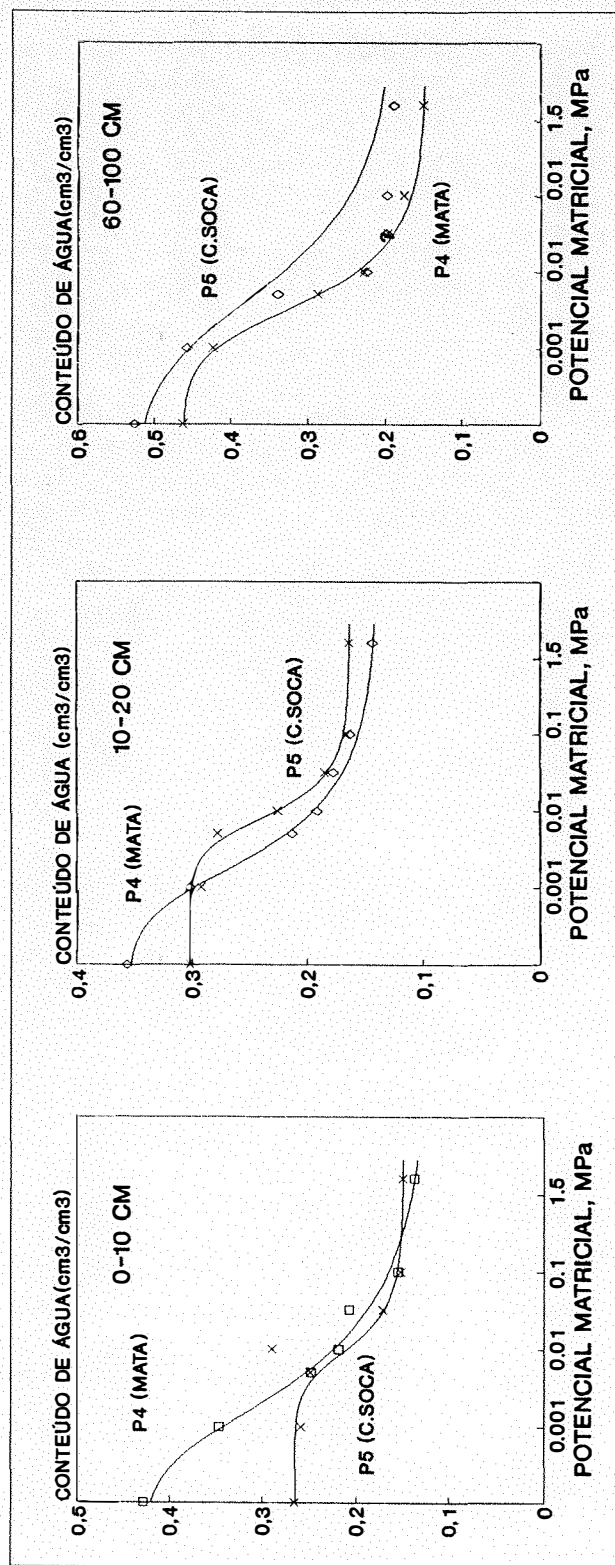


Fig.14. Curvas de retenção de água do LE argiloso (P4,P5).

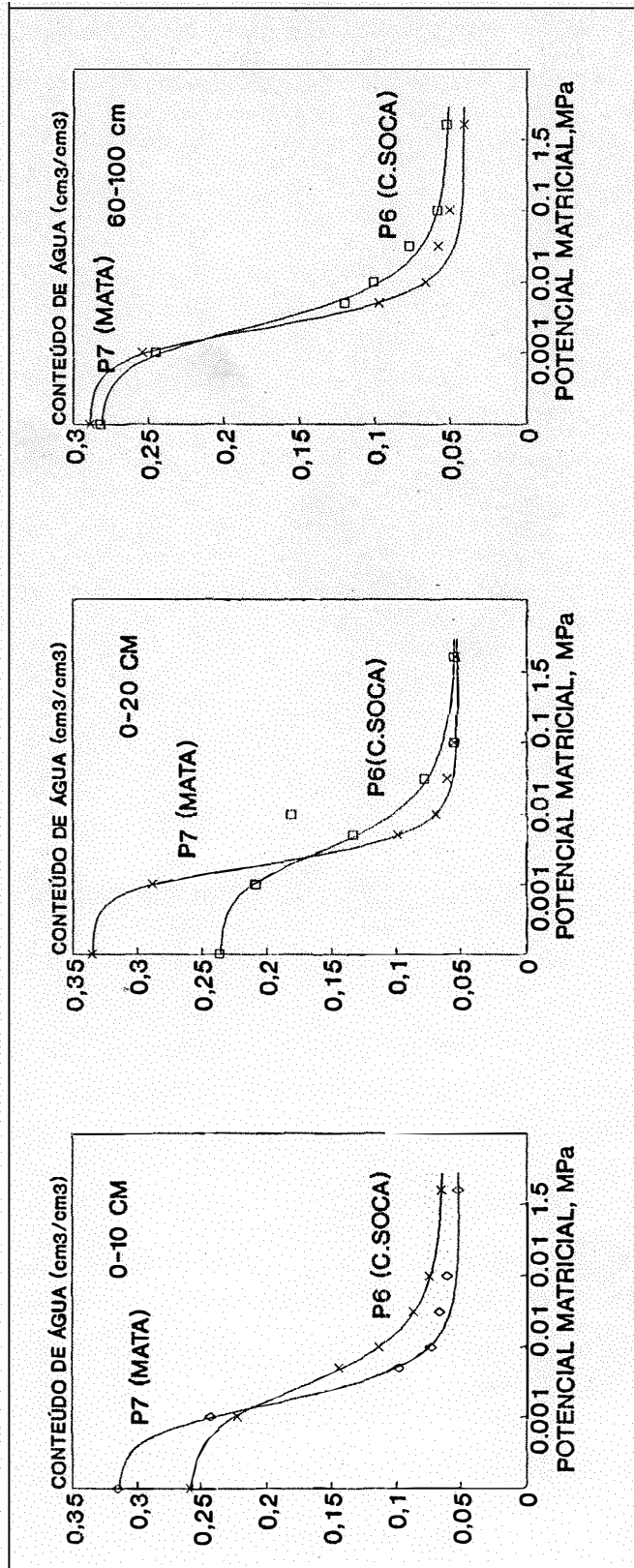


Fig.15. Curvas de retenção de água do LE média-arenosa (P6, P7)

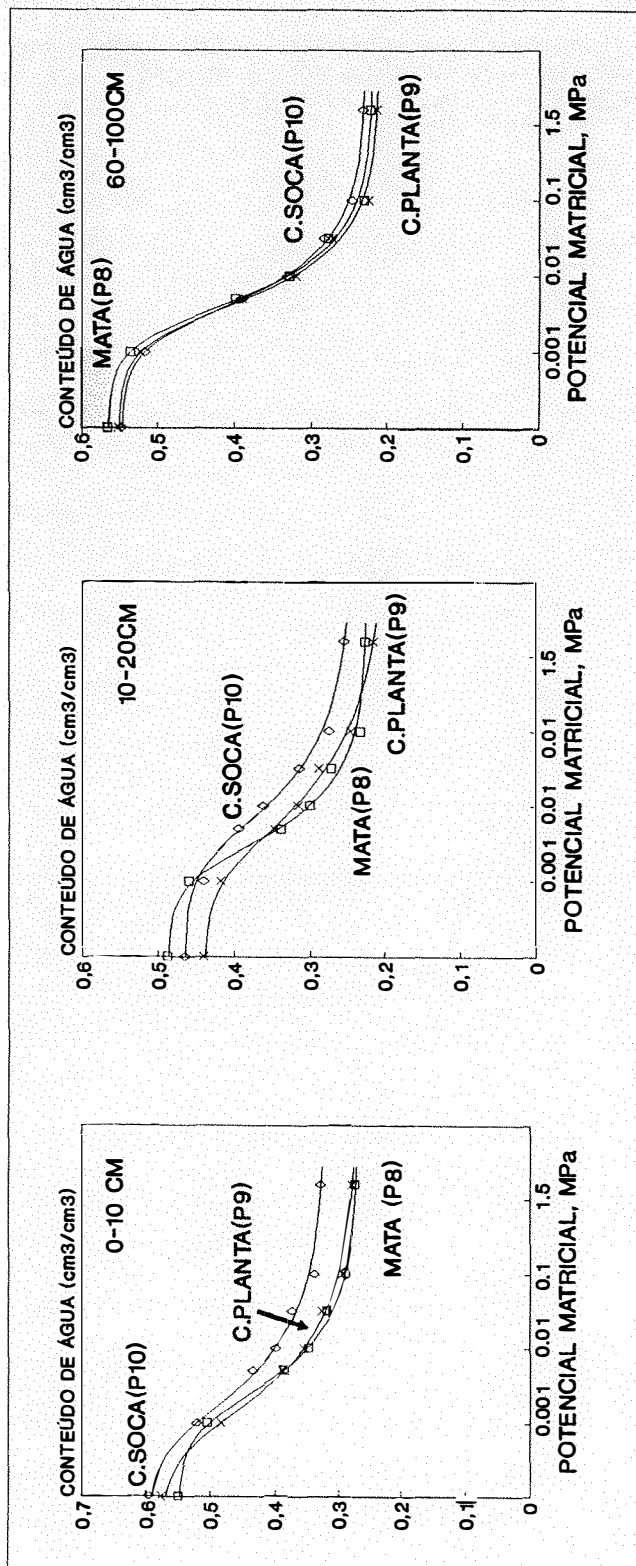


Fig.16. Curvas de retenção de água do LR-m.arg.(P8,P9,P10).

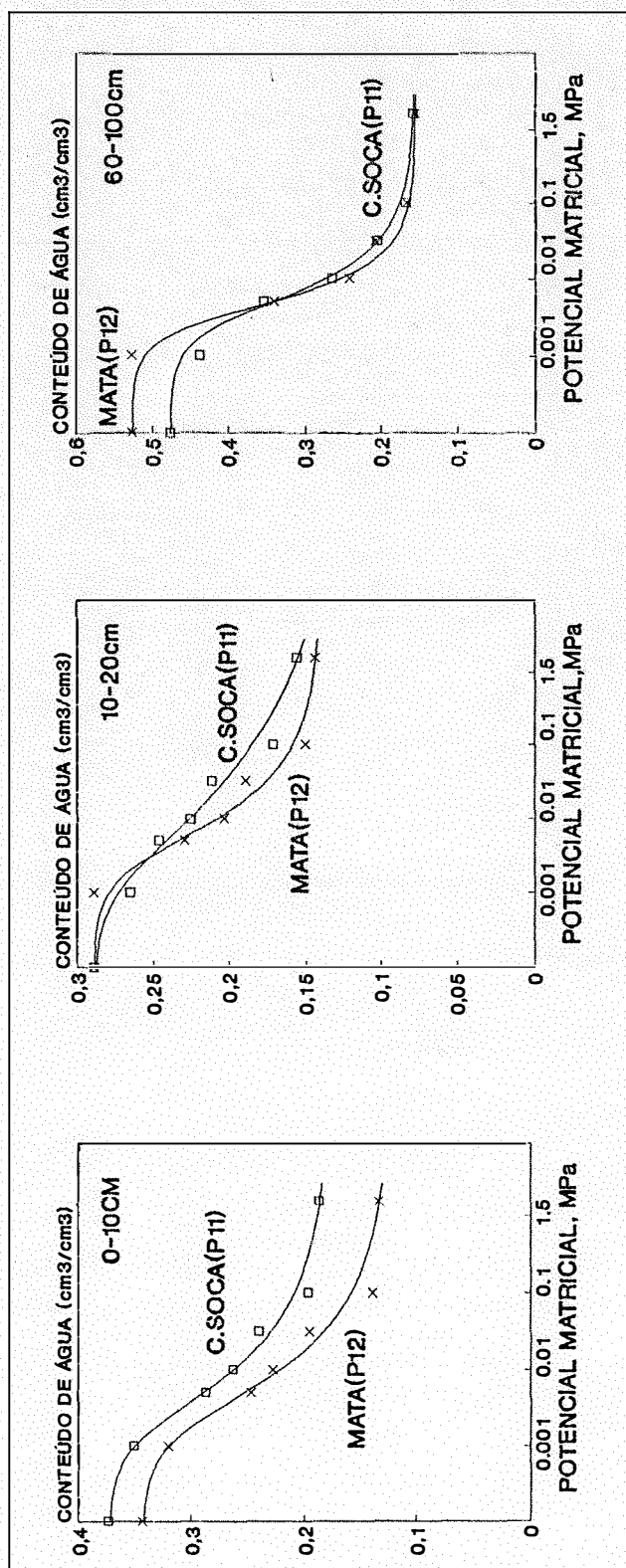


Fig.17. Curvas de retenção de água da TE (P11,P12).

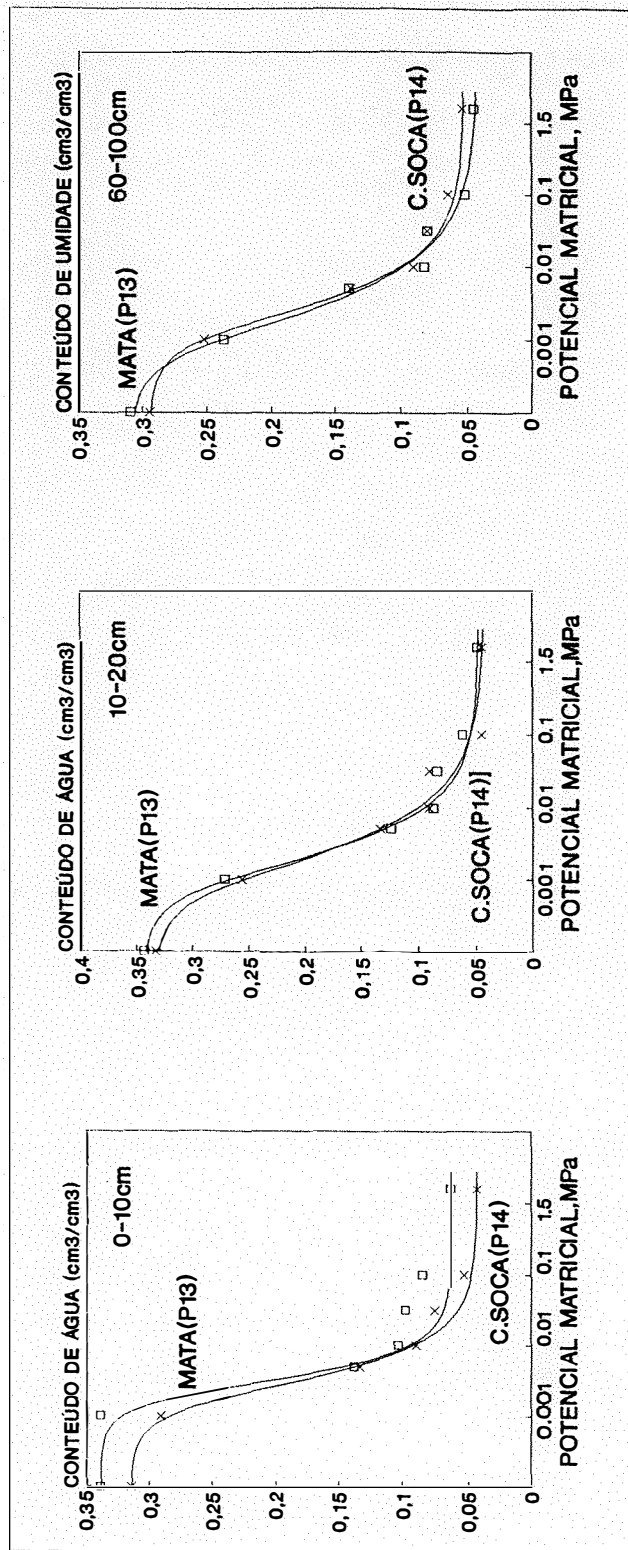


Fig.18. Curvas de retenção de água da AQ (P13, P14).

conteúdo de água, após o cultivo. Estes decréscimos estão relacionados com alterações na forma, tamanho e distribuição dos poros devido às modificações na estrutura com conseqüente acréscimo na densidade do solo. Situação semelhante foi constatada por FAHAD et al. (1982), SHARMA e UEHARA (1968), JAMISON (1953,1956) e JOHNSTON et al. (1942). Essas modificações na morfologia dos poros foram confirmadas através observações realizadas nas seções delgadas.

→ Abaixo de -0.01 MPa, para solos arenosos, e -0.1 MPa, nos argilosos, as curvas assumem um formato retilíneo atingindo o potencial de - 1.5 MPa com teores de água que variaram de 0,05 a 0,27 cm^3/cm^3 solos sob mata e 0,04 a 0,25 cm^3/cm^3 nos solos cultivados de acordo com a textura.

O decréscimo no conteúdo de água só foi significativo para o P5 (LE-argiloso) entre o ponto de saturação e o potencial de - 0.005 MPa considerando a camada de 0 a 20 cm. Através da micromorfologia ficou evidenciado que houve uma reorganização dos constituintes provocada pelo cultivo imprimindo uma aparência maciça e que foi muito mais evidente que os demais perfis estudados.

Nos demais solos de textura argilosa (P2,P3 e P12) a redução significativa no conteúdo de água ocorreu abaixo de -0.1 MPa. Conforme REEVE et al. (1973) e PETERSEN et al. (1968), a retenção de água nesses potenciais depende da textura e da superfície específica; considerando que ocorreu variabilidade nos teores de argila dentro da mesma classe textural (Tabela 1), provavelmente este fato seja responsável por tal ocorrência.

Nos solos de textura média-arenosa (P7) e arenosa (P14), embora o conteúdo de água apresente decréscimo com o cultivo não houve diferença estatística.

Nos solos de textura muito argilosa (P9,P10) verificou-se aumento significativo com o cultivo para os potenciais de -0.005 e -0.01 MPa até a profundidade de 20 cm. Para EL-SWAIFY et al. (1970) solos com predominância de caulinita e óxidos de ferro, quando saturados com cálcio, magnésio e potássio aumentam a capacidade de retenção osmótica das argilas favorecendo maior retenção de água pelo solo. O mesmo foi observado por SIDIRAS et al.(1982) em Latossolo Roxo sob diferentes sistemas de manejo. Para McKEAGUE et al. (1973) a presença de óxidos de ferro, como é o caso dos solos em estudo, aumenta a estabilidade dos agregados principalmente aqueles com diâmetro ao redor de 1000 a 2000 μm .

* De maneira geral ocorreram sensíveis alterações nos conteúdos de água disponível tanto em superfície como em subsuperfície (Figura 19). Inicialmente observou-se que, nos solos sob mata, a variação no conteúdo de água disponível foi função da textura e densidade do solo (REEVE et al., 1973). Assim é que os solos de textura média-arenosa (P6) e arenosa (P13) apresentam valores inferiores àqueles de textura argilosa (P1,P4,P11) e muito argilosa (P8). Nos solos cultivados a água disponível foi influenciada pelas modificações na estrutura e conseqüente alterações na distribuição e tamanho dos poros isto porque não ocorreu um comportamento definido uma vez que alguns solos mostram acréscimo tanto em superfície como em subsuperfície enquanto outros apresentam decréscimo como é o caso do P5 no qual foi constatada a maior redução na água disponível - 25% - na profundidade de

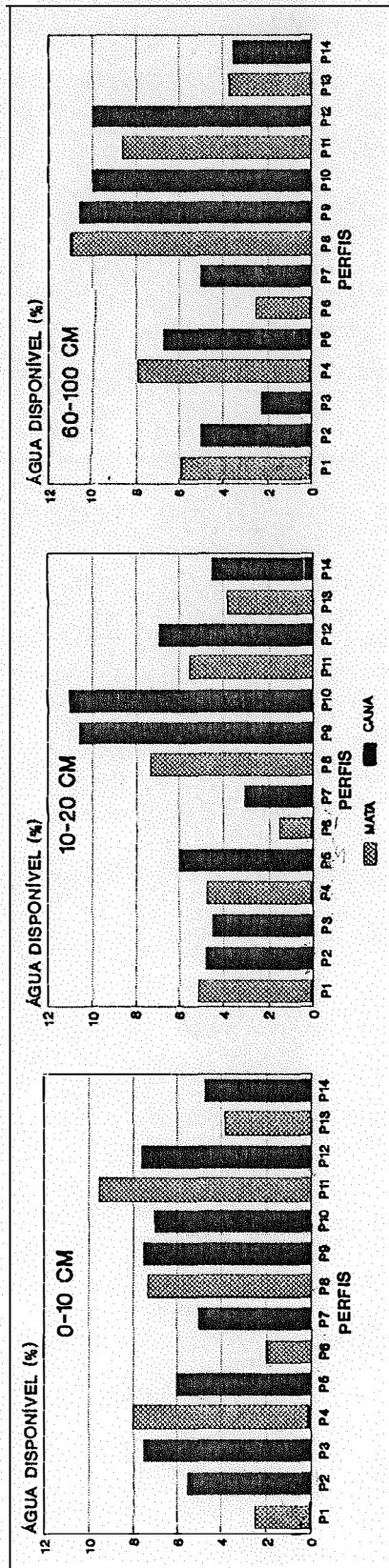


Figura 19. Conteúdo de água disponível(%)nos perfis sob mata e cultivados.

0-10 cm. Resultados semelhantes foram obtidos por ONOFIOK (1988), HILL (1959) e JAMISON (1956).

A ação das atividades agrícolas alterou sensivelmente a retenção de água no solo. Na profundidade de 0-10 cm (Figura 19) notou-se que o efeito do cultivo implicou num aumento de água disponível para os perfis 2, 3, 7, 9, 10 e 14. Por outro lado, na camada de 10-20 cm ocorreram aumentos para todos os perfis

4.3. Características químicas

Os resultados químicos encontram-se na Tabela 4. Comparando-se os solos cultivados com seus similares sob mata, verifica-se que ocorreram mudanças significativas em todos os parâmetros analisados motivadas principalmente pelas adições de corretivos, fertilizantes e vinhaça.

4.3.1. Cations trocáveis - cálcio, magnésio, potássio

Os teores de Ca, Mg e K das condições iniciais apresentam diferenças significativas quando comparados com os solos cultivados (Tabela 4). Nos solos originalmente distróficos e álicos, o Ca teve aumentos entre 81 a 287% e o Mg de 18 a 123% após o cultivo. Os aumentos foram estatisticamente significativos para praticamente todas as profundidades estudadas com exceção do P5 (LE argiloso) e P14 (AQ) em que a significancia do aumento

Tabela 4. Características químicas dos solos cultivados (cana soca e cana planta) e sob mata (média de 8 repetições).

Prof. (cm)	pH	CaCl ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	S	P	C	m	V	CTCs(1)	CTCe(2)
P1 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO distrófico argiloso (mata)														
0-10	4,4c	2,23b	1,00a	0,27a	0,38a	5,40a	3,51b	2,50b	2,28a	10a	38c	9,28a	3,89b	
10-20	4,2b	1,43b	0,76a	0,18a	0,61a	5,50a	2,38b	1,75b	1,82a	21a	28b	8,50a	3,00b	
20-30	4,1b	0,91b	0,63a	0,13a	0,82a	5,10a	1,67b	1,37b	1,32a	33a	22b	7,60a	2,50a	
30-60	4,1b	0,68b	0,61a	0,09ab	0,78a	4,62a	1,38b	1,00a	0,95a	37a	20b	6,81a	2,19ab	
60-100	4,3b	0,57b	0,48a	0,07a	0,58a	4,12a	1,12c	1,00a	0,78a	34a	19c	5,85a	1,72b	
P2 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO distrófico argiloso (cana planta)														
0-10	5,6a	3,45a	1,00a	0,16b	0,00b	2,52c	4,61a	6,50a	1,20b	0b	64a	7,13b	4,61a	
10-20	5,1a	2,33a	0,93a	0,15ab	0,00c	2,83c	3,42a	4,50a	1,00b	0b	54a	6,28c	3,45a	
20-30	4,6a	1,36a	0,81a	0,13a	0,23c	2,95b	2,28a	3,37a	0,77b	11c	41a	5,46b	2,51a	
30-60	4,3b	0,83b	0,67a	0,10a	0,41b	3,25c	1,60b	1,37a	0,62b	20b	30a	5,30b	2,05b	
60-100	4,4b	0,85b	0,73a	0,08a	0,30b	3,09b	1,66b	1,25a	0,57b	15b	33b	5,02b	1,96ab	
P3 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO distrófico argiloso (cana soca)														
0-10	4,8b	1,97b	0,95a	0,23a	0,05b	4,11b	3,17b	2,87b	1,01b	1,7b	43b	7,33b	3,23c	
10-20	4,4b	1,36b	0,76a	0,13b	0,42b	4,63b	2,25b	2,50b	0,83b	17a	31b	7,22b	2,68b	
20-30	4,3b	1,01ab	0,55a	0,07b	0,60b	4,90a	1,65b	3,62a	0,72b	25b	23b	7,11a	2,21a	
30-60	4,6a	1,50a	0,73a	0,04b	0,25c	3,97b	2,26a	1,50a	0,61b	10c	36a	6,48a	2,51a	
60-100	4,8a	1,47a	0,57a	0,04a	0,10c	3,15b	2,07a	1,25a	0,46b	5c	38a	5,37ab	2,23 a	

Na mesma coluna as comparações foram feitas envolvendo médias de uma mesma profundidade; médias precedidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. (1) CTCs = CTC do solo (2) CTCe = CTC efetiva

Tabela 4. Continuação

Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	S	P	C	m	V	CTCs(f)	CTCe(2)
	CaCl ₂			meg/100 cm ³				ppm		%		meg/100 cm ³	
P4 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO álico argiloso (mata)													
0-10	4,6b	3,30a	1,43a	0,36a	0,27a	5,73a	5,11a	1,3b	2,56a	7a	45a	11,12a	5,39
10-20	4,2b	1,43b	0,98b	0,24a	0,75a	5,48a	2,67b	1,1b	1,66a	23a	30b	8,90a	3,41
20-30	4,0b	0,67b	0,63b	0,16a	1,21a	5,32a	1,47b	1,0a	1,20a	45a	18b	8,02a	2,70
30-60	4,0a	0,53a	0,58b	0,10a	1,50a	5,73a	1,21b	1,0a	1,10a	55a	14a	8,47a	2,74
60-100	4,0a	0,50a	0,46b	0,08a	1,88a	6,46a	1,03a	1,0a	1,17a	64a	11a	9,26a	2,95
P5 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO distrófico argiloso (cana soca)													
0-10	5,0a	2,77a	1,40a	0,18b	0,08a	4,60b	4,37b	2,7a	1,22b	0a	49a	8,97b	4,38
10-20	4,7a	2,12a	1,30a	0,10b	0,17a	4,33b	3,52a	2,2a	1,05b	6b	43a	8,10b	3,76
20-30	4,3a	1,41a	1,10a	0,05b	0,63a	4,81b	2,55a	1,2a	0,88b	23b	32a	8,00a	3,19
30-60	4,1a	1,02a	0,90a	0,03b	1,06a	5,71a	1,93a	1,0a	0,86b	36b	23a	8,70a	2,99
60-100	4,1a	0,90a	0,72a	0,02b	1,20a	6,31a	1,62a	1,0a	0,92b	42b	17a	9,28a	2,83
P6 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO álico média-arenosa (mata)													
0-10	4,0b	0,43b	0,41b	0,07a	1,08a	4,75a	0,95b	2,4b	1,37a	53a	14b	6,78a	2,04
10-20	4,0b	0,30b	0,32b	0,05b	1,13a	4,96a	0,71b	1,6b	1,22a	62a	10b	6,81a	1,85
20-30	4,0a	0,28b	0,30b	0,04b	1,05a	4,76a	0,60b	1,1a	0,80a	64a	9b	6,40a	1,64
30-60	4,0a	0,25b	0,32a	0,03b	0,96a	4,10a	0,57b	1,0a	0,61a	60a	10b	5,67a	1,58
60-100	4,0a	0,21b	0,32a	0,02b	0,83a	3,65a	0,53b	1,0a	0,42a	60a	10b	5,02a	1,38
P7 - Lençóis Paulista - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO distrófico média-arenosa (cana soca)													
0-10	4,5a	1,41a	0,82a	0,08a	0,25b	3,65a	2,30a	24,1a	1,00b	11b	35a	6,47a	2,83
10-20	4,6a	1,41a	0,91a	0,08a	0,16b	3,71a	2,41a	18,7a	0,88b	7b	38a	6,30a	2,59
20-30	4,1a	0,66a	0,58a	0,06a	0,51b	3,06a	1,31a	8,0a	0,60b	28b	25a	5,25a	2,33
30-60	4,0a	0,48a	0,48a	0,06a	0,55b	3,05	1,06a	3,0a	0,46b	36b	23a	4,65a	1,60
60-100	4,1a	0,52a	0,42a	0,05a	0,57b	2,58a	1,02a	1,6a	0,36a	36b	24a	4,18a	1,60

Tabela 4. Continuação

Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	S	P	C	m	V	CTCs(1)	CTCe(2)
	CaCl ₂			meq/100 cm ³	meq/100 cm ³			ppm	%	%		meq/100 cm ³	meq/100 cm ³
P8 - Ribeirão Preto - LATOSSOLO ROXO distrófico muito argiloso (mata)													
0-10	4,1b	0,88b	0,80b	0,20a	0,73a	7,38a	1,90b	1,7b	2,53a	23a	19c	10,0a	2,64
10-20	4,1c	0,53c	0,41b	0,13a	0,61a	7,21a	1,08b	1,1b	1,92a	37a	12b	8,91a	1,70
20-30	4,3b	0,41c	0,37b	0,09a	0,31a	6,65a	0,89b	1,0b	1,60ab	26a	11b	7,84a	1,20
30-60	4,8b	0,27b	0,30b	0,04a	0,00a	5,30a	0,61b	1,0a	1,21a	0a	10b	5,91a	0,61
60-100	4,8b	0,22b	0,27b	0,02a	0,00a	4,08a	0,50b	1,0a	0,93a	0a	11b	4,58a	0,50
P9 - Ribeirão Preto - LATOSSOLO ROXO distrófico muito argiloso (cana planta)													
0-10	5,1a	1,87a	1,06a	0,42a	0,00b	3,70c	3,38a	1,6b	1,85b	0b	48a	7,08b	3,39
10-20	5,1a	1,73b	1,01a	0,46a	0,00b	3,77c	3,23a	1,0b	1,72b	0b	46a	7,00c	3,23
20-30	5,1a	1,11b	0,80a	0,38a	0,00b	3,77c	2,32b	1,0b	1,45b	0b	38a	6,08b	2,31
30-60	5,2a	0,70b	0,62a	0,23a	0,00a	3,36c	1,57a	1,0a	1,16a	0a	32a	4,93b	1,58
60-100	5,6a	0,51ab	0,53a	0,14a	0,00a	2,81c	1,17ab	1,0a	0,90a	0a	23a	3,98b	1,18
P10 - Ribeirão Preto - LATOSSOLO ROXO distrófico muito argiloso (cana soca)													
0-10	5,0a	1,95a	0,88b	0,05a	0,03b	4,41b	2,90a	3,6a	1,98b	4b	38b	7,40b	2,99
10-20	4,9b	2,20a	0,92a	0,04a	0,08b	4,65b	3,15a	3,6a	1,92a	5b	38a	7,88b	3,24
20-30	5,1a	2,37a	0,86a	0,03a	0,03b	4,22b	3,25a	5,0a	1,76a	3b	40a	7,51a	3,29
30-60	5,2a	1,35a	0,75a	0,01a	0,00a	3,80b	2,10a	1,0a	1,22a	0a	35a	5,88a	2,09
60-100	5,6a	0,95a	0,62a	0,01a	0,00a	3,20b	1,57a	1,0a	0,90a	0a	32a	4,77a	1,58

Tabela 4. Continuação

Prof.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	S	P	C	m(3)	V	CTCs(1)	CTCe(2)
(cm)	CaCl ₂	meq/100 cm ³											
%													
P11 - Barra Bonita - TERRA ROXA ESTRUTURADA eutrófica argilosa (mata)													
0-10	6,3a	6,36a	2,97a	0,63a	0,00b	2,73b	9,98a	4,5a	2,36a	0a	77a	13a	9,99
10-20	6,1a	4,52a	2,41a	0,58a	0,00b	2,78b	7,51a	3,5a	1,37a	0a	72a	10a	7,51
20-30	5,7a	3,51a	2,16a	0,48a	0,02b	2,98b	6,17a	2,7a	1,02a	6a	67a	9a	6,23
30-60	5,1a	2,58a	1,95a	0,38a	0,16b	3,70b	4,92a	3,2a	0,73a	4a	55a	9a	5,09
60-100	4,4a	1,47a	1,28a	0,25a	0,75a	4,31a	3,02a	3,6a	0,57a	22a	37a	8a	3,76
P12 - Barra Bonita - TERRA ROXA ESTRUTURADA distrófica argilosa (cana seca)													
0-10	4,6b	2,01b	1,42b	0,27b	0,47a	4,71a	3,71b	5,2a	1,18b	13b	41b	9b	4,19
10-20	4,5b	1,91b	1,15b	0,11b	0,71a	4,95a	3,17b	3,0a	0,96b	21b	36b	9b	3,90
20-30	4,6b	2,32b	1,00b	0,04b	0,40a	4,65a	3,35b	3,1a	0,82a	12b	40b	8a	3,79
30-60	4,5b	2,12a	1,03b	0,03b	0,63a	5,15a	3,17b	2,7a	0,58a	19b	36b	9a	3,68
60-100	4,7a	1,85a	0,68b	0,02b	0,76a	4,32a	2,53a	2,6a	0,46a	31a	34a	8a	3,30
P13 - São Carlos - AREIA QUARTZOSA álica (mata)													
0-10	3,9b	0,28a	0,30b	0,02a	1,26a	5,13a	0,58b	2,1b	1,80a	66a	8b	7,02a	1,89b
10-20	4,0b	0,22a	0,31b	0,02a	1,07a	5,08a	0,55b	1,0b	1,30a	66a	8b	6,70a	1,61b
20-30	4,1a	0,21a	0,33a	0,01a	0,95a	4,40a	0,55b	1,0b	0,95a	63a	9b	5,90a	1,50a
30-60	4,2a	0,25a	0,31a	0,01a	0,77a	3,63a	0,57a	1,0a	0,58a	58a	11a	4,98a	1,35a
60-100	4,2a	0,29a	0,36a	0,01a	0,58a	2,85a	0,48a	1,0a	0,45a	56a	12b	3,92b	1,08a
P14 - São Carlos - AREIA QUARTZOSA distrófica (cana seca)													
0-10	4,9a	1,37b	0,81a	0,31b	0,02b	2,81b	2,51a	7,4a	1,23b	2b	47a	5,35b	2,54a
10-20	4,6a	0,91b	0,70a	0,21b	0,17b	3,01b	1,81a	3,6a	0,86b	9b	36a	5,02b	2,01a
20-30	4,3a	0,61b	0,43a	0,18b	0,41b	2,85b	1,25a	4,4a	0,65b	29b	27a	4,50b	1,65a
30-60	4,0a	0,18a	0,23a	0,03a	0,52b	2,51b	0,43a	1,0a	0,33b	53a	13a	3,47b	0,96b
60-100	4,4a	0,17a	0,31a	0,02a	0,22b	2,32b	0,65a	1,0a	0,23b	25b	20a	3,21b	0,89a

Na mesma coluna as comparações foram feitas envolvendo médias de uma mesma profundidade. Médias precedidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. (1)CTCs=CTC do solo (2)CTCe=CTC efetiva (3) 100.A/(A)+S

deu-se apenas até 30 cm de profundidade. No caso do LE (P5), abaixo dessa profundidade os teores foram mais elevados que os originais porém insuficientes para caracterizar uma diferença significativa em relação ao cálcio. Já, no AQ (P14) os teores foram inferiores aos iniciais (Figuras 20 e 21).

Nos solos inicialmente eutróficos, o Ca e Mg sofreram reduções significativas, ao redor de 44 a 50%, porém permaneceram acima dos níveis críticos -0.65 e 0.17 a 0.34 meq/100 cm³ de solo, conforme RODELLA (1984). Alterações semelhantes também foram observadas por LEPSCH et al. (1994), SANCHEZ e SALINAS (1981) e LAVKULICH e ROWLES (1971) em solos cultivados.

Os aumentos significativos de Ca e Mg ocorridos em profundidade com o cultivo provavelmente estejam relacionados ao movimento desses elementos em função das constantes adições de corretivos que, devido à presença de anions como sulfatos e nitratos, advindos das adubações fosfatadas e da vinhaça, são responsáveis por esse comportamento, como salientaram FARINA e CHANNON (1988), CAMARGO et al. (1983) e RITCHEY et al. (1980). Para SANCHEZ e SALINAS (1981), a ocorrência de baixa CTCe como é o caso dos solos em estudo, acelera ainda mais o processo de movimentação de ions.

O movimento desses elementos resultou no decréscimo da acidez em profundidade como também observaram SANCHEZ e SALINAS (1981), SANCHEZ (1977) e JUO E BALLAUX (1977) em solos cultivados nos trópicos.

Com relação ao K verificou-se que, ao contrário do Ca e Mg, não apresentou um comportamento definido nos solos originalmente álicos e distróficos. Os acréscimos de K de 40 e 1250%, ficaram restritos ao LE (P7) e AQ (P14), respectivamente até a profundidade de 30 cm. Nos demais solos

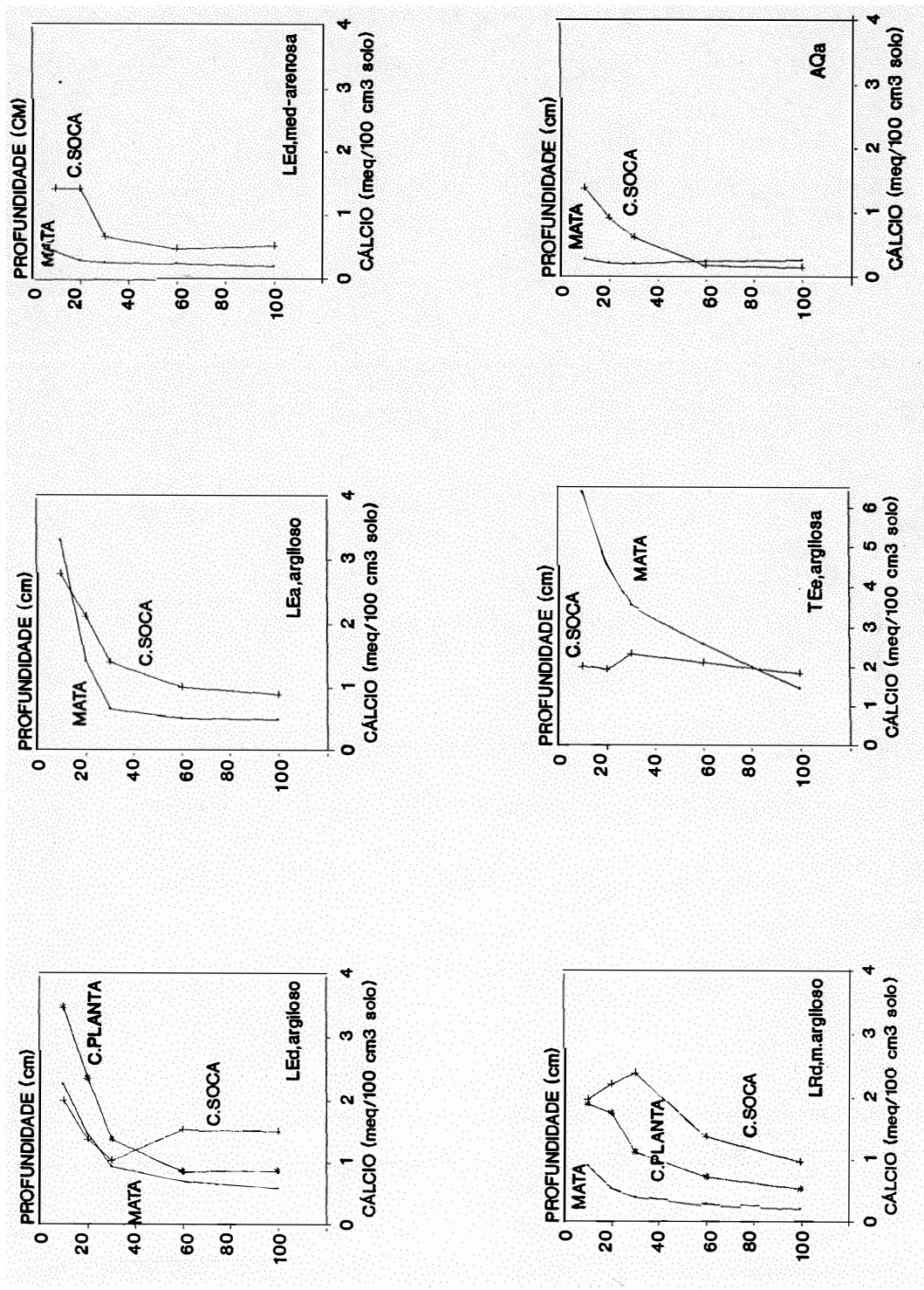


Figura 20. Distribuição do cálcio em profundidade.

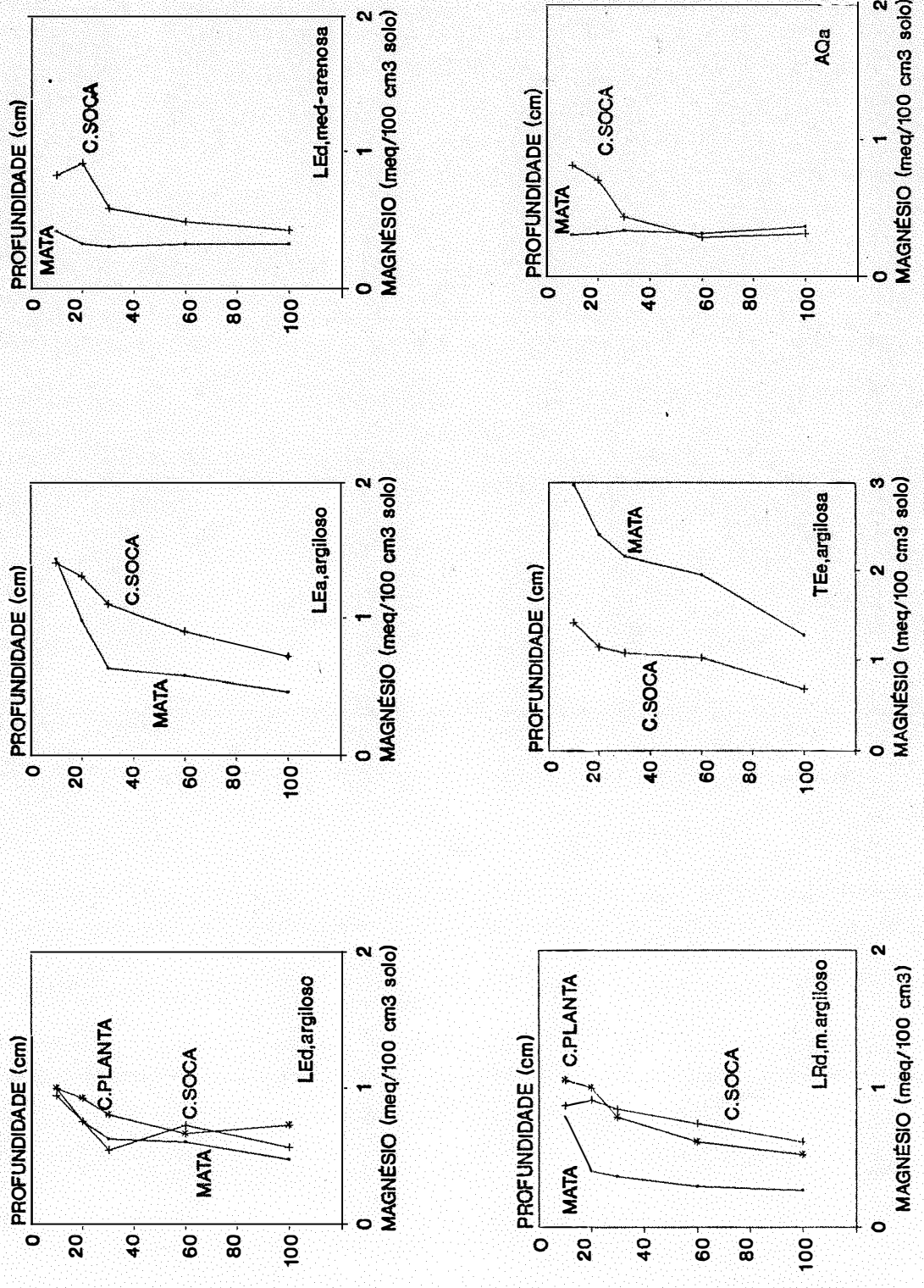


Figura 21. Distribuição do magnésio em profundidade

com textura argilosa e muito argilosa as reduções foram de 34 e 83% em relação às condições originais considerado a cana soca. Entretanto, na cana planta verificou-se aumento acima de 100% no Latossolo Roxo.

No solo eutrófico porém , o cultivo diminuiu significativamente os teores de K para todas as profundidades estudadas. Os decréscimos foram de 57 a 81% até a profundidade de 20 cm e de 92% abaixo dessa profundidade (Figura 22).

Os coeficientes de variação desses elementos (Tabela 5) são inferiores aos do solo sob mata evidenciando maior homogeneidade na camada superficial dos solos cultivados.

4.3.2. Soma (S) e saturação por bases (V%)

Como se observa na Tabela 4, os valores de S foram significativamente modificados com o cultivo. Os acréscimos ocorridos apresentam-se como consequência da significativa elevação nos teores de cálcio e magnésio principalmente. Nos solos inicialmente distróficos e álicos os acréscimos foram significativos, praticamente para todas as profundidades com exceção do LE (P3). Nesse solo o aumento do S foi significativo a partir dos 30 cm. Esse fato pode ser esclarecido quando se observa a Tabela 4 e verifica-se que até 30cm ocorreu um decréscimo significativo do cálcio em relação as condições iniciais . No solo inicialmente eutrófico os valores de S foram diminuídos para todas as profundidades em consequência dos significativos decréscimos nos teores de cálcio, magnésio e potássio.

Tabela 5. Valores mínimos, máximos, médias e coeficiente de variação (CV) de algumas características químicas dos solos sob cana e mata na profundidade de 0-20cm.

Característica química	uso	nº de pontos	valores mínimos	valores máximos	média	CV
pH CaCl ₂	mata	12	3,9	6,3	4,5	18
	cana	12	4,3	5,0	4,7	5
Ca (1)	mata	12	0,23	6,36	1,83	107
	cana	12	0,40	2,77	1,78	28
Mg (1)	mata	12	0,30	2,98	1,0	86
	cana	12	0,70	1,43	1,0	25
K (1)	mata	12	0,02	0,64	0,23	86
	cana	12	0,04	0,32	0,15	59
Al (1)	mata	12	0	1,26	0,66	65
	cana	12	0	0,71	0,21	99
CTCs (1)	mata	12	7	13	9	21
	cana	12	5	9	7	18
CTCe (1)	mata	12	2	10	4	70
	cana	12	2	5	3	23
V (2)	mata	12	8	77	30	79
	cana	12	31	49	40	13
m (2)	mata	12	0	66	31	81
	cana	12	0	21	8	81
C (2)	mata	12	1,23	2,56	1,8	26
	cana	12	0,84	1,15	1,2	33

(1) meq/100 cm³ (2) %

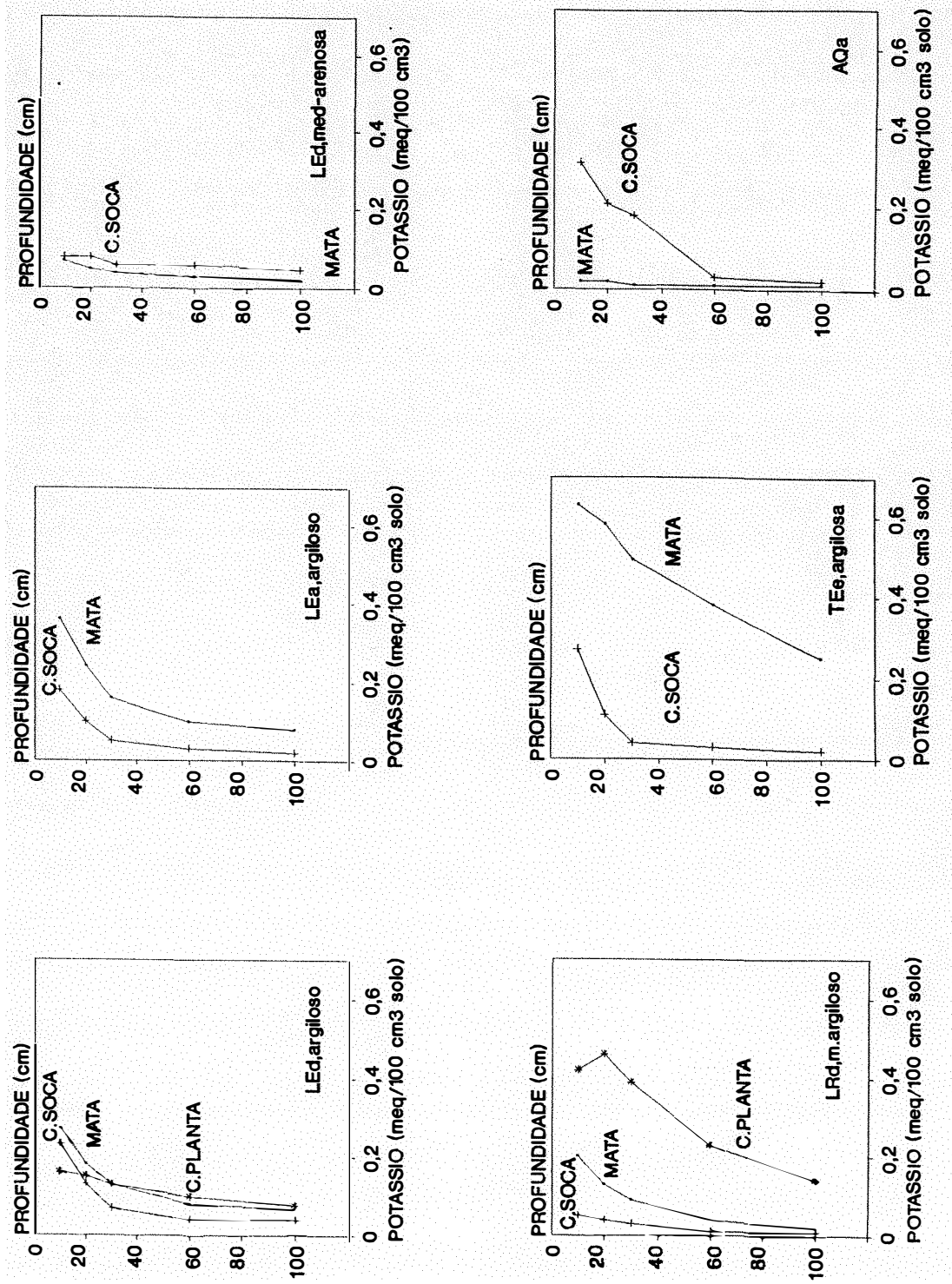


Figura 22. Distribuição do potássio em profundidade.

O aumento significativo no V% e o conseqüente decréscimo na saturação por Al, ocorrida com o cultivo, transformaram os solos originalmente álicos (P4, P6 e P13) em distróficos (P5, P7, P14). No Latossolo Roxo e Areia Quartzosa elevação atingiu valores de 100 e 500%, respectivamente. Entretanto, os solos originalmente distróficos (P1 e P8), embora tenham tido acréscimos no V%, mantiveram-se distróficos (P3,P9,P10) ou epieutróficos (P2). Os solos originalmente eutróficos (TE-P11) apresentaram um decréscimo significativo no V% tanto em superfície como em subsuperfície de tal forma a se tornarem distróficos (TE-P12). Esse comportamento pode ser observado na Figura 23a.

De acordo com KIRKBY (1969) e MEHLICH e COLWELL (1943), solos dominados por argilas do tipo 1:1, como é o caso da maior parte dos solos em estudo, requerem níveis mais baixos de V% para adequada disponibilidade de Ca e Mg do que os solos com argila 2:1; isso porque a atividade dos cations é maior para baixos níveis de saturação, particularmente nos solos com altos teores de caulinita o que, segundo esses autores, é uma grande vantagem dos Oxissolos e Ultissolos.

Para RAIJ (1981), em culturas mais tolerantes à acidez, como é o caso da cana de açúcar, seria suficiente uma saturação por bases de 40%. Tomando-se como base essas observações verifica-se que a variação da saturação de bases nos solos cultivados estaria dentro de uma faixa razoável, uma vez que os valores estão entre um mínimo de 31 a um máximo de 49% com exceção do P2 (cana planta) em que na camada de 0-20 cm foram atingidos valores de 54 e 64% (Figura 24).

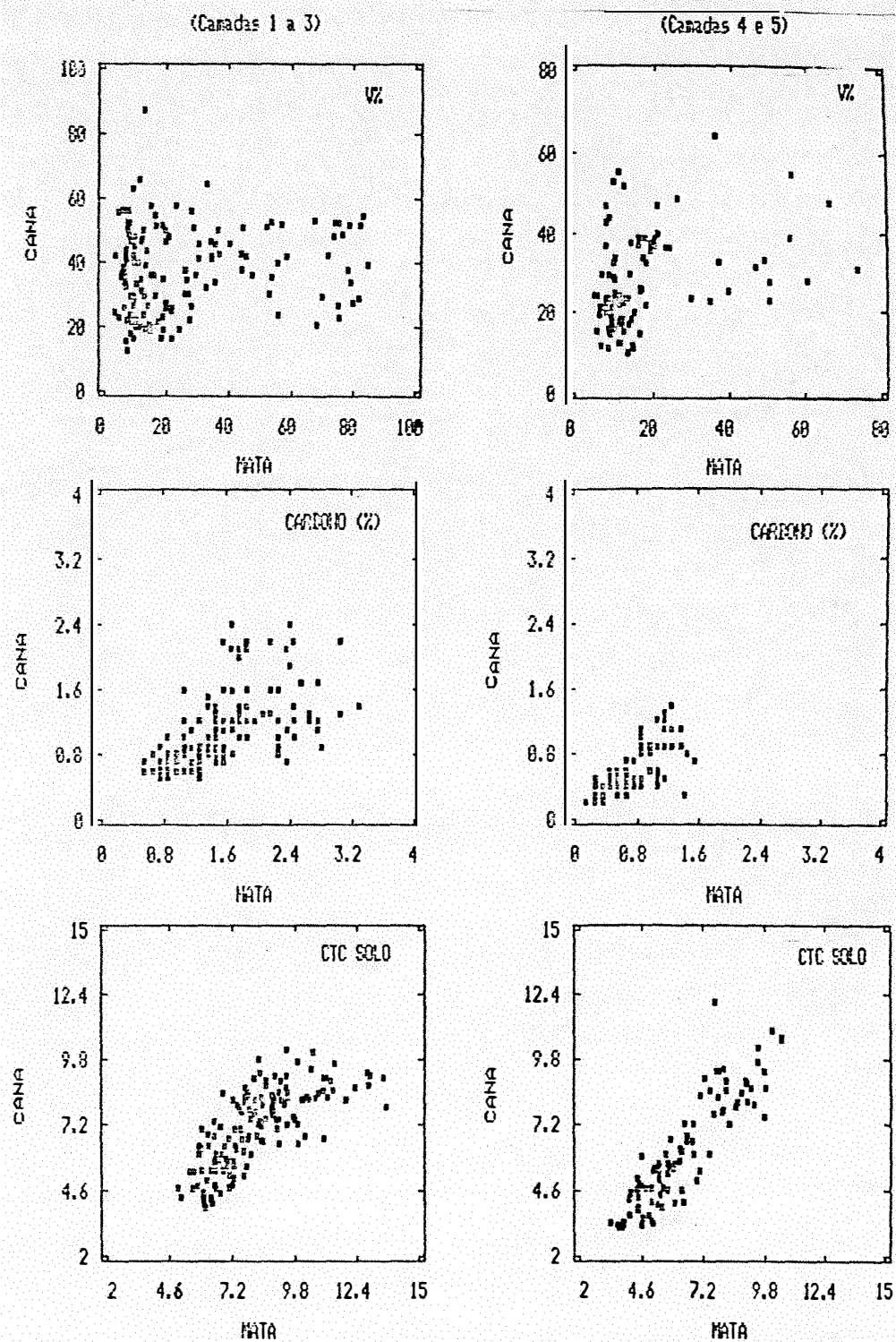


Figura 23. Relação entre algumas características químicas de solos sob cana e sob mata. a) V%, b) Carbono, c) CTC do solo. (camadas 1 a 3=0-30 cm; 4 a 5= 60-100 cm).

O cultivo levou a uma homogeneização da fertilidade haja visto o baixo coeficiente de variação do V% nas áreas cultivadas (Tabela 5).

4.3.3. pH e hidrogênio (H) trocável

Nos solos originalmente álicos (P4, P6 e P13) e distróficos (P1 e P8) os valores de pH foram acrescidos em até uma (1,0) unidade após o cultivo e os teores de H foram reduzidos a valores que variaram entre 20 a 50% (Tabela 4). O aumento no pH foi observado até a máxima profundidade estudada (100 cm), sendo mais significativo no LR (P9 e P10). Essas alterações estão provavelmente relacionadas, pelo menos em parte, à adição de cations trocáveis através do uso de corretivos e fertilizantes com conseqüente elevação do V% fato também constatado por MARTINS (1991); SANCHEZ et al. (1986); CAMARGO et al. (1983); ANDERSON e BROWNING (1949). Deve-se também levar em conta a ocorrência de reações de redução induzindo no consumo de H constatada por LEAL et al. (1983) com aplicação de vinhaça e ainda as perdas ocorridas de matéria orgânica de acordo com GOLDIN e LAVKULICH (1988).

Nos solos inicialmente eutróficos (P11) o cultivo provocou decréscimo no pH em 1,5 unidades até a profundidade de 0-20 cm e o H foi acrescido em cerca de 70%. Abaixo dessa profundidade o decréscimo no pH foi inferior a 1 unidade, e o H teve aumento inferior a 55%. Essas modificações, também constatadas por CERRI (1986), são reflexos da diminuição nos teores de cations trocáveis.

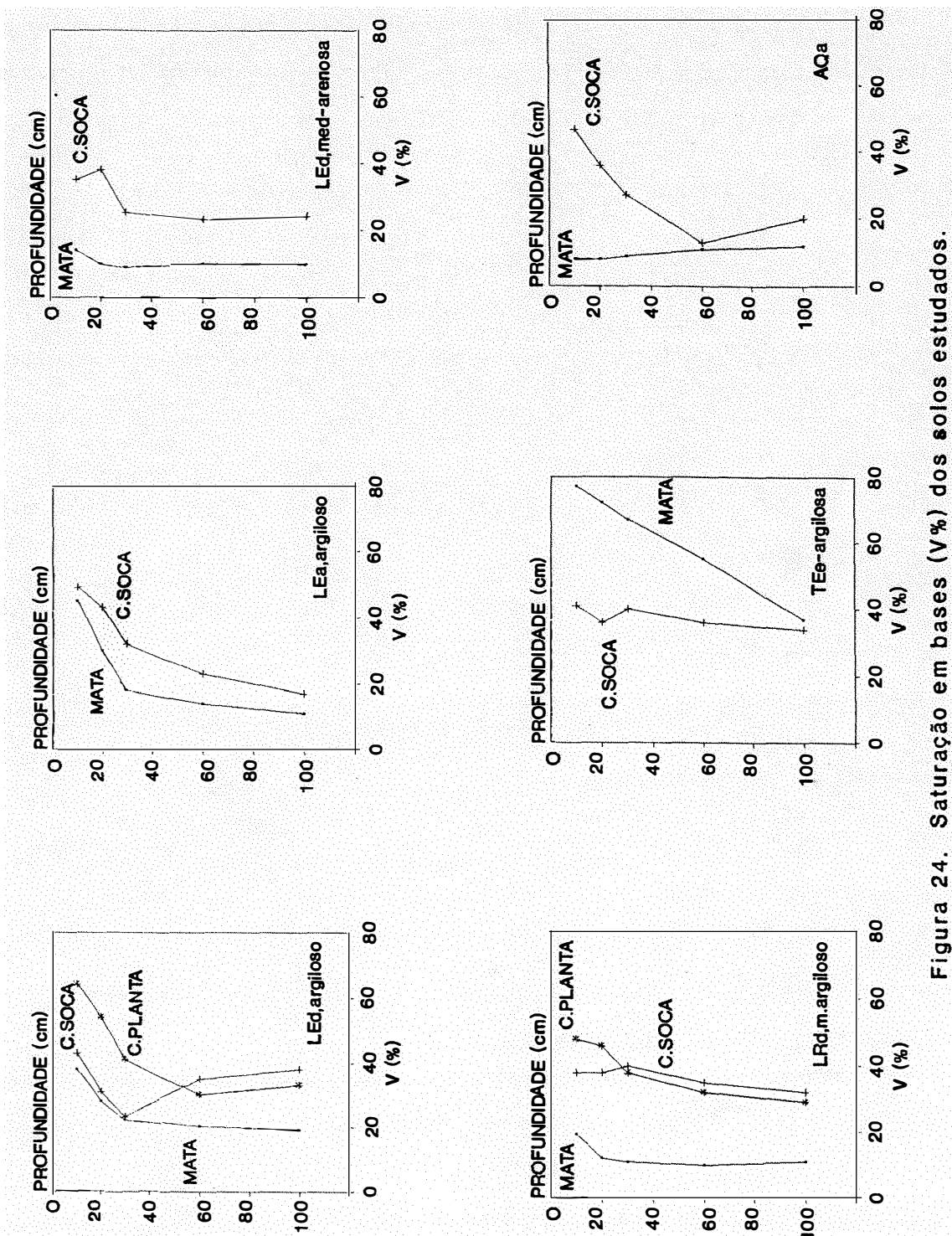


Figura 24. Saturação em bases (V%) dos solos estudados.

4.3.4. Alumínio (Al) trocável e saturação por alumínio (m%)

O cultivo teve influencia marcante no conteúdo de Al uma vez que as áreas com cana apresentaram valores médios significativamente inferiores comparativamente as áreas originalmente álicas e distróficas. Contudo, nos solos originalmente eutróficos ocorreu um aumento significativo em Al até a profundidade de 60 cm (Tabela 4).

Nos solos cultivados os teores de Al são inferiores a 1 meq/100cm³ solo para todas as profundidades estudadas, com exceção do LE (P5) em que abaixo de 30 cm este elemento atinge valores superiores da 1 meq/100 cm³ solo.

Como se observa na Figura 25, a redução do Al trocável foi considerável na profundidade de 0-20 cm sendo menos pronunciada nas demais profundidades.

A saturação por Al decresceu significativamente após o cultivo nos solos inicialmente álicos e distróficos na profundidade de 0-20 cm onde verificou-se uma redução superior a 50%. Por outro lado, no solo eutrófico a saturação por alumínio aumentou significativamente com o cultivo, porém os valores situam-se, até a profundidade de 60 cm, abaixo do nível crítico - 25% - estabelecidos por RODELLA (1984) para a cana-de-açúcar.

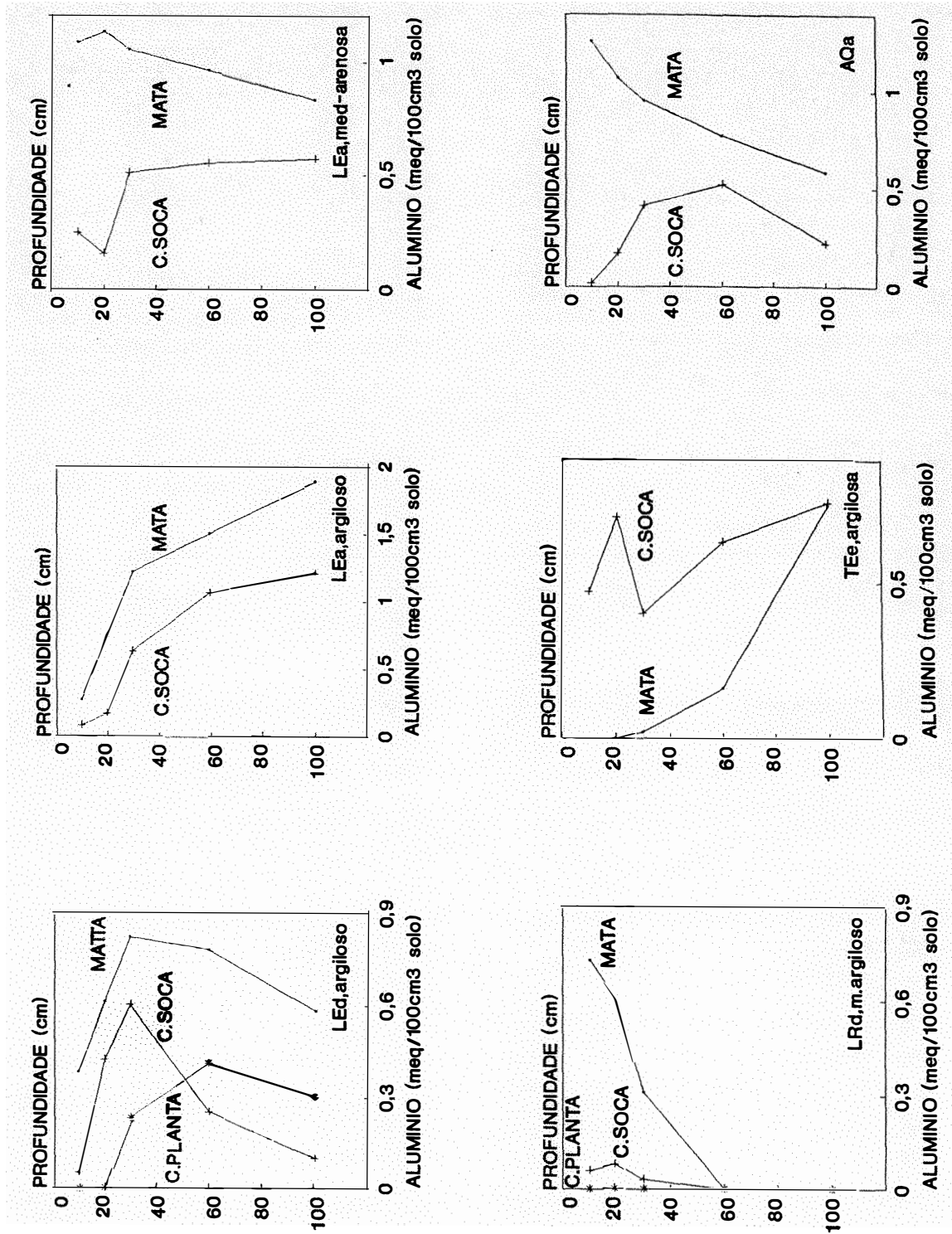


Figura 25. Distribuição do alumínio em profundidade.

4.3.5. Carbono orgânico

Independentemente da textura, do tempo de cultivo e manejo os solos cultivados apresentaram perdas significativas de matéria orgânica tanto em superfície como em subsuperfície (Figura 23b).

Os conteúdos médios de carbono orgânico na camada superficial - 0-20 cm - nos solos sob mata variaram de 1,23 a 2,56 e em subsuperfície de 0,41 a 1,60%. Em ambas as profundidades consideradas os conteúdos mais elevados foram encontrados nos solos de textura muito argilosa e argilosa e os menores nos solos de textura média-arenosa e arenosa (Tabela 4).

Nos solos similares cultivados os teores de carbono orgânico na camada superficial - 0-20 cm - são de 0,84 a 1,98% e em subsuperfície de 0,24 a 1,76%. Comparativamente às condições iniciais as perdas foram significativas para todas as profundidades nos solos de textura argilosa, média-arenosa e arenosa e somente até 20cm no solo de textura muito argilosa. Essas perdas foram de 11 a 55 % até 20cm e de 4 a 41 % abaixo dessa profundidade. Os maiores decréscimos se relacionam aos solos de textura argilosa e os menores aos de textura muito argilosa

Com base nesses dados e em desacordo com o observado por MANN (1986) e ROBERTSON (1983), os solos inicialmente com altos teores de carbono permaneceram após o cultivo com os teores mais elevados e aqueles originalmente com baixos teores não foram necessariamente os que

mostraram os menores teores após o cultivo. Portanto, no presente caso, as perdas de carbono não foram influenciadas pelas quantidades inicialmente presentes. Essas perdas parecem estar mais diretamente relacionadas à textura (FOSTER,1981), à composição mineralógica (SPAIN,1990) e ao histórico da área conforme também foi constatado por MONREAL e JANZEN(1993), GOLDIN e LAVKULICH (1988).

No caso dos solos de textura argilosa as maiores perdas (55, 44 e 40%) provavelmente estão relacionadas às altas concentrações de carbono na superfície e baixa resistência desses solos à erosão, associados aos anos de cultivo (de 18 a 32 anos) como foi também verificado por SCHIMEL et al. (1985) em solos cultivados de textura argilosa .

As menores perdas de carbono observadas nos solos de textura muito argilosa (LR), embora sejam aqueles que vem sendo cultivados a mais tempo (40 anos), devem-se principalmente à sua composição mineralógica uma vez que, sendo formados a partir de rochas básicas, possuem elevados teores de óxidos de ferro. De acordo com JONES (1973), em condições climáticas semelhantes, solos derivados de rochas básicas tem mais matéria orgânica que solos originados de rochas ácidas. Para BIRCH e FRIEND (1956) e ALLISON et al. (1949) os óxidos de ferro reagem com os radicais orgânicos formando complexos resistentes à decomposição. Outro ponto a ser considerado refere-se ao fato de esses solos vem recebendo aplicações de vinhaça por muitos anos. Segundo MAZZA (1985) este efluente possui teores consideráveis de matéria orgânica e o fato de ser líquido favorece translocações em profundidade.

O decréscimo nos solos de textura arenosa (AQ) em relação aos argilosos (LE), embora apresentassem inicialmente os menores teores de carbono, provavelmente esteja relacionado a:

- Menor tempo de cultivo (12 anos)
- A cana-de-açúcar foi precedida por pastagem (Braquiaria).

Quando se analisa a distribuição do carbono orgânico ao longo dos perfis sob mata (Figura 26) verifica-se que nos solos de textura argilosa e muito argilosa as concentrações são mais altas na camada de 0-10 cm e decrescem abruptamente - de 20 a 41 % - para a camada de 10-20cm . Abaixo dessa profundidade o decréscimo é gradual. Nos solos de textura média-arenosa e arenosa, ao contrário, exibem decréscimo gradual com a profundidade. Com o cultivo a distribuição em profundidade assume um decréscimo gradual independente da textura devido as maiores perdas ocorridas principalmente em superfície.

Através da metodologia isotópica foi possível estimar quanto ainda resta do carbono nativo da mata bem como em relação ao carbono introduzido pela cultura da cana-de-açúcar (Figura 27). Não foram incluídos os perfis P6, P7, P13 e P14 devido ao fato de que após a derrubada da mata foi implantada pastagem de Braquiaria antes do cultivo da cana.

Desta forma o carbono introduzido pela cana variou de 8 a 43%. O carbono nativo, ou seja, aquele ainda remanescente da matéria orgânica da mata variou de 13 a 47%. Não se constatou relação entre o tempo de cultivo e a porcentagem de carbono introduzido pela cultura o que leva a acreditar que esta variável não é apenas tempo-dependente havendo a possibilidade de

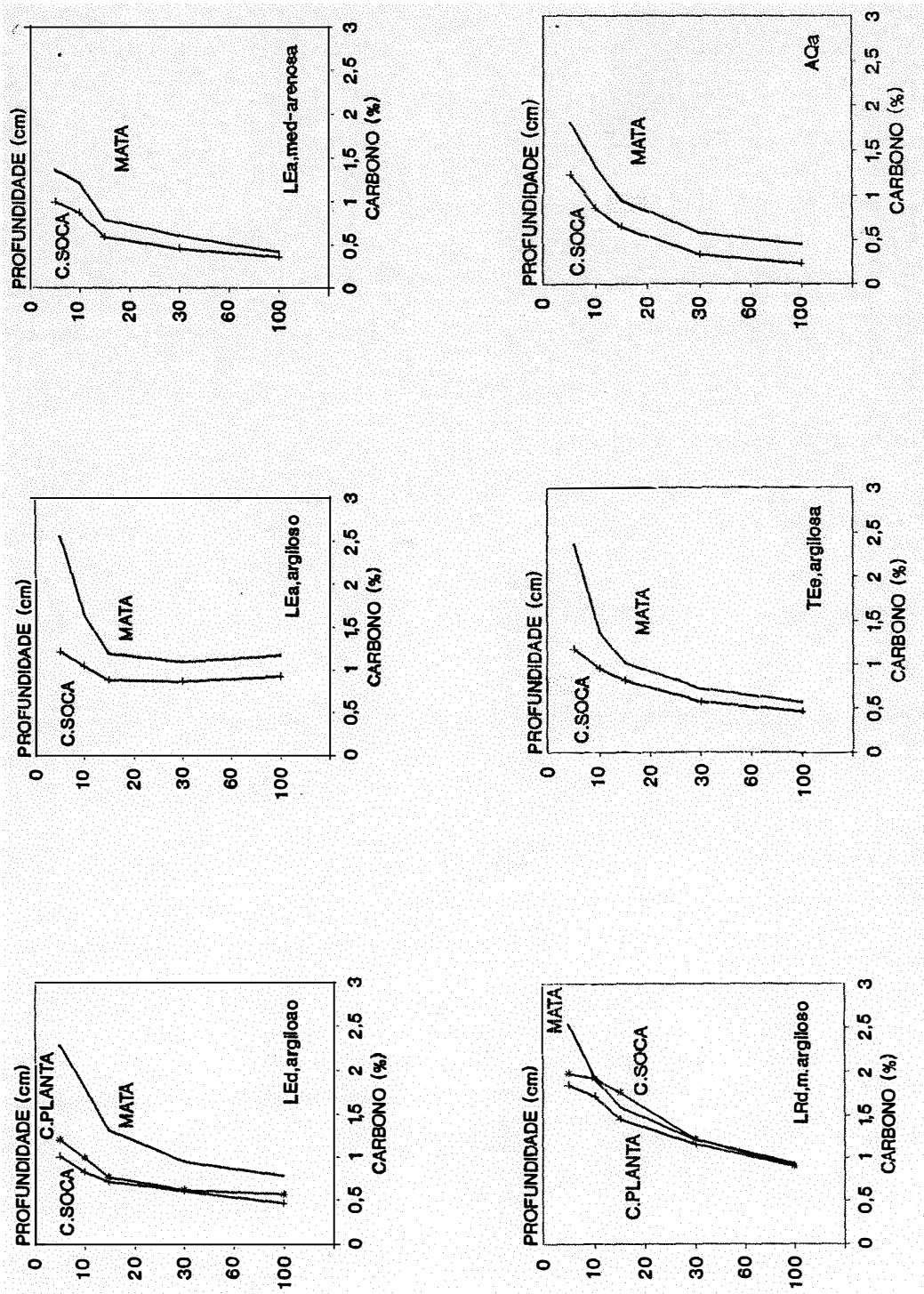


Figura 26. Distribuição do carbono em profundidade.

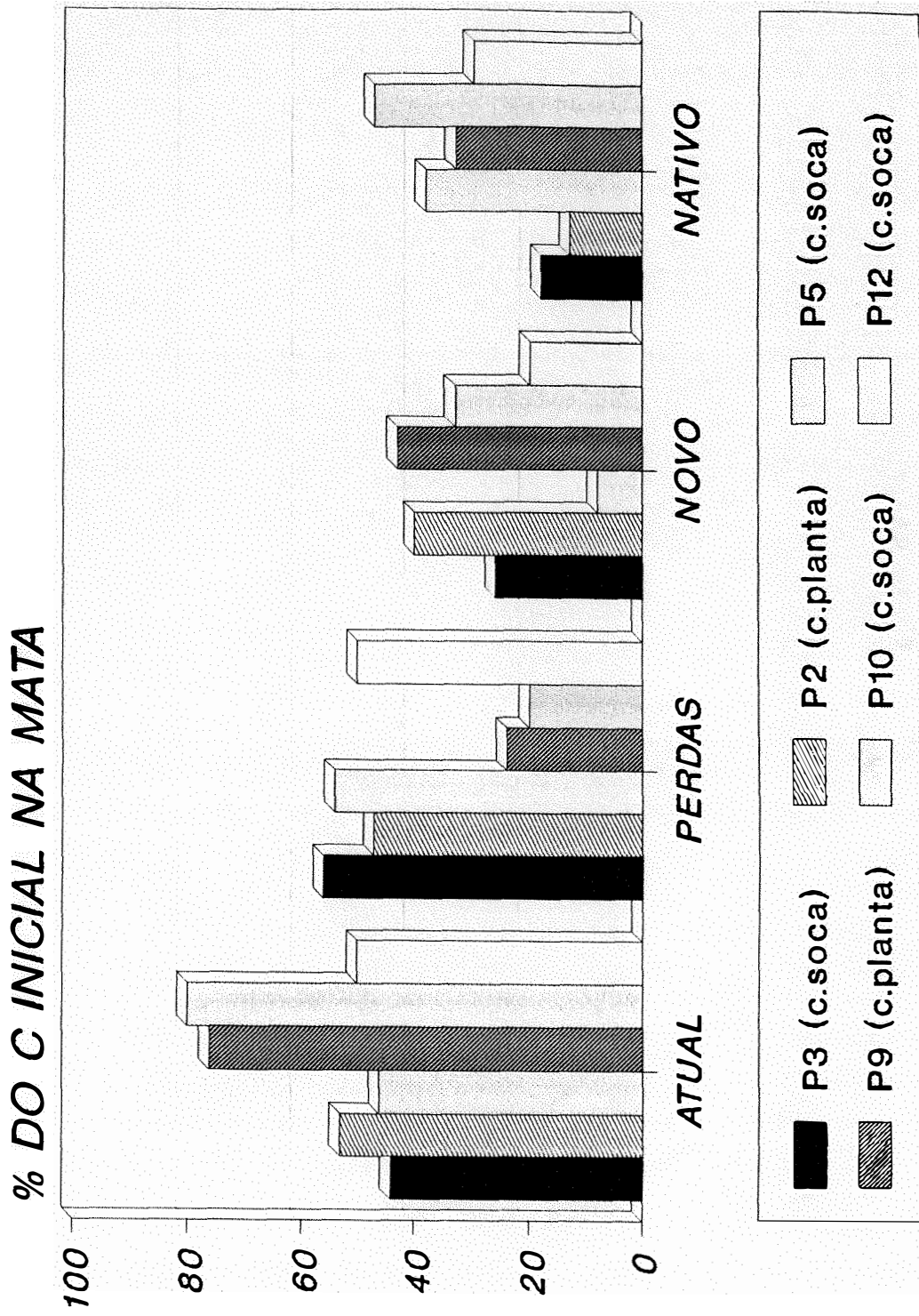


Figura 27. Dinâmica do carbono nos solos cultivados.

outros fatores estejam influenciando sua distribuição tais como manejo, textura, mineralogia, erosão além do histórico dessas áreas.

É estimado que a cultura da cana-de-açúcar deixa no solo de 15 a 20% do seu peso por ano em forma de matéria orgânica (raízes e soqueira) (BARNES,1974). Considerando uma produtividade média de 80 toneladas/hectare/ano tem-se em torno de 12 a 16 toneladas/hectare/ano de matéria orgânica. Ao que tudo indica esta matéria orgânica é muito instável e não está se acumulando no solo. Como observou CERRI(1986), o estoque de matéria orgânica é composto de 50% de carbono estável. A outra parte é formada por carbono biodegradável procedente dos resíduos da cana-de-açúcar. A partir dessa entrada, 80% é rapidamente mineralizada e 20% é incorporada anualmente ao solo. A parte anualmente incorporada é distribuída em duas frações principais as quais são também degradadas em diferentes velocidades: a maior fração tem um pequeno tempo de residência e a menor fração é decomposta com um tempo de residência de vinte anos.

4.3.6. Capacidade de troca cationica (CTC)

Como se observa da Tabela 4, a CTC decresceu significativamente nos solos cultivados, principalmente na profundidade de 0-20 cm. Abaixo dessa profundidade nota-se que embora seja inferior às condições originais a diferença só foi significativa no P14 (AQ), no P2 (LE) e P9 (LR), Esse decréscimo está provavelmente relacionado com a diminuição da matéria orgânica. A Figura 23c evidencia o decréscimo da CTC nos solos cultivados

na camada superficial; já em subsuperfície a CTC está linearmente relacionada com os solos de mata.

Com base na diferença obtida entre as médias da CTC dos solos cultivados e sob mata verifica-se que os maiores decréscimos (22%) ocorreram nos solos de textura argilosa e os menores (6%) foram encontrados nos solos arenosos considerando-se a profundidade de 0-20 cm. É interessante observar que o maior decréscimo na CTC não correspondeu necessariamente ao solo que perdeu mais carbono (P5). Esse comportamento pode ser devido à adição de fertilizantes e corretivos que contribuíram para o aumento das cargas negativas. De acordo com UEHARA e KENG (1975), o aumento na quantidade de cations, especialmente os bivalentes, conduzem indiretamente à elevação da CTC.

Observa-se, ainda (Tabela 5), que os baixos coeficientes de variação dos solos estudados evidenciam a grande uniformidade da CTC, principalmente nas camadas superficiais.

4.3.7. Capacidade de troca cationica efetiva (CTCe)

Nos solos originalmente álicos e distróficos a CTCe foi relativamente baixa conforme critérios estabelecidos por LOPES (1983), variando de 0,50 a 5,39 meq/100 cm³, enquanto que, naquele primitivamente eutrófico - TE, os valores foram mais elevados com uma variação entre 3,76 a 9,9 meq/100 cm³. Em ambas as condições, solos álicos ou eutróficos, os maiores valores correspondem a camada superficial 0 - 30 cm (Figura 28).

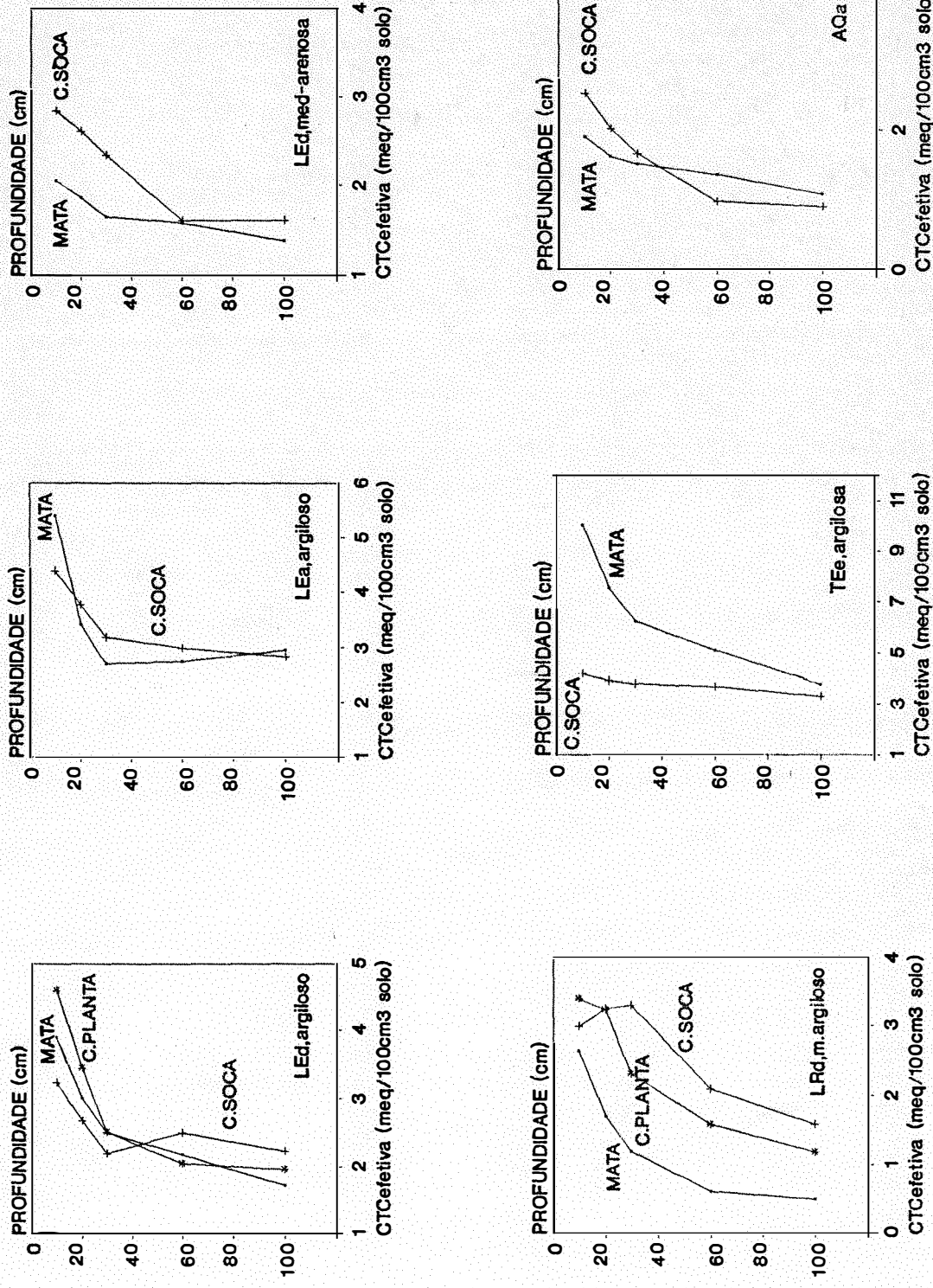


Figura 28. Distribuição da CTC efetiva em profundidade.

Como se observa na Tabela 4, as modificações ocorridas na CTCe com o cultivo seguem estreitamente a soma de bases e pH, haja visto a correlação significativa com a soma de bases ($r=0,96$) e pH ($r=0,61$). O uso de fertilizantes e corretivos contribuiu para elevação da CTCe praticamente em todas as profundidades nos solos distróficos e álicos, fato também comprovado por SANCHEZ et al. (1983). Nesses solos o alumínio e hidrogênio que ocupavam os sítios de troca foram substituídos principalmente pelo cálcio (HOCHMAN et al., 1992).

Para SANCHEZ et al. (1983), EDMEADES (1982) e JUO e BALLAUX (1977) o aumento na CTCe em solos cultivados tem uma influencia muito significativa no decréscimo de perdas de cations por lixiviação.

O aumento da CTCe com o cultivo nos solos de textura argilosa foi de 4 a 18% abaixo dos 10cm de profundidade. Nos solos de textura média arenosa e arenosa o acréscimo foi de 10 a 42% e restringiu-se até a profundidade de 30 cm. Nos de textura muito argilosa os aumentos foram os mais expressivos, variando de 28 a 242% sendo que os valores mais elevados foram observados na camada de 10 cm, o que pode ser atribuído às práticas de manejo incluindo aplicações de vinhaça. Como mostra a Figura 29a, praticamente todos os solos tiveram aumento da CTCe tanto em superfície como em subsuperfície.

No solo originalmente eutrófico, o cultivo provocou decréscimo da CTCe em todas as profundidades, devido redução na soma de bases e conseqüentemente no pH. Os decréscimos foram de 53% na camada superficial (0 - 20 cm) e de 26% em subsuperfície. Esse comportamento fica bem evidenciado na Figura 28.

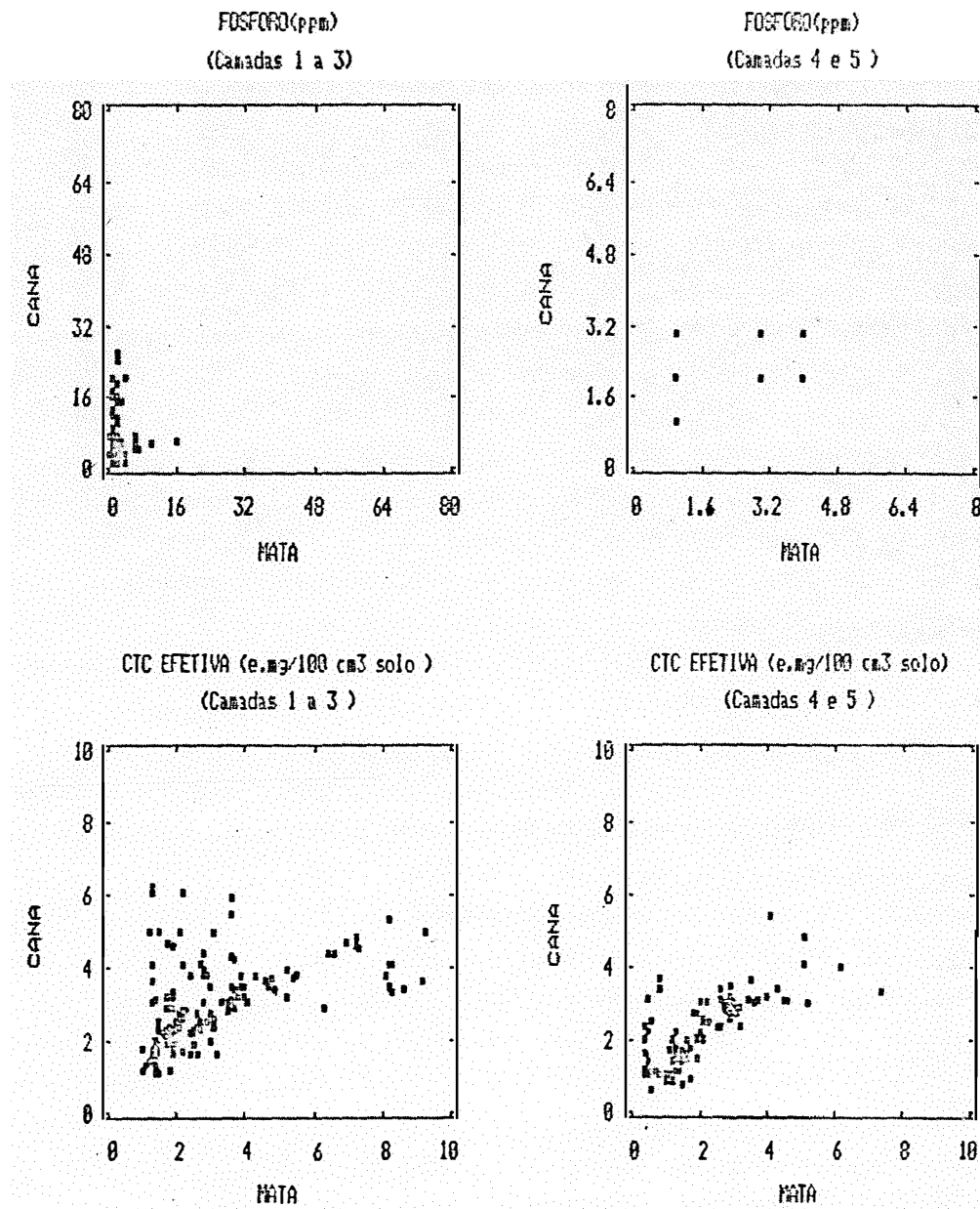


Figura 29. Relação entre algumas características químicas de solos sob cana e sob mata. a) CTC efetiva, b) Fósforo. (Camadas 1 a 3=0-30cm; 4 a 5=60-100 cm).

Como se verifica na Tabela 5, a CTCe nos solos sob mata apresenta altos coeficientes de variação tanto em superfície como em subsuperfície, refletindo a variação na soma de bases e, portanto, na sua fertilidade. Já nos solos cultivados o coeficiente de variação é baixo evidenciando uniformidade na CTCe como consequência do cultivo.

4.3.8. Fósforo (P)

Os teores de P apresentados na Tabela 4 mostram que os solos sob cultivo tem valores médios - 1,3 a 7,4 - e, no caso do LE (P7) de 18,7 a 24,1 ppm - significativamente mais elevados quando comparados com os solos sob mata (1 a 4,5 ppm) na profundidade de 0-20 cm. Abaixo dessa profundidade não há diferença significativa.

O valor limite de deficiência de P usado para interpretação de análises na região do cerrado - 5 ppm para solos argilosos e 10 ppm para solos de textura média a arenosa - (LOPES, 1983), evidenciam a elevada carência em ambas as condições presentemente estudadas, com exceção do P7 (LE - média-arenosa), cujos teores estão muito acima de 10 ppm até a profundidade de 20 cm (Figura 30).

A deficiência natural desse nutriente, juntamente com a alta capacidade de fixação de P (LEAL e VELLOSO, 1973 e SANCHES e SALINAS, 1981), tem sido considerada uma das limitações mais severas para colocação desses solos no processo produtivo. Entretanto, o uso do solo com cana-de-açúcar evidencia um pequeno acréscimo desse nutriente, principalmente na camada superficial (Figura 29b).

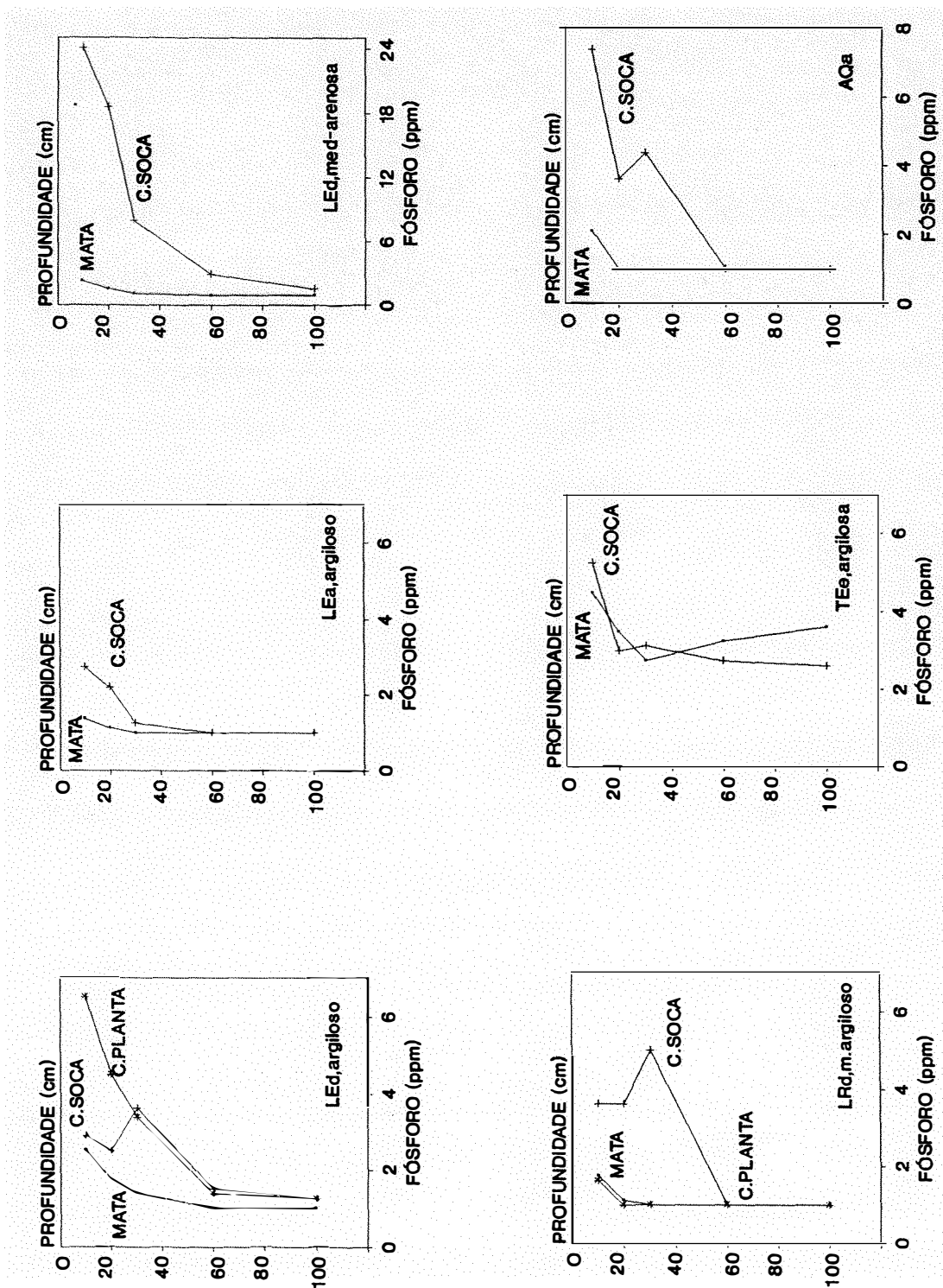


Figura 30. Distribuição do fósforo em profundidade.

4.3.9. Ponto de carga zero (PCZ)

As curvas de titulação potenciométrica, nas profundidades de 0-10 e 60-100 cm, dos solos estudados estão apresentadas na Figura 31. A forma dessas curvas assemelha-se àquelas dos solos tropicais estudados por CHAVES e TRAJANO (1992), MAZZA (1985) e RAIJ e PEECH (1972).

De maneira geral nota-se que os valores de PCZ dos horizontes superficiais dos solos cultivados são mais elevados do que na mata (Tabela 6), o que pode ser atribuído à diminuição nos conteúdos de matéria orgânica (Tabela 4).

Os valores mais elevados de PCZ no LR, tanto na mata (P8) como nas áreas cultivadas (P9, P10) deve-se à sua mineralogia oxidica. Os baixos valores de PCZ na profundidade de 60-100 cm da TE (P11, P12) são atribuídos à mineralogia caulínica associada a minerais 2:1 (interestratificados).

Em todos os solos estudados, nas duas profundidades, o PCZ é inferior ao pH indicando a presença de carga líquida negativa tanto em condições naturais como sob cultivo como foi demonstrado por GALLEZ et al. (1976) e UEHARA e KENG (1975) em pesquisas sobre solos tropicais. De acordo com os últimos autores, o pH do solo deve manter-se acima do PCZ de forma a minimizar a perda de cations por lixiviação. No presente caso o cultivo provocou um aumento no PCZ e, como consequência, provavelmente contribuiu nas perdas por lixiviação principalmente nos perfis latossólicos.

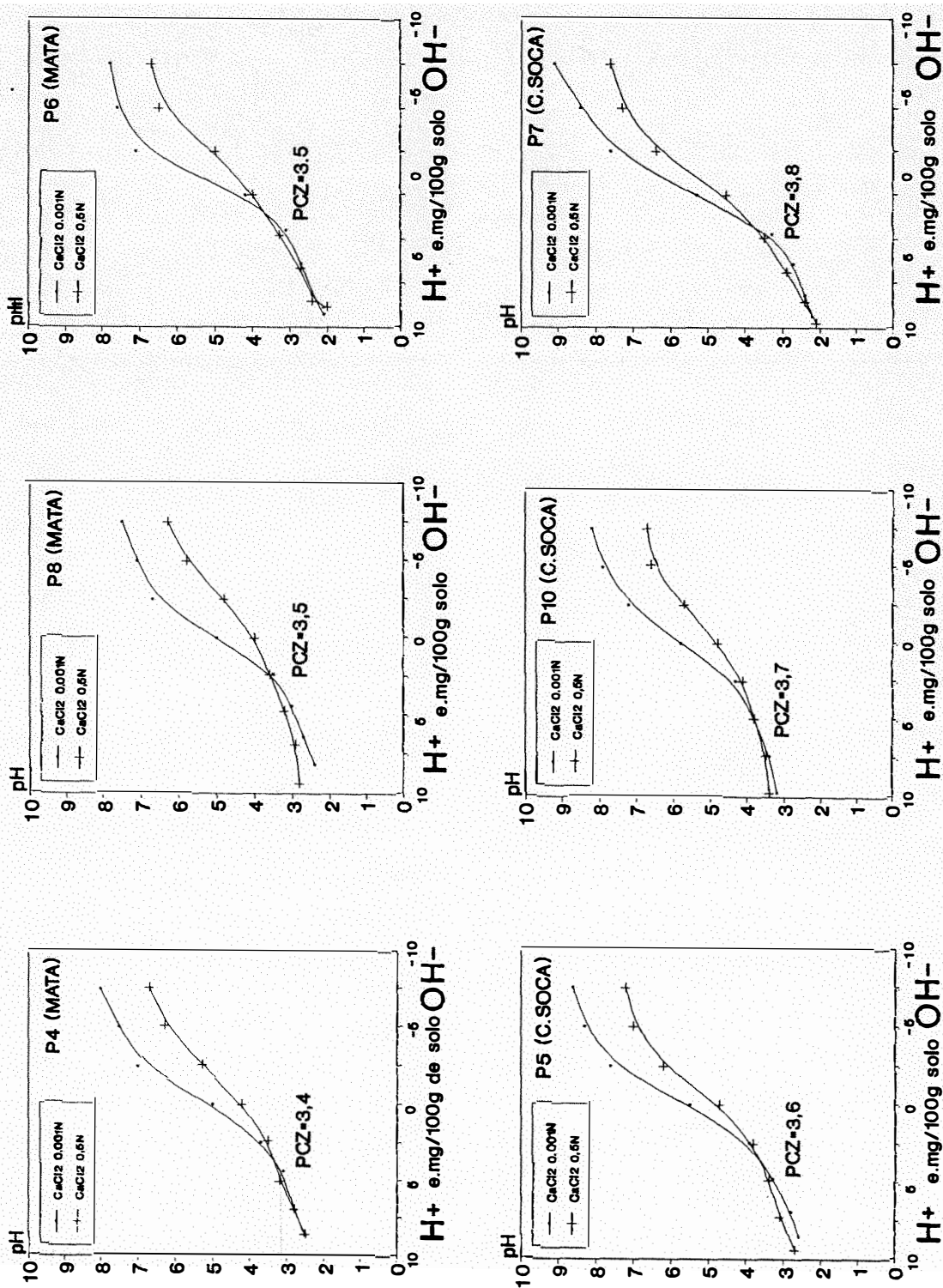


Figura 31. Curvas de titulação potenciométrica (0 - 10 cm).

Tabela 6. Valores do ponto de carga zero (PCZ) dos solos estudados, em duas profundidades.

Solo	Profundidade (cm)		Solo	Profundidade (cm)	
	0-10	60-100		0-10	60-100
P1 - LE (mata)	3,3	3,8	P8 - LR (mata)	3,5	5,4
P2 - LE (cana planta)	3,5	4,1	P9 - LR (cana planta)	3,7	5,4
P3 - LE (cana soca)	3,7	4,1	P10 - LR (cana soca)	3,7	4,8
P4 - LE (mata)	3,4	3,5	P11 - TE (mata)	*	2,8
P5 - LE (cana soca)	3,6	3,5	P12 - TE (cana soca)	3,0	3,3
P6 - LE (mata)	3,5	3,8	P13 - AQ (mata)	2,7	4,1
P7 - LE (cana soca)	3,8	3,1	P14 - AQ (cana soca)	3,0	3,9

* não se obteve o cruzamento das curvas de titulação potenciométrica

Na profundidade de 60-100 cm o PCZ das áreas cultivadas é maior ou próximo comparativamente às áreas de mata, com exceção do P10 (LR), P7(LE) e P14(AQ) cujos valores são inferiores. Isso provavelmente esteja relacionado à presença de ânions advindos da vinhaça, os quais são fortemente adsorvidos e tem a tendência de aumentar a carga negativa em solos com capacidade de troca dependente de pH, conforme observaram UEHARA e KENG (1975)

4.3.10. Micronutrientes

A dinâmica dos micronutrientes nos diversos solos estudados está resumida na Tabela 7. De maneira geral ocorreram sensíveis alterações dos conteúdos destes nutrientes tanto na superfície como em subsuperfície. Inicialmente notou-se nos perfis sob mata que a distribuição destes elementos é função da textura e do material de origem. Assim é que os solos desenvolvidos de eruptivas básicas (LR e TE) apresentam teores mais elevados quando comparados com os solos derivados de arenitos (AQ) e os solos intermediários (LE).

Examinando-se os perfis sob vegetação natural nota-se que há maior concentração de micronutrientes nas camadas superficiais. Eventualmente, alguns perfis apresentaram valores mais elevados em subsuperfície como por exemplo o P11 (TE) onde se verifica maiores teores de Cu.

Tabela 7. Teores de micronutrientes dos solo sob mata e cultivados

Prof. (cm)	Zn	Cu	Fe	Mn
	ppm			
P1 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	0,60	1,96	64,8	22,2
10-20	0,80	1,80	15,0	12,4
P2 - Latossolo Vermelho Escuro (cana planta)				
0-10	1,42	1,14	8,4	3,6
10-20	0,47	3,35	30,2	29,2
P3 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	0,30	1,96	13,8	12,1
10-20	1,18	2,6	22,8	18,8
P4 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	0,44	1,66	45,6	28,4
10-20	0,98	2,76	43,6	33,6
P5 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	0,16	2,24	12,6	11,2
10-20	0,72	2,66	12,6	33,2
P6 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	0,54	0,68	376	12,8
10-20	0,48	0,28	118	3,6
P7 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	0,66	0,26	44,4	4,2
10-20	1,66	0,62	44,8	5,0

Tabela 7. Continuação.

Prof. (cm)	Zn	Cu	Fe	Mn
	ppm			
P8 - Latossolo Roxo (mata)				
0-10	0,68	4,26	68,0	50,8
10-20	0,64	3,92	43,2	40,8
P9 - Latossolo Roxo (cana Planta)				
0-10	0,38	2,86	16,8	42,4
10-20	0,42	2,96	17,9	42,4
P10 - Latossolo Roxo (cana soca)				
0-10	0,52	3,10	42,4	66,0
10-20	0,48	3,00	22,4	32,8
P11 - Terra Roxa Estruturada (mata)				
0-10	4,00	4,76	12,6	404
10-20	1,82	5,70	12,7	296
P12 - Terra Roxa Estruturada (cana soca)				
0-10	0,94	5,28	13,3	408
10-20	0,72	5,02	11,0	344
P13 - Areia Quartzosa (mata)				
0-10	1,32	0,32	110	6,0
10-20	0,32	0,28	63,2	3,0
P14 - Areia Quartzosa (cana soca)				
0-10	0,32	0,26	36,0	5,7
10-20	0,24	0,24	38,4	3,9

as áreas cultivadas não ocorre um comportamento definido uma vez que alguns perfis evidenciam decréscimo tanto em superfície como em subsuperfície e outros com acréscimos, como é o caso do Cu.

Os teores de Zn nos solos cultivados variam de um mínimo de 0,66 ppm a um máximo de 1,66 ppm. Os teores médios são superiores aos encontrados nas condições originais somente no LE textura argilosa (P2 e P3) e no LE textura média arenosa (P7). Os maiores decréscimos se verificaram na TE textura argilosa (P12) e AQ (14) . Não se observou correlação com o conteúdo de carbono ($r=0,22$). JAHIRUDDIN et al. (1992), CASTRO et al. (1987), MARTINS (1968) e VALADARES (1975), também não encontraram boa correlação entre os teores de zinco e carbono.

Constatou-se que os solos que receberam vinhaça por muito tempo (Tabela 2), somente o LE (P2 e P3) apresentou acréscimo de Zn com o cultivo sendo que nos demais não se observou enriquecimento nesse micronutriente como foi constatado por alguns pesquisadores (CAMARGO et al., 1983).

Os teores médios de Cu aumentaram nos solos cultivados com exceção do LR (P9 e P10), LE textura média-arenosa (P7) e AQ (P14). Os teores de Cu variaram de 0,24 a 5,28 ppm sendo os mais elevados relacionados com a TE (P12). Encontrou-se correlação positiva com pH ($r = 0,51$) e com o conteúdo de argila ($r = 0,76$). O aumento na disponibilidade do cobre ocorre com o aumento do pH e teores de argila (KATYAL e SHARMA,1991; HOROWITZ e DANTAS,1973). Baseando-se em valores negativos do coeficiente de correlação entre Cu e conteúdo de areia total verificou-se que o teor decresce quando a textura torna-se mais arenosa (KATYAL e SHARMA, 1991). Esse

comportamento pode ser observado na Tabela 7, onde os solos de textura média-arenosa e arenosa apresentaram os teores mais baixos entre os solos estudados. O Cu apresentou correlação positiva com os teores de manganês ($r=0,78$). Aparentemente o sistema de manejo empregado tende a enriquecer o solo com este elemento entretanto, quanto aos solos arenosos, caso da AQ, há um empobrecimento devido à textura arenosa.

Os teores médios de ferro diminuíram com o cultivo na maioria dos solos, principalmente na profundidade de 0-10 cm. Dentre os micronutrientes estudados é o ferro que apresenta os maiores decréscimos. Verificou-se correlação negativa com o pH ($r= - 0,40$), evidenciando que altos valores de pH podem levar à indisponibilidade deste elemento.

O manganês mostra uma grande variação. Os maiores valores são encontrados na TE (P11,P12) e LR (P8,P9,P10) independente se cultivados ou não, o que é esperado tendo em vista o material de origem (rocha básica) ser rico nesse elemento. Os teores decrescem acentuadamente nos solos de textura média-arenosa e arenosa (Tabela 7), comportamento também observado por LOMBIN (1983) em solos com granulometria semelhante.

4.4. Mineralogia da fração argila

A composição mineralógica da fração argila dos solos cultivados e virgens é predominantemente caulinítica com menores teores de gibbsita, vermiculita aluminosa e interestratificados (Tabela 8).

Tabela 8. Composição mineralógica da fração argila.

Solo	Perfil	Mineralogia
Latossolo Vermelho-Escuro argiloso	P1-P2-P3	Caulinita, Gibbsita
Latossolo Vermelho-Escuro argiloso	P4-P5	Caulinita, Gibbsita
Latossolo Vermelho-Escuro média-arenosa	P6-P7	Caulinita, Gibbsita, Vermiculita-Al
Latossolo Roxo muito argiloso	P8-P9-P10	Caulinita, Gibbsita
Terra Roxa Estruturada argilosa	P11-P12	Caulinita, Interestratificados
Areia Quartzosa	P13-P14	Caulinita, Gibbsita, Vermiculita-Al

O exame dos difratogramas (Figura 32) revela que os perfis virgens e cultivados são mineralogicamente semelhantes demonstrando que a esse nível não ocorreu alteração da fração argila. As pequenas diferenças detectadas devem certamente corresponder ao processo de preparação das amostras para análise através difração de raios-X. Esse resultado já era esperado uma vez que se tratam de solos em avançado estágio de intemperismo. A literatura cita efeitos do cultivo na mineralogia de solos em estágio de intemperismo menos avançado podendo ocorrer casos de transformações envolvendo principalmente a mica (BLANK e FOSBERG, 1989).

Outro importante constituinte da fração argila são os óxidos de ferro cuja porcentagem nos solos derivados de rochas básicas (Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada) alcança teores superiores a 18%. Nos Latossolos Vermelho-Escuros esses óxidos participam com porcentagens que podem variar de 8 a 18%, enquanto que na Areia Quartzosa está próxima de 3 a 4 %.

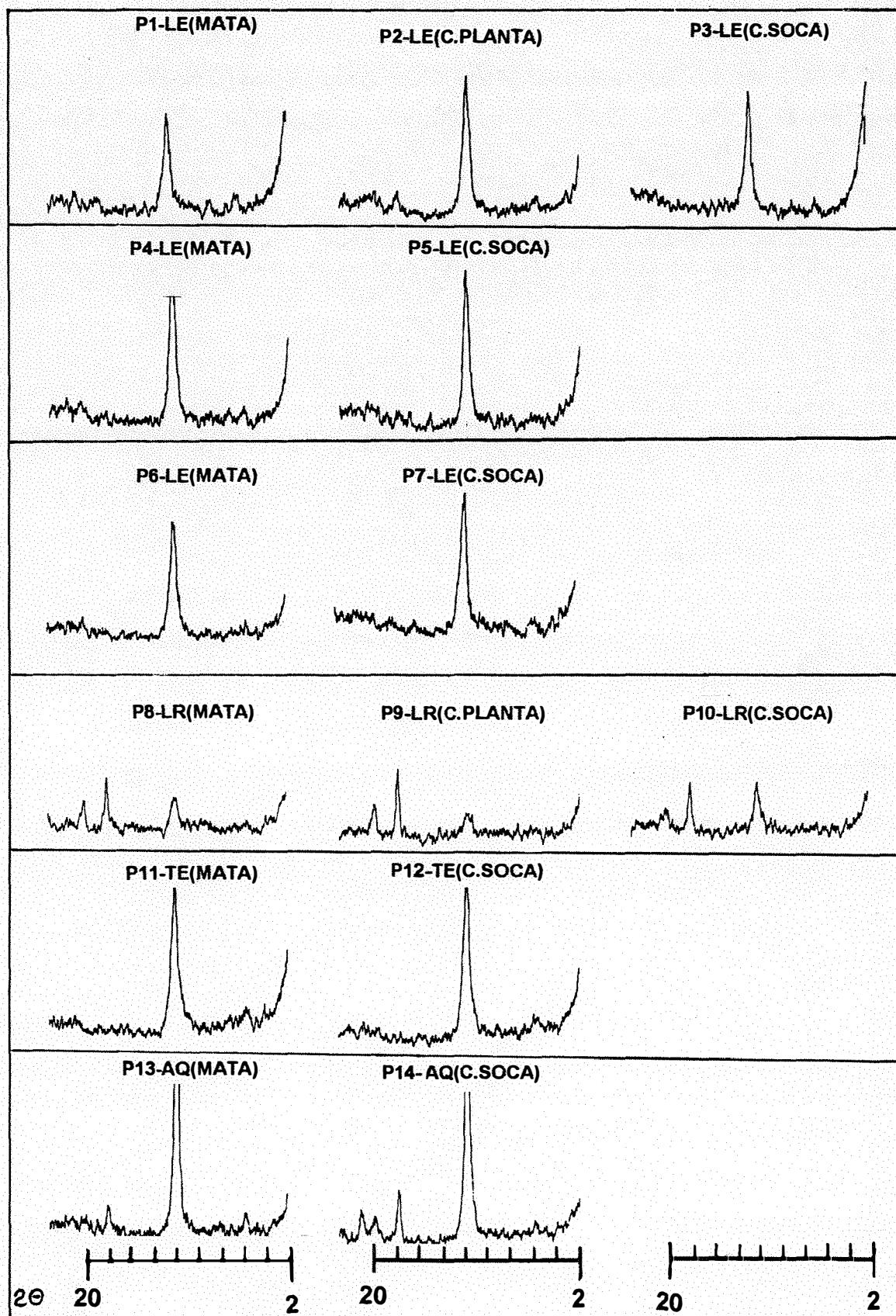


Figura 32. Difratogramas de raios-X (amostras deferrificadas e glicoladas) dos solos estudados na camada de 0-10 cm.

Com relação à fração areia o Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada são constituídos principalmente por magnetita e zirconita sendo que os demais solos são predominantemente quartzosos.

4.5. Características micromorfológicas

Na tentativa de facilitar a leitura e compreensão deste item optou-se pela apresentação dos resultados micromorfológicos em forma de texto sendo que, ao final, fez-se uma discussão e um resumo geral (Apêndice).

Local: Lençóis Paulista, SP
Latosolo Vermelho-Escuro argiloso
Perfis P1 (Mata), P2 (Cana planta) e P3 (Cana soca)

Perfil P1-Mata

Neste perfil predomina a trama do tipo grânica-granóidica e porfírica-granóidica-grânica.

A trama grânica-granóidica foi melhor expressa na camada de 0-20 cm onde o plasma e o esqueleto foram organizados em unidades ora discretas com dimensão aproximada de 1000 μm (grânica), ora coalescente (4000 μm) através de fragmentos vegetais ou excrementos (granóidica). Em ambas as tramas as unidades estruturais apresentam formas subarredondadas (Figura 33A).

A maior parte dos agregados desta camada, com maior destaque de 0-10 cm, parece ter sido elaborada pela fauna devido exibirem características particulares que os destacam dos demais, ou seja, cor mais clara, constituintes

minerais e orgânicos de diâmetros selecionados ($<100 \mu\text{m}$), fragmentos vegetais que obedecem certo arrançamento e formas geralmente ovais.

A trama porfírica-granóidica-grânica foi melhor observada a partir dos 20 cm. Notou-se que os agregados apresentavam um certo empacotamento, porém separados por microfissuras e cavidades. Essa reorganização foi denominada de porfírica. Nessa mesma profundidade observou-se, próximo aos canais e em seu interior, agregados discretos e às vezes coalescentes entre poucas unidades através de esqueleto ou fragmentos vegetais. Esse arrançamento foi denominado de grânico e granóidico.

Os poros do tipo empilhamento composto, caracterizados pelo empacotamento dos agregados que não se acomodam uns aos outros, foram dominantes nas camadas superficiais. Canais intercomunicantes entre si ou através de câmaras de vários tamanhos ($< 5000 \mu\text{m}$) foram freqüentes até 30 cm e se tornaram pouco presentes abaixo dessa profundidade. Nas câmaras a atividade biológica foi inferida pela presença de excrementos e resíduos orgânicos. Observou-se com freqüência, canais que apresentavam as paredes revestidas por esqueleto sem a presença de plasma. À medida que os agregados se tornavam mais coalescentes constatou-se, a partir de 20 cm, porosidade de microfissuras e cavidades intercomunicantes e também a presença comum de canais e câmaras de paredes mamelonadas (Figura 39a). Essas características foram observadas até a profundidade de 100 cm.

Pelotas fecais foram observadas em todas as camadas, porém em maior abundância na parte superficial sendo limitadas contudo, a canais e câmaras. A diversidade na forma e tamanho dos excrementos evidenciam heterogeneidade da fauna. Na camada superficial predominaram excrementos de formato oval, com paredes lisas e aproximadamente $100\mu\text{m}$ de diâmetro e ocorreram concentrados em pequenos núcleos. Confinados aos canais, constatou-se excrementos constituídos de fragmentos vegetais dispostos com certa simetria, formato elipsoidal com paredes lisas e com diâmetro de 400

μm . Notou-se, ainda, nas câmaras e em alguns canais, excrementos (2000 μm) mamelonados formados por material orgânico e mineral selecionados (<100 μm), provavelmente de minhocas. A coloração dos excrementos é mais clara que a matriz do solo (vermelho-escuro), com exceção daqueles menores (< 100 μm), os quais tem a mesma cor da matriz (Figura 33B).

Raízes de diâmetros variados e fragmentos vegetais foram observados em todo o perfil com maior abundância na camada superficial. Os maiores diâmetros de raízes (500 μm) predominaram até os 20 cm e possuíam orientação vertical.

Em todo o perfil foram constatados agrotúbulos, sendo que a maioria era constituída por esqueleto e plasma associados formando microagregados com estrutura de base porfírica densa enquanto que outros formados apenas de plasma com estrutura de base do tipo aglomeroplásmica. Em profundidade (60-100 cm), foram encontrados isotúbulos em pequena quantidade constituídos por grãos de esqueleto cimentados por plasma porém sem constituírem agregados e com arranjo do tipo porfírico denso.

A estrutura plásmica isótica, isto é, sem domínios anisotrópicos, parece ser a predominante neste perfil.

Perfis P2 (cana planta) e P3 (cana soca)

Os efeitos do cultivo - 18 e 21 anos, cana planta e soca, respectivamente, restringiram-se até a profundidade de 30 cm, além da qual não se conseguiu detectar diferenças significativas em relação à mata. Nessa profundidade a trama original sofreu reorganização para porfírica com cavidades

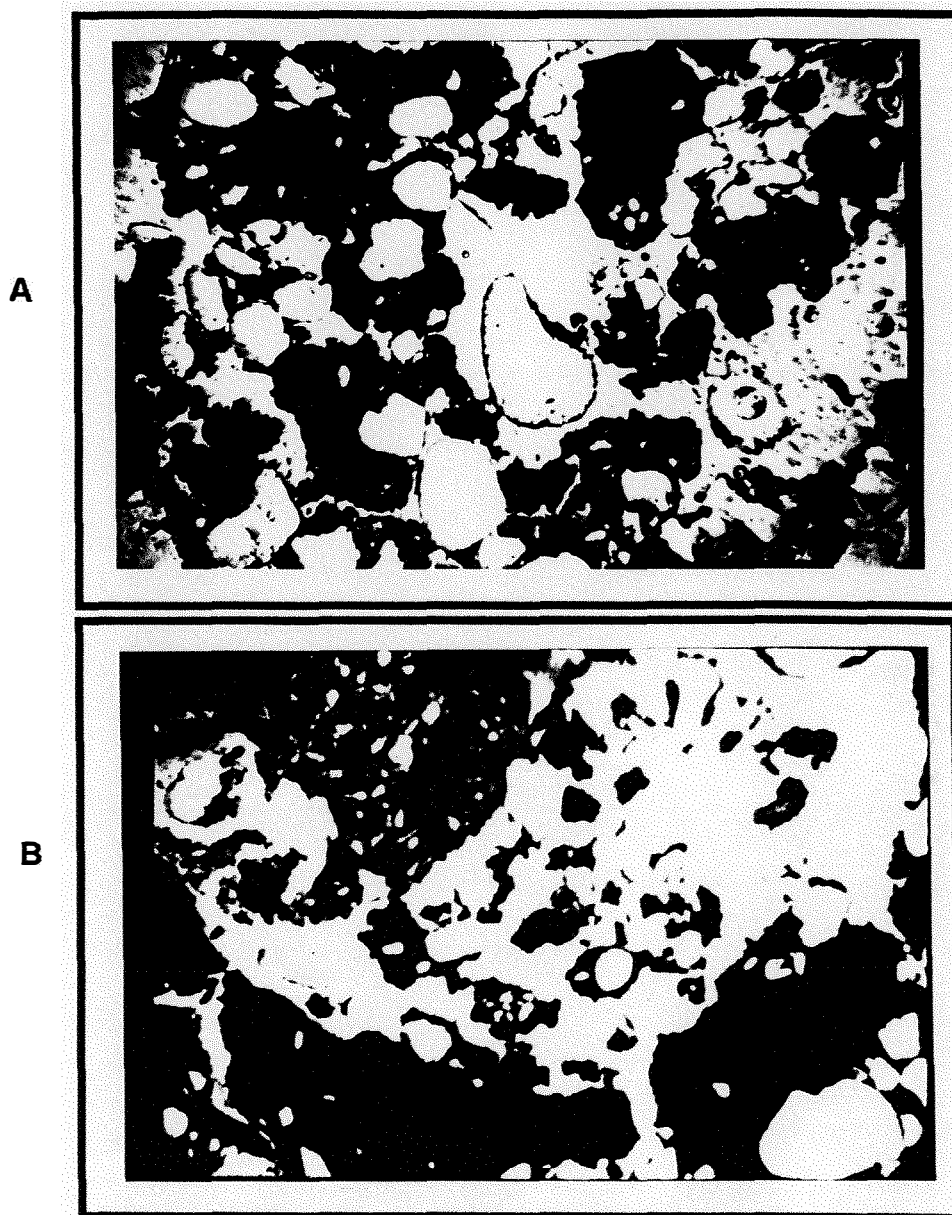


Figura 33. Fotomicrografia do LE argiloso (P1) sob mata na profundidade de 0-20 cm. A)- Trama grânica e granóidica. B)- Canal biológico de ocorrência restrita nas áreas cultivadas (aumento 40X).

intercomunicantes na cana planta e com cavidades e fendas (50 a 100 μm) na cana soca. Localmente foi constatada a trama grânica e granóidica.

A modificação da trama do solo com o cultivo, conforme constatado, contribuiu para alteração da morfologia dos poros.

Os poros do tipo cavidades foram dominantes, sendo que as cavidades maiores e intercomunicantes (1000 μm) foram mais freqüentes na cana planta e até 30 cm de profundidade. Essa reorganização do espaço poroso refletiu em decréscimo dos poros interagregados, identificados como macroporos (Figura 7).

Os canais foram presentes principalmente até 10 cm de profundidade, porém com ocorrência inferior à condição de mata.

Fendas alinhadas no sentido horizontal e oblíquo (<500 μm) foram de freqüência restrita e observadas somente na profundidade de 10-20 cm no perfil sob cana soca. Nessas fendas constatou-se fragmentos de raízes com diâmetro inferior ao espaço fissural. As câmaras (3000 μm) foram pouco freqüentes em todas as profundidades estudadas.

Pela pouca ocorrência de pelotas fecais em relação às condições originais conclue-se que a atividade da fauna sofreu decréscimo. Constatou-se a presença de dois tipos de excrementos: primeiramente verificou-se que os maiores encontravam-se associados à matriz do solo e não confinados a canais ou câmaras, provavelmente enterrados pela mobilização do solo. Esses excrementos são semelhantes àqueles presentes na mata, de formas mamelonadas constituídos por material mineral e orgânico de tamanho selecionado. O outro tipo é constituído apenas de plasma e apresenta forma circular e cor mais escura que a matriz, aparecendo enclausurados em pequenas cavidades, resultando em trama do tipo grânica.

As raízes com diâmetros superiores a 300 μm foram pouco freqüentes e obedeciam a uma orientação vertical; as de diâmetro menores (150 μm) eram

mais tortuosas e se orientavam preferencialmente no sentido horizontal e oblíquo. Não se observou a presença de agrotubos.

A estrutura plásmica não foi alterada com o cultivo permanecendo isótica em todas as profundidades.

Local: Lençóis Paulista, SP

Latossolo Vermelho-Escuro argiloso

Perfis P4(Mata) e P5(Cana soca)

P4(Mata)

Neste perfil a organização dos constituintes contribuiu para dar origem a vários tipos de trama. Na camada de 0 a 10 cm o plasma e o esqueleto se organizaram em unidades discretas de forma subangular e com diâmetro ao redor de 300 μm , a qual foi denominada de grânica e quando estas tornavam-se coalescentes adquiriam formas subarredondadas e diâmetro ao redor de 1000 μm , passando a compor a trama granóidica (Figura 34A). Localmente foi observado que o plasma e o esqueleto se uniam em unidades de forma angulares e parcialmente acomodadas. A essa organização denominou-se de frágmica. Em subsuperfície (10 a 30cm) além da grânica e granóidica, observou-se que os grãos estão envoltos num plasma mais denso e contínuo originando, embora localmente, a trama porfírica.

Esses aspectos em conjunto são associados à forte pedalidade, estrutura grumosa e granular, maior porcentagem de macroporos e maior densidade constatada nesta profundidade. A partir de 30 cm de profundidade passam a predominar as tramas grânica e granóidica porém com unidades menores que às das camadas superficiais, justamente onde as observações morfológicas detectaram estrutura maciça porosa que se desfaz em pequena angular.

Os poros do tipo empilhamento composto predominaram em todo o perfil e são resultantes do empilhamento de microagregados e agregados tendendo, por vezes, para poros aplainados da ordem de 500 μm de diâmetro entre os agregados e 30 μm no interior dos mesmos.

Canais intercomunicantes e câmaras preenchidos com raízes e pelotas fecais foram observados em grande quantidade principalmente nas camadas superficiais. Canais com as paredes revestidas por esqueleto ou preenchendo o seu interior foram comuns evidenciando a intensa atividade biológica.

Pelotas fecais foram observadas em todas as profundidades porém com maior ocorrência em superfície e preferencialmente associadas às câmaras. Excrementos de forma oval e paredes lisas da mesma cor da matriz do solo - vermelho-escuro - e com diâmetro ao redor de 100 μm foram dominantes. Por outro lado, pelotas fecais de paredes mamelonadas e com constituintes triados foram de ocorrência bastante comum.

Raízes foram comuns em todas as profundidades e de orientação preferencial em sentido vertical. Como constatado no perfil 1, algumas raízes apresentavam-se fragmentadas pela fauna visto que localmente foram observadas presença de pelotas fecais. A maior parte das raízes apresentava diâmetro ao redor de 600 μm .

Os agrotubos presentes eram constituídos principalmente por grãos de plasma formando microagregados de forma a originar trama interna grânica. Poucos eram formados por esqueleto e plasma associados.

A intensa atividade biológica e a abundante presença de raízes nas camadas superficiais foram consideradas como responsáveis pela elevada macroporosidade constatada.

P5 (Cana soca)

O cultivo por 30 anos alterou as características micromorfológicas até a profundidade de 30cm. Abaixo dessa profundidade as modificações foram pouco evidentes em relação às condições originais. A trama original modificou-se nitidamente adquirindo a aparência de porfírica com cavidades pequenas e poucas, notando-se claramente a redução da macroporosidade. Essa reorganização dos constituintes foi observada até a profundidade de 30cm. Entretanto na camada de 10 a 20 cm verificou-se que a trama porfírica com cavidades está associada com fendas de diversos tamanhos ($<100\mu\text{m}$) sendo que algumas assumem uma orientação horizontal (Figura 34B). Observações macromorfológicas nessa profundidade revelam condição apédica. Abaixo dos 30cm a trama porfírica vai cedendo lugar a granóidica e grânica e localmente porfírica semelhante à observada nas condições de mata.

Com relação a porosidade verificou-se nítido decréscimo em função da alteração da trama do solo principalmente nas camadas superficiais (Figura 8). Assim os poros do tipo empilhamento foram substituídos completamente por cavidades pequenas nos 10 cm superficiais e, somados a estes, ocorreram poros do tipo fendas na camada de 10 a 30cm. Os únicos canais observados foram preenchidos por raízes tortuosas e com diâmetro bem inferior aos de mata. Abaixo dos 30cm constatou-se maior diversidade na morfologia dos poros devido a presença dos poros de empilhamento, canais e câmaras, o que auxilia a explicar a presença da estrutura granular e maciça porosa, maior porosidade e

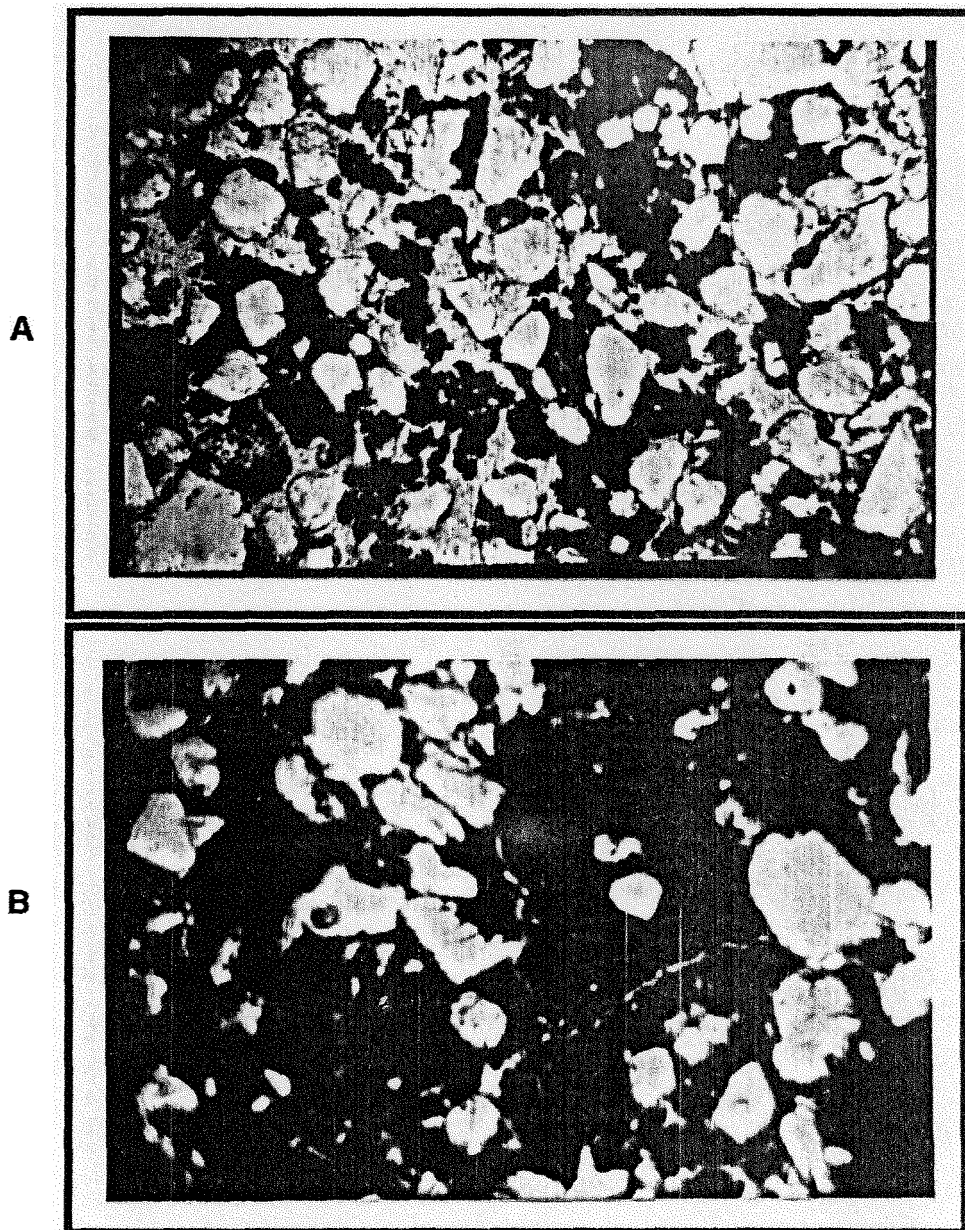


Figura 34. Alteração da trama com o cultivo na camada de 10-20 cm do LE argiloso. A)-Trama grânica-granóidica na mata (P4). B)-Trama porfírica com fendas na cana soca (P5). Aumento 40X.

menor densidade. A atividade biológica foi confirmada através de pelotas fecais de forma irregular, paredes mamelonadas e de constituintes triados cujos diâmetros são inferiores a 100 μm , observados a partir dos 30cm. Esses excrementos parecem herdados da mata por apresentarem falhas de material no seu interior ou nas bordas, e por vezes dificultando sua identificação, principalmente devido ao aspecto descolorido. Os agrotubos foram comuns também nessa profundidade.

As raízes foram de pouca ocorrência nas camadas superficiais e com diâmetro inferior às da mata. O aumento de raízes principalmente as absorventes (< 50 μm) foram nitidamente constatadas a partir dos 30cm.

Local: Lençóis Paulista

Latossolo Vermelho-Escuro textura média

Perfis P6 (Mata) e P7(Cana soca)

P6 (mata)

Neste perfil o plasma ocorre ora como pequenas faixas envolvendo e ligando os grãos do esqueleto ora apenas envolvendo-os sem nenhuma ligação; assim a menor proporção do plasma em relação ao esqueleto contribuiu para a ocorrência de uma organização do tipo gefúrica - quitônica até a profundidade de 30cm (Figura 35A). Abaixo dessa profundidade essa organização está associada localmente à trama porfírica. Essa organização dos constituintes se relaciona à estrutura fraca e moderada constatada na macromorfologia.

Os poros do tipo empilhamento simples e composto foram constatados em todos os horizontes e foram resultantes do empacotamento entre grãos

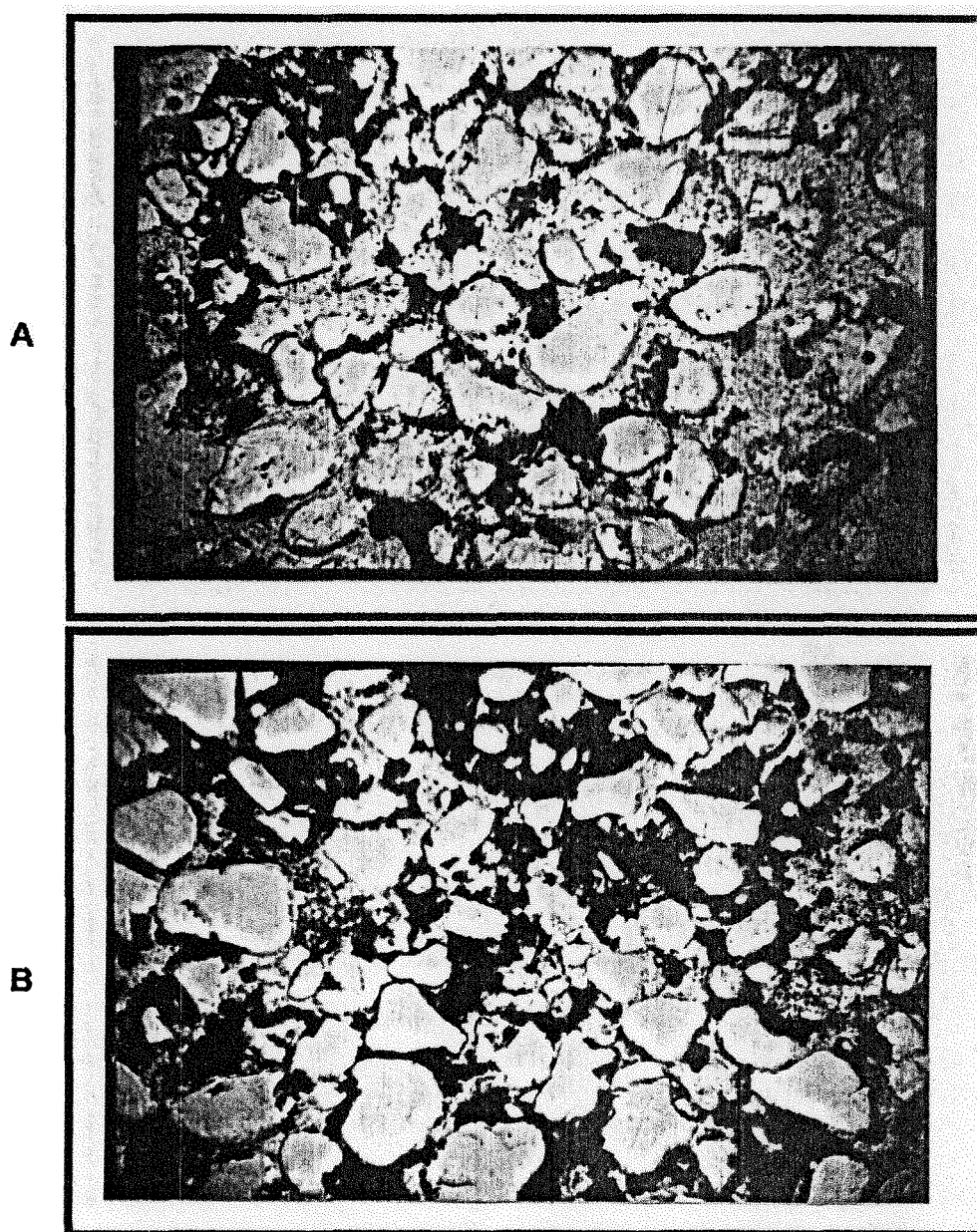


Figura 35. Alteração do espaço poroso na camada de 0-10 cm no LE média-arenosa. A)- Área de mata (P6). B)-Área cultivada (P7) mostrando maior proximidade do esqueleto devido à compactação. (Aumento 40 X).

simples e agregados. Os canais foram comuns em todas as profundidades e poucas raízes se fizeram presentes. As câmaras com paredes mamelonadas foram comuns e ocorreram até os 30cm. Os granotubos, constituídos essencialmente por esqueleto sem plasma, predominaram e se restringiram até os 30cm. A atividade biológica foi constatada até os 30cm, através de pelotas fecais de ocorrência rara constituídas de formas irregulares e material selecionado.

P7 (cana soca)

O cultivo de 12 anos neste solo não alterou a organização dos constituintes ou seja a trama gefúrica-quitônica predominou até os 30cm e a associação localmente da porfírica a partir dessa profundidade também foi observada nas condições cultivadas. Entretanto ficou nítido que os grãos do esqueleto se tornaram mais próximos e assim tem-se a impressão que aumentou a quantidade de plasma na camada de 10 a 20cm (Figura 35B). Isso refletiu na presença de uma estrutura maciça que se quebra em blocos subangulares, na redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo (Figura 9). Os poros do tipo empilhamento persistiram com o cultivo, porém notou-se decréscimo na quantidade. Os canais e as câmaras foram raros e as raízes pouco freqüentes e de orientação vertical. Os granotubos foram comuns a partir dos 60cm. Pelotas fecais não foram constatadas.

Local: Ribeirão Preto, SP

Latossolo Roxo muito argiloso

Perfis P8 (Mata), P9 (Cana planta) e P10 (Cana-soca)

P8 (mata)

Neste perfil o plasma é o constituinte dominante em relação ao esqueleto e está individualizado em unidades estruturais de 50 a 800 μ m, de

forma arredondada e subarredondadas que as vezes estão discretas e outras coalescentes gerando a trama grânica e granódica (Figura 36A). Na camada de 20 a 100 cm além da trama acima constatou-se a ocorrência de microagregados empilhados separados por microfissuras e cavidades formando uma trama porfírica densa e com pouco esqueleto. Esse empilhamento é bem nítido próximo aos canais uma vez que esses microagregados se encontram praticamente separados. Essa organização auxilia na explicação da estrutura grumosa e granular assim como menor densidade e maior porcentagem de macroporos constatadas neste solo.

Os poros de empilhamento composto, resultantes do empacotamento dos agregados, dominaram praticamente em todo o solo e foram associados a partir dos 20 cm a poros aplainados irregulares da ordem de 500 μm de diâmetro entre os agregados e 50 μm no interior dos mesmos.

Canais intercomunicantes e câmaras preenchidas com pelotas fecais foram abundantes. Galerias de formigas e cupins ocorreram em todo solo perfazendo 50% do material do solo; nestas as raízes absorventes (<50 μm) ocorreram em abundância. Pelotas fecais ocorreram até a profundidade estudada e foram observadas principalmente as de forma irregulares, paredes mamelonadas e constituídas de material triado (< 100 μm). As de forma oval (<100 μm), constituídas de plasma também estiveram presentes em todo solo. Com relação as raízes, o domínio ficou com as absorventes, praticamente em todas as camadas.

P9 (cana planta)

A mudança constatada após 40 anos de cultivo restringiu-se até os 30 cm. Observa-se com muita nitidez que as unidades estruturais, que

compunham a trama grânica e granóidica, aparecem fortemente empacotadas cujas formas grosseiramente esféricas (30 a 500 μ m) são ainda reconhecidas por estarem delimitadas por poros que tendem a assumir forma de fendas (Figura 36B). De 20 a 30 cm essas características foram mais acentuadas. Isso foi observado na morfologia onde detectou-se material compactado. Abaixo dessa camada não se verificou mudanças expressivas na organização dos constituintes quando comparada à mata.

Os poros originalmente do tipo empilhamento composto diminuíram e foram substituídos por fendas; entretanto, as freqüentes galerias que se observa neste solo ainda lhe imprimem a presença de poros de empilhamento composto responsáveis pela macroporosidade presente (Figura 10). Câmaras e canais estiveram presentes praticamente em todas as camadas. Pelotas fecais também estiveram presentes em todas as profundidades e foram semelhantes as da mata, porém em menor abundância. Raízes de 400 μ m de diâmetro foram presentes e as absorventes dominaram nas galerias onde a trama grânica persiste.

P10 (cana soca)

Os 40 anos de cultivo foram responsáveis por modificações até a profundidade de 30 cm, porém para cada camada analisada as alterações foram distintas. Na camada de 0 a 10 cm verificou-se uma diversidade no tamanho das unidades estruturais de 20 a 2000 μ m de diâmetro. Essas unidades parecem obedecer certo critério: as de 200 a 2000 μ m formam grosseiramente colunas verticais e os espaços entre elas são preenchidos pelas unidades de 20 a 100

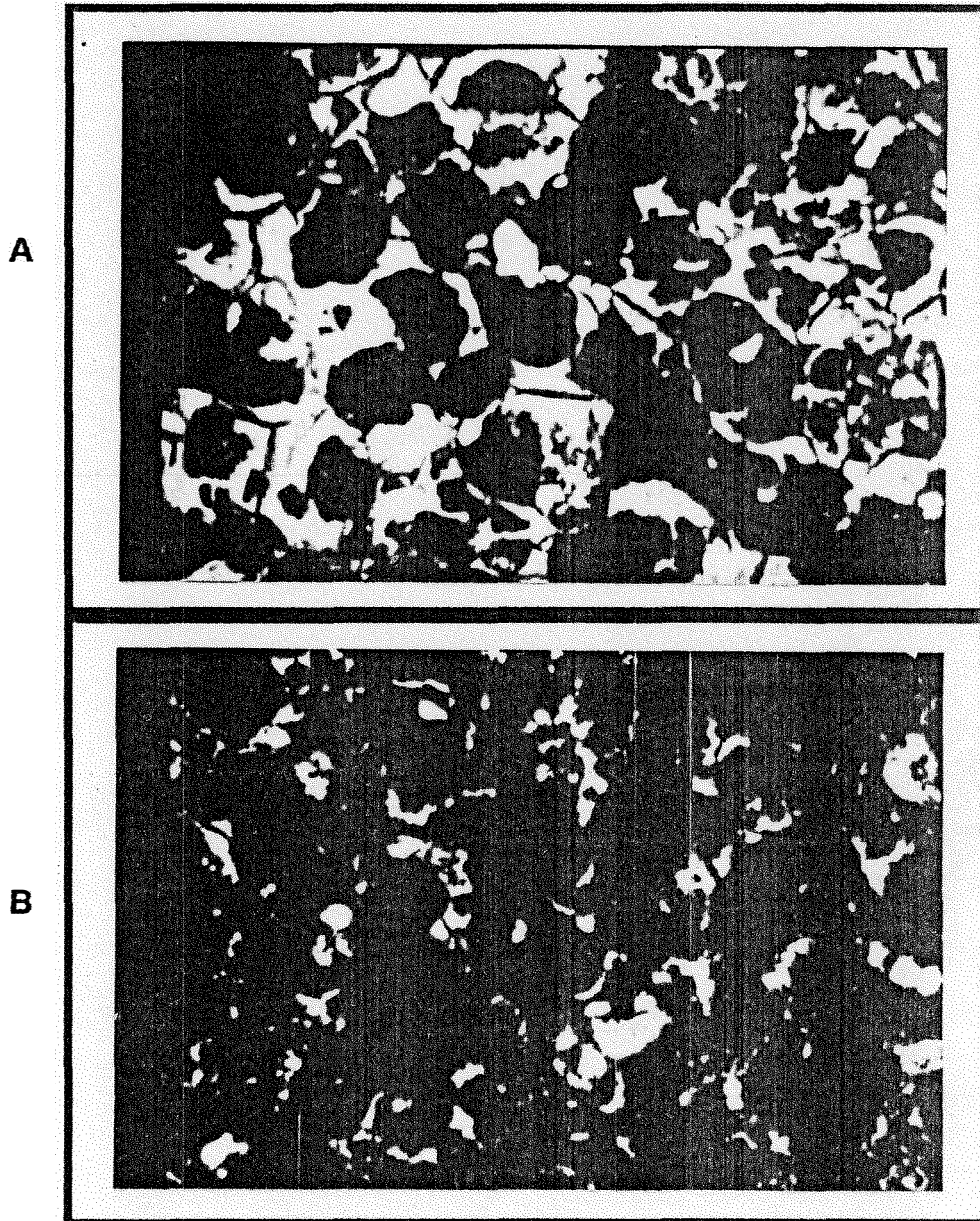


Figura 36. Alteração do espaço poroso na camada de 10-20 cm do LR muito argiloso. A)-Trama grânica na mata (P8). B)- Coalescência dos agregados pelo efeito da compactação na cana planta (P9). (Aumento 40 X).

μm as quais ocorrem com abundância (Figura 37A). Para TISDALL e OADES (1980) essas unidades não são facilmente destruídas por práticas de manejo devido serem resistentes ao umidecimento rápido podendo coalescerem dando origem a agregados maiores. Esses agregados de diversos tamanhos se organizaram de forma discretas mantendo dessa maneira certa macroporosidade que foi enriquecida pela presença de poros do tipo vesicular observados somente neste solo e nessa camada (Figura 37B). Conforme PAGLIAI et al. (1987) as vesículas são originadas pelo aprisionamento de ar durante o processo de secamento do solo. À essa organização denominou-se de grânica e granóidica. Entretanto essas unidades são muito variáveis em tamanho, de formato mais irregulares e mais densamente empacotadas que as constatadas nas condições de mata.

De 10 a 20 cm a macroporosidade decresceu devido forte empacotamento dos agregados que nessa camada possuem diâmetro ao redor de 200 a 2000 μm , contribuindo para o surgimento localizado de fendas (<200 μm) cuja orientação preferencial é no sentido horizontal. Entretanto a presença de galerias de formigas e cupins mantém uma evidente porosidade. Na camada de 20 a 30 cm ao se comparar com a mata verifica-se que possui certa semelhança porém as unidades estruturais são menores e preenchem os espaços diminuindo a porosidade (Figura 10). Na profundidade de 30 a 100 cm não foram observadas alterações expressivas em relação às condições originais. Esse conjunto de aspectos estão associados a estrutura granular e concentração de raízes (cabeleira) e uma camada compactada e redução de raízes verificada na análise morfológica até os 30cm.

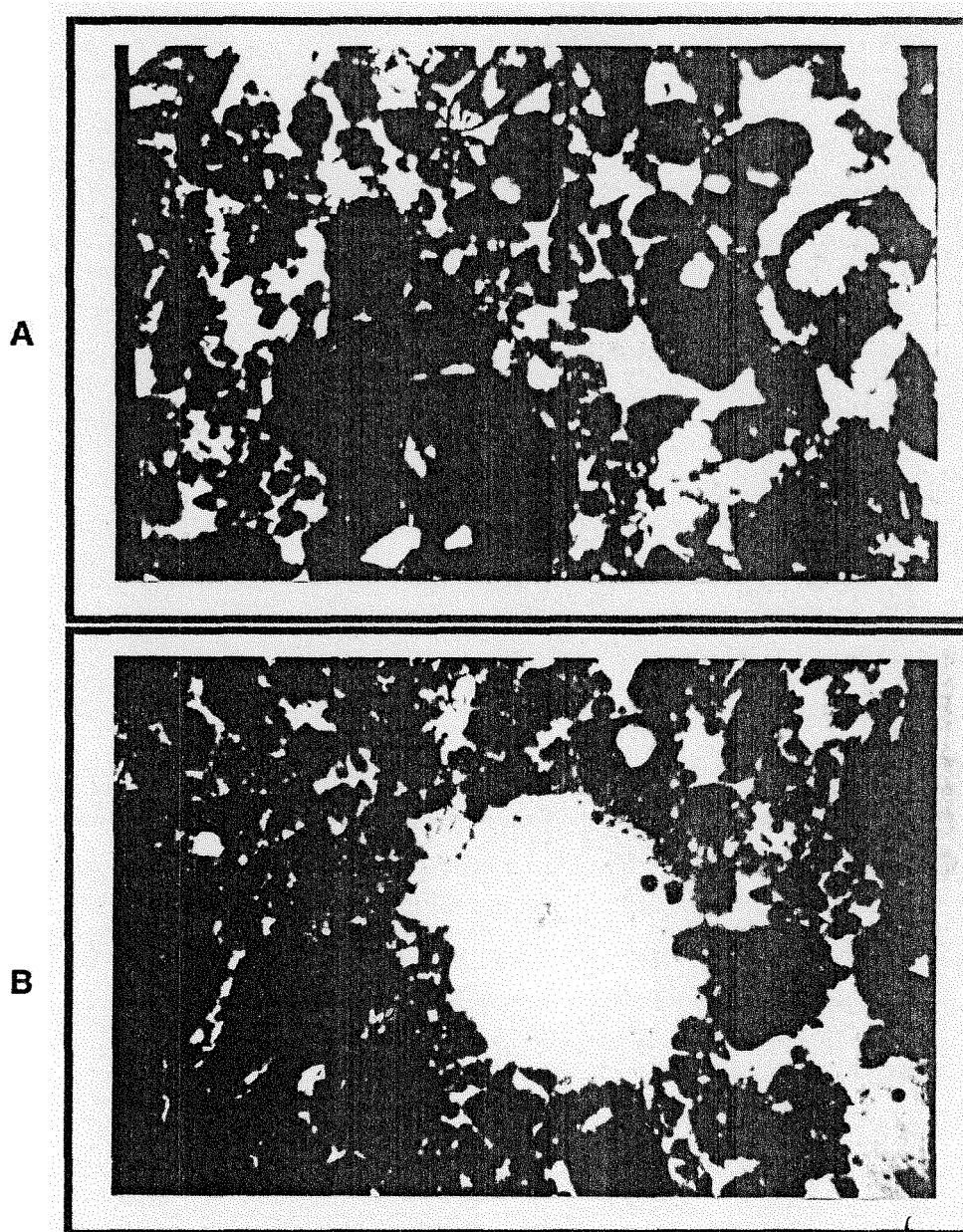


Figura 37. Fotomicrografia da camada de 0-10 cm do Latossolo Roxo sob cana soca (P10). A)-Diversidade no tamanho dos agregados em função do preparo do solo. B)-Poro vesicular originado pelo aprisionamento do ar durante o processo de secamento do solo (Aumento 40 X).

A morfologia dos poros foi diversificada neste solo. Poros de empilhamento composto, fendas, cavidades intercomunicantes, canais, vesículas, galerias e poros aplainados irregulares contribuíram para a manutenção da porosidade bem evidente. Pelotas fecais ocorreram preferencialmente de 0 a 10cm e de 30 a 100cm semelhantes àquelas encontradas na mata porém como na cana planta em menor quantidade. Raízes absorventes foram extremamente abundantes e se localizaram nas galerias; muitas foram observadas também nas fendas.

Local: Barra Bonita, SP

Terra Roxa Estruturada argilosa

Perfis P11 (Mata) e P12 (Cana soca)

P11(mata)

Até a profundidade de 30cm os grãos do esqueleto estavam envolvidos por um plasma mais denso, contínuo e com menor tendência ao desenvolvimento de microestrutura originando uma trama porfírica e, localmente, associadas aos agrotubos ocorrem a trama grânica formada por unidades discretas de formato subangular e não coalescente. De 30 a 60cm a trama porfírica foi cedendo espaço à trama grânica e granóidica que passa a predominar juntamente com a porfírica. Essas características da organização dos constituintes estão relacionadas a presença de uma estrutura granular e em blocos constatadas na análise macromorfológica e conseqüentemente associadas a uma maior densidade e menor macroporosidade em relação aos perfis cuja trama predominante foi a grânica. Na camada de 60 a 100 cm a trama modifica-se nitidamente para grânica e granóidica e localmente porfírica. Essa mudança também foi constatada na morfologia através da estrutura maciça que se desfaz em granular.

Os poros do tipo aplainado irregular ($< 200 \mu\text{m}$) atravessam o material do solo sem padrões de orientação ou distribuição básica entre os indivíduos (Figura 38A). Esses poros predominaram até os 60cm. Os poros do tipo empilhamento composto, onde as unidades estruturais se encontram empilhadas sem coalescerem ocorreram em todo o perfil, porém com domínio quase absoluto a partir dos 60cm. Cavidades intercomunicantes, canais intercomunicantes entre si ou através de câmaras de diversos tamanhos ($< 3000 \mu\text{m}$) foram comuns, principalmente acima dos 60cm. Pelotas fecais dominaram em todo o perfil, com maior ocorrência em superfície e aparecem associadas as câmaras e canais. Excremento de forma irregular paredes mamelonadas e constituídos de material triado dominaram praticamente em todo perfil. Alguns formados por material essencialmente orgânico também estiveram presentes mas de ocorrência rara. Raízes de diversos tamanhos ocorreram praticamente em todo o perfil sendo mais abundantes nas camadas superficiais. As raízes absorventes ($< 50 \mu\text{m}$) foram abundantes e se concentraram nos agrotubos, ou seja, onde predominou a trama grânica. A maior parte das raízes possuíam diâmetro ao redor de $400 \mu\text{m}$. Os agrotubos foram comuns sendo constituídos por esqueleto e plasma associados gerando uma trama grânica.

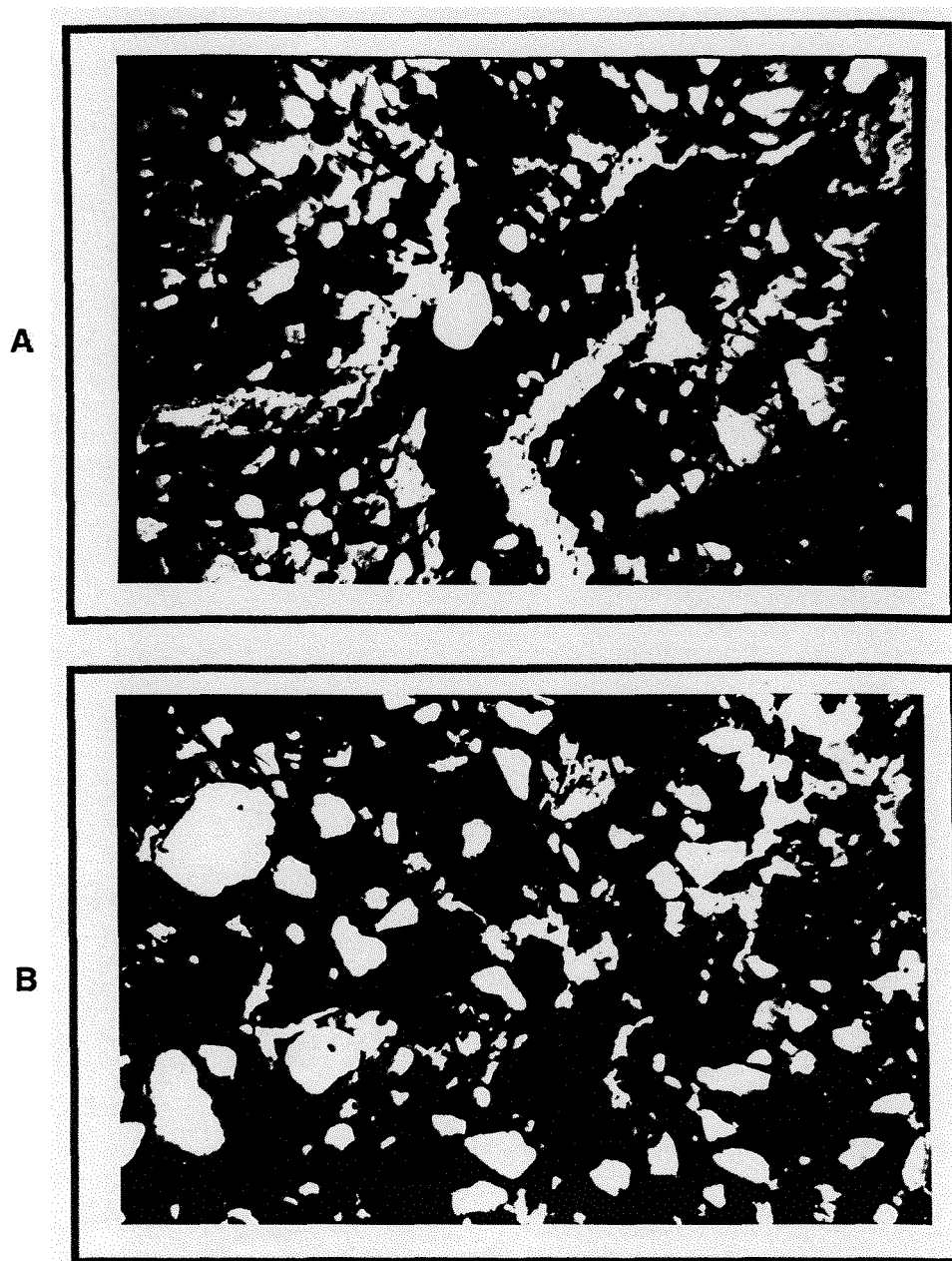


Figura 38. Alteração da morfologia dos poros na TE na camada de 0-10 cm. A)-Trama porfírica com poros aplainados na mata (P11).B)- Trama porfírica com cavidades intercomunicantes na cana soca (P12).(Aumento 40 X).

P12 (cana soca)

Após 32 anos de cultivo a trama porfírica, atravessada por poros aplainados irregulares, foi substituída por porfírica com cavidades intercomunicastes de diversos tamanhos ($< 2000 \mu\text{m}$) e fendas ($< 200 \mu\text{m}$) que cortam o material do solo em diversas direções (Figura 38B). Essa organização foi constatada até a profundidade de 30 cm. Entretanto, de 20 a 30 cm, observou-se redução na quantidade de cavidades e aumento de microfendas. Nessa profundidade constatou-se, através das observações macromorfológicas, agregados mais adensados e recobertos por cerosidade. A partir dos 30cm a trama porfírica com a presença de poros aplainados, associada a grânica e granóidica, fez-se presente e, à medida que aumentou a profundidade, a grânica e granóidica dominaram, portanto semelhante às condições da mata. Esses aspectos auxiliaram na explicação da estrutura forte granular e em blocos até 60cm e maciça porosa abaixo dessa profundidade constatadas na morfologia.

Com relação à morfologia dos poros, os tipos predominantes foram as cavidades intercomunicantes e fendas até os 30cm. Câmaras e canais com raízes foram abundantes, com exceção da camada de 20 a 30 cm onde sofreram certa redução contribuindo para aumento da densidade e redução da macroporosidade. Os poros do tipo empilhamento composto se restringiram aos agrotubos nas camadas superficiais e dominaram a partir dos 60cm. Não foram constatadas pelotas fecais deduzindo-se porém a ocorrência de atividade biológica devido à presença de agrotubos comuns a todas as camadas. As raízes foram observadas com abundância, porém com pequena queda de 20 a 30cm. Diferentemente do constatado nos demais perfis as raízes não tinham diâmetro inferior às da mata, ou seja, ao redor de $500 \mu\text{m}$ e se orientavam em todas as direções. Raízes absorventes ($< 50\mu\text{m}$) foram observadas somente nos agrotubos. Os agrotubos, comuns a abundantes,

eram constituídos por grãos de plasma e por esqueleto associado ao plasma formando trama interno grânico..

Local: São Carlos, SP

Areia Quartzosa

Perfis P13 (Mata) e P14(Cana soca)

P13 (mata)

Neste solo a menor quantidade de plasma em relação ao esqueleto contribuiu para a origem da trama gefúrica-quitônica e localmente mônica e as vezes porfírica, a qual predominou nos 60 cm (Figura 39A). Abaixo dessa profundidade a ocorrência local da trama porfírica não foi observada. Na análise macromorfológica até 60 cm verificou-se estrutura fraca granular e, em seguida, o aspecto de maciça a grãos simples confirmando o que foi constatado na micromorfologia.

Os poros predominantes foram de empilhamento simples uma vez que não se observou a presença de unidades estruturais. Câmaras e canais foram comuns e as vezes de difícil observação pela falta de limites. Pelotas fecais foram raras e se concentravam em pequenos núcleos nos 20cm superficiais. Estes possuíam forma oval, diâmetro ao redor de 150 μm e mesma cor do plasma - marron avermelhado escuro . Não foi constatado outro tipo de excremento como nos demais perfis. As raízes tiveram ocorrência comum e concentraram-se em superfície; as do tipo absorventes, abundantes nos outros

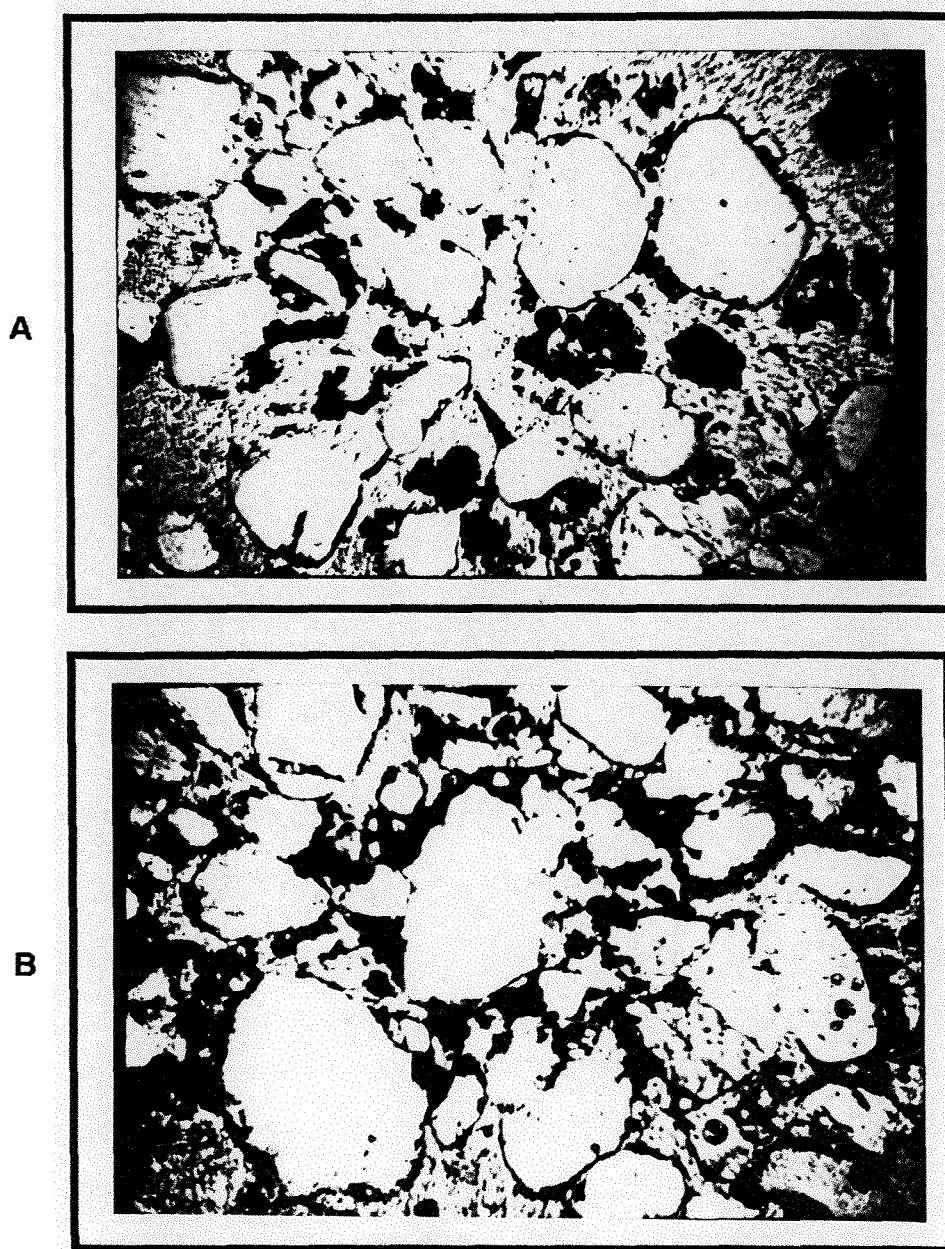


Figura 39. Alteração do espaço poroso na camada de 0-10 cm da AQ. A)-Área de mata (P13). B)-Área cultivada mostrando maior proximidade do esqueleto devido à compactação (P14). (Aumento 40 X).

solos, não foram observadas. Os granotubos constituídos de esqueleto, foram raros e se fizeram presentes somente na superfície.

P14 (cana soca)

Com o cultivo de 12 anos, as modificações das características micromorfológicas não foram acentuadas e restringiram-se à camada de 20 cm. A trama gefúrica-quitônica foi predominante porém não se observou a ocorrência local da trama mônica enquanto que a porfírica teve maior domínio e aparência mais densa refletindo em maior nitidez que na mata. Nessa mesma profundidade os grãos do esqueleto tornaram-se mais próximos e tem-se a impressão de aumento na quantidade do plasma. Constatou-se ainda que, na camada de 0 a 10 cm, determinados locais mostraram tendência de uma orientação do esqueleto, possivelmente resultante do efeito de forças relacionadas ao tráfego de implementos agrícolas (Figura 39B). Esse rearranjo dos constituintes do solo refletiu em uma estrutura forte granular e pequenos torrões relativamente duros, contribuindo para aumento da densidade e redução da macroporosidade.

Poros de empilhamento simples foram os predominantes, tendendo por vezes para canais e câmaras de diversos tamanhos, porém de ocorrência comum. Esses poros possuíam dimensões menores que os de mata, principalmente de 10 a 20 μm . Não se constatou agrotubos em nenhuma camada. Pelotas fecais, de formas ovais e com diâmetro ao redor de 100 μm foram comuns e poucas, de forma irregular e paredes mamelonadas porém constituídas de material triado, principalmente plasma e fragmentos de carvão e muito pouco esqueleto, ocorreram nas camadas superficiais. Raízes com diâmetro de 1000 μm foram comuns até os 60 cm. Essas raízes orientavam-se no sentido vertical e oblíquo.

4.5.1. Considerações gerais sobre a micromorfologia

A análise micromorfológica comparativa entre solos sob mata e cultivados evidenciou que as alterações restringiram-se à profundidade de 30 cm, independente da textura, composição mineralógica e tempo de cultivo. Essas alterações relacionaram-se ao rearranjo dos constituintes do solo que, por sua vez, contribuíram para modificações na trama e na morfologia dos poros. As tramas grânica e granóidica, predominantes nas camadas superficiais dos solos sob mata, alteraram-se para porfírica com cavidades ou fendas e localmente grânica e granóidica nos perfis 2, 3 e 5 (LE). De acordo com RUSSELL (1973) e PAWLUK (1980) esse tipo de trama, freqüente em solos cultivados, reflete condições de manejo onde as unidades estruturais originais sofreram rupturas originando agregados e torrões de baixa estabilidade e prontamente coalescentes favorecendo a organização em trama porfírica e granóidica pelo efeito de compactação. MARTIN et al. (1987) enfatizam que a trama grânica e granóidica, por vezes presente nas camadas superficiais dos solos cultivados, muito tem a ver com a influência do sistema radicular e atividade biológica. Certamente o sistema radicular fasciculado da cana-de-açúcar favoreceu o aparecimento de microestrutura e conseqüentemente a trama granóidica observado na camada de 0-10 cm.

Nos perfis 9 e 10 (LR) a trama não se modificou com o cultivo permanecendo a mesma da mata, isto é, grânica e granóidica; as alterações observadas foram com relação a dimensão e coalescência das unidades estruturais. Provavelmente este fato esteja relacionado com a composição mineralógica - altos teores de óxidos de ferro - favorecendo maior resistência às modificações causadas pelo manejo, principalmente naqueles agregados com tamanho menor que 250 μm (TISDALL e OADES, 1980).

No perfil 12 (TE) a trama permaneceu porfírica, porém com aparência mais adensada uma vez que os poros predominantes foram cavidades intercomunicantes. Já nos perfis onde a textura foi mais arenosa - P7 e P14 - (LE e AQ), a trama também não se modificou com o cultivo, a não ser a evidente proximidade do esqueleto, principalmente na camada de 0 a 10 cm, o que foi considerado como uma consequência resultante do efeito de forças relacionadas ao tráfego de implementos agrícolas. No perfil 14 (AQ) a trama porfírica que aparece localmente, assumiu melhor nitidez - plasma mais escuro - e com aparência densa (Figura 46A). Considerando que este solo recebeu vinhaça a qual contém matéria orgânica (CAMARGO et al. 1983) provavelmente esse efluente tenha contribuído para esse fato. BOUMA(1969), citado por FITZPATRICK (1984), enfatizou que, após 25 anos de cultivo com a adição de calcário e matéria orgânica, solos de textura arenosa mostraram considerável melhoria da condição estrutural.

Quanto aos poros constatou-se que, nos solos onde o plasma era dominante em relação ao esqueleto, os de empilhamento composto se alteraram para cavidades e localmente fendas. Entretanto sob cana planta as cavidades intercomunicantes foram abundantes refletindo numa menor densidade e maior macroporosidade. Isso vem confirmar a dinâmica da porosidade e a regeneração temporária da estrutura com as operações de preparo do solo (BULLOCK et al.,1985 ; PAGLIAI et al. 1984).

As fotomicrografias (Figuras 40 a 45) foram dispostas de forma a permitir comparação entre a macroporosidade dos solos virgens e cultivados, salientando-se que os poros estão representados por branco e a porção sólida (plasma e esqueleto) por preto. A observação visual destas imagens mostra claramente as camadas que foram alteradas bem como a redução e a nova reorganização dos poros com o cultivo.

A camada superficial (0-20 cm) dos solos representados nas figuras 40, 41 e 44 exibe acentuado decréscimo da macroporosidade, principalmente o representado pela figura 41 (P5), percebendo-se que a quantidade de branco diminui. As imagens desta profundidade mostram aparência maciça e os novos poros são menores e diferentes quanto ao tipo. Os poros representados nas figuras 42, 43 e 45 são distintamente mais numerosos e maiores que os das figuras anteriores na mesma camada. Assim, o material do solo é quase inteiramente tomado por poros observando-se nitidamente unidades estruturais de formas subarredondadas. A intercomunicação dos poros é marcadamente visível. Na camada de 60-100cm as imagens das seções delgadas dos solos de mata e cultivados mostram grande semelhança entre si evidenciando que essa porção praticamente não foi afetada pelo manejo.

A reorganização do espaço poroso como consequência do cultivo refletiu em decréscimo dos poros interagregados, identificados como macroporos. PAGLIAI e DE NOBILI (1993), BLANK e FOSBERG (1989), JONGERIUS (1982) e PAWLUK (1980) consideram a modificação dos poros de empilhamento composto para cavidades como devido a perdas de carbono que provocaram desestabilização dos agregados, decréscimo na atividade biológica e efeito da pressão dos implementos agrícolas. Quando o esqueleto foi dominante a alteração da porosidade só se fez em relação ao tamanho dos poros e não ao tipo. Assim os poros do tipo empilhamento simples não sofreram quaisquer alterações.

A baixa ocorrência de pelotas fecais, câmaras e agrotubos nas áreas cultivadas leva a concluir que a atividade biológica decresceu. MARTIN et al. (1987) e PAWLUK (1987) fazem referência à acidez do solo como um dos fatores restritivos à atividade biológica. Entretanto, no presente estudo, as condições de mata possuem reação mais ácida comparativamente às áreas cultivadas apresentando, não obstante, maior atividade da fauna. É provável

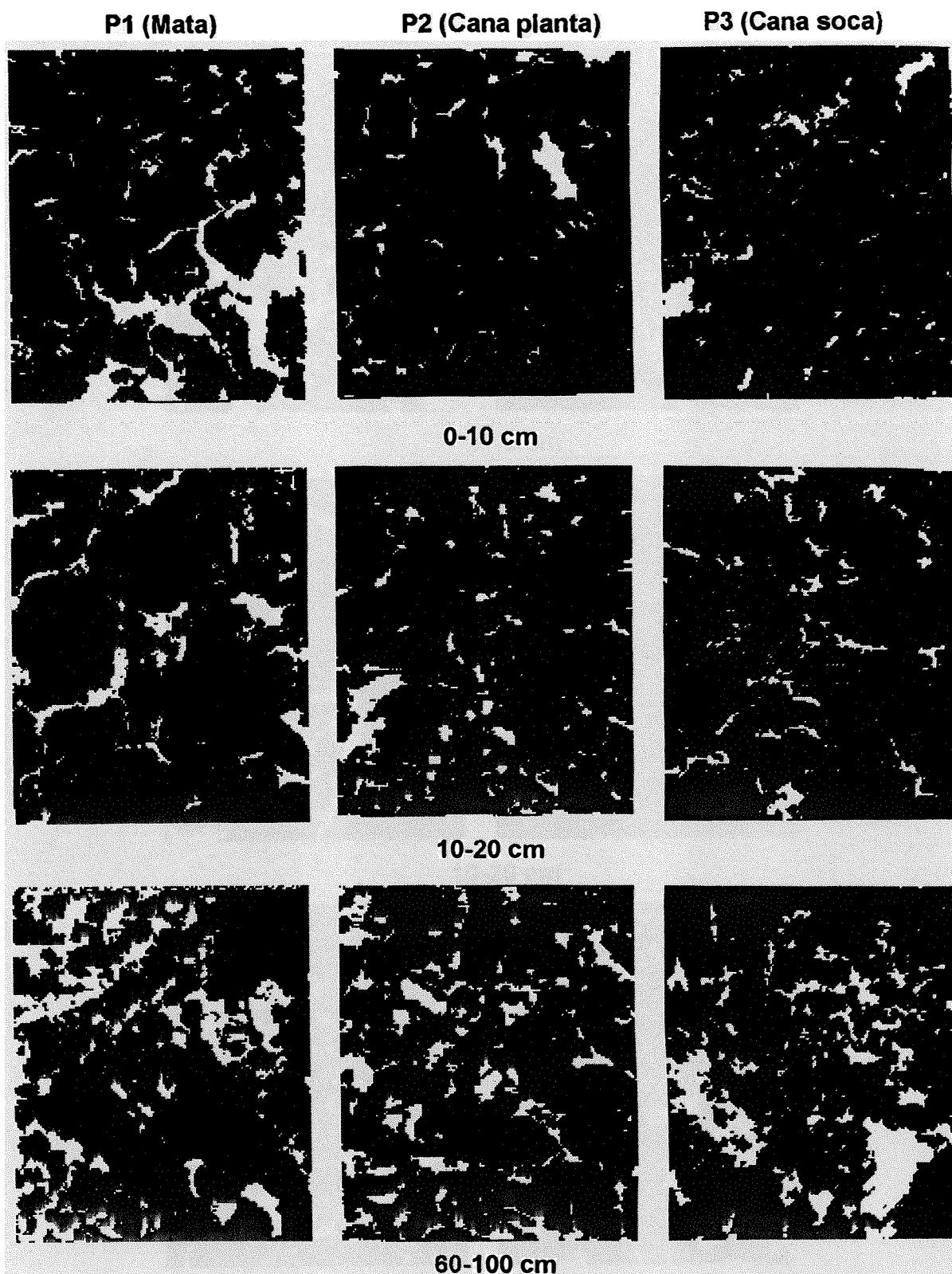


Figura 40. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

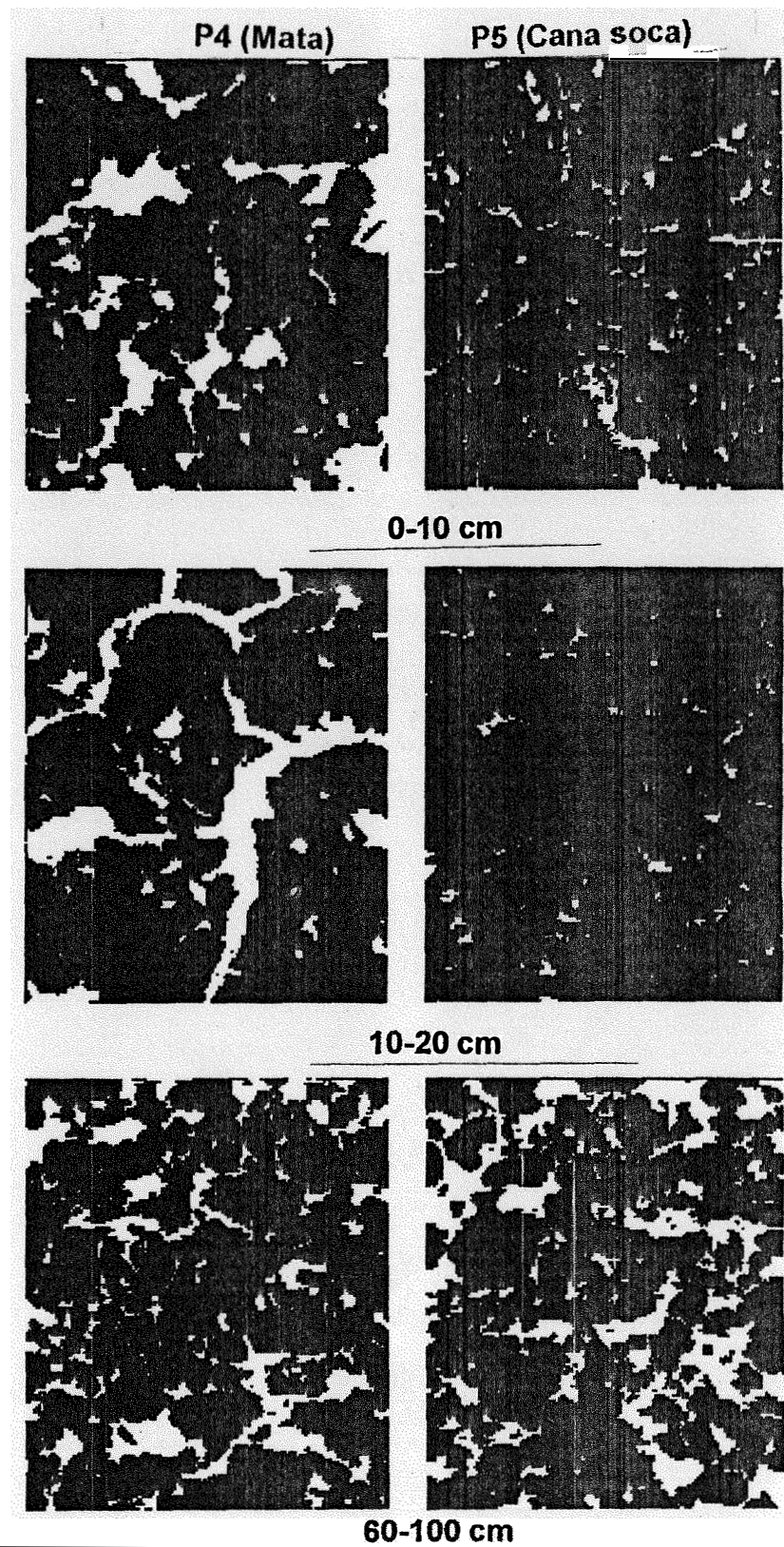


Figura 41. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro argiloso em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

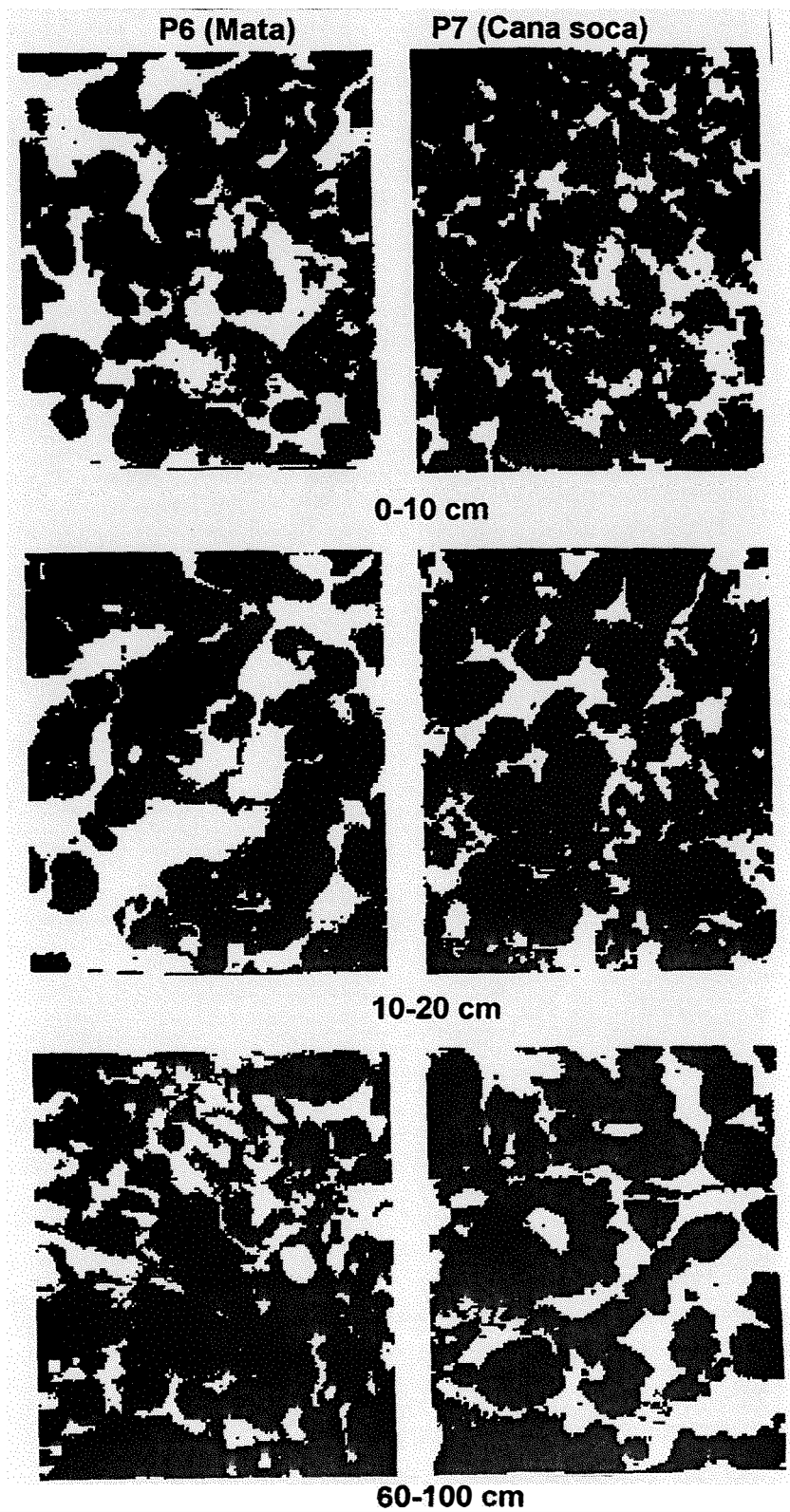


Figura 42. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Vermelho-Escuro textura média arenosa em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

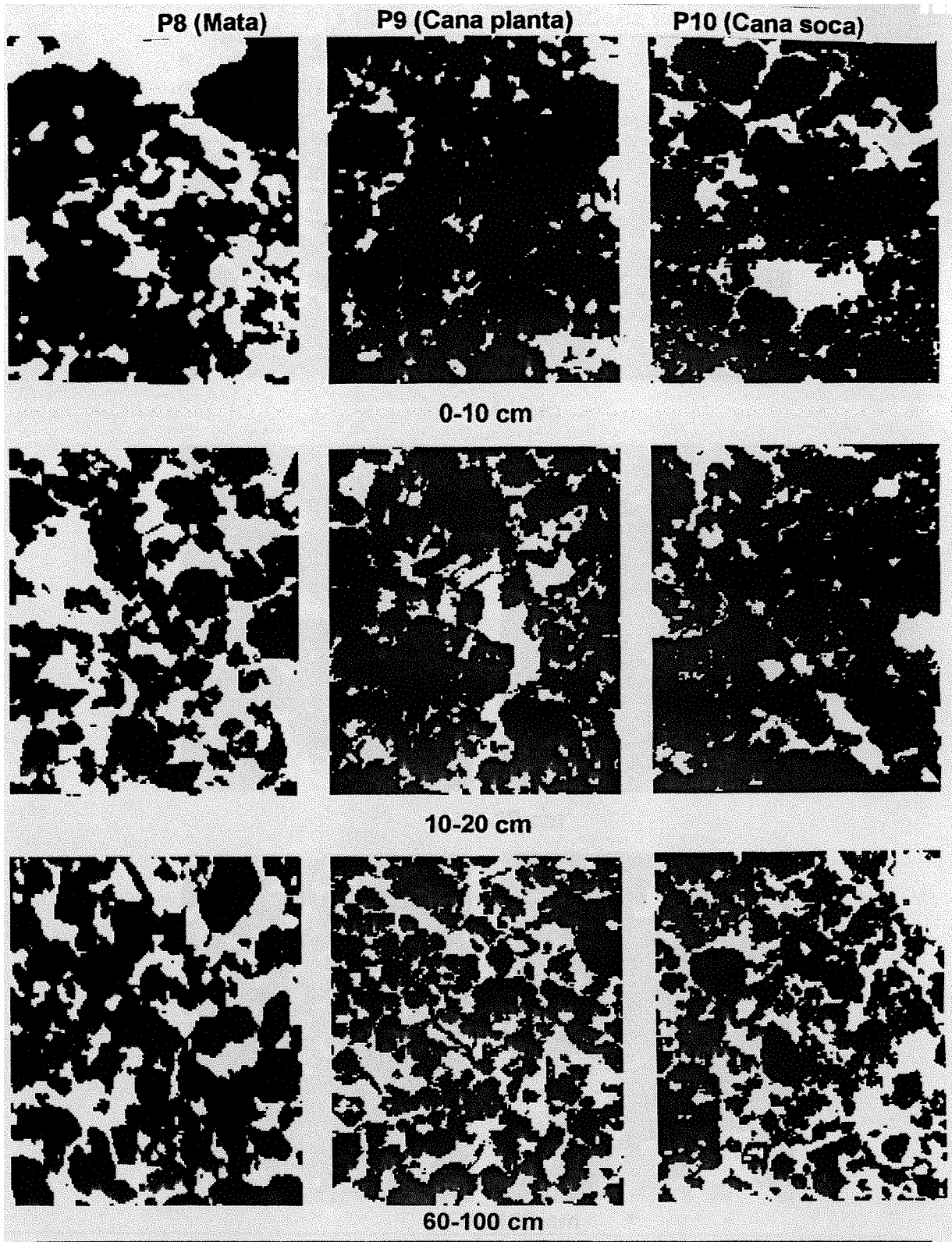


Figura 43. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade do Latossolo Roxo textura muito argilosa em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

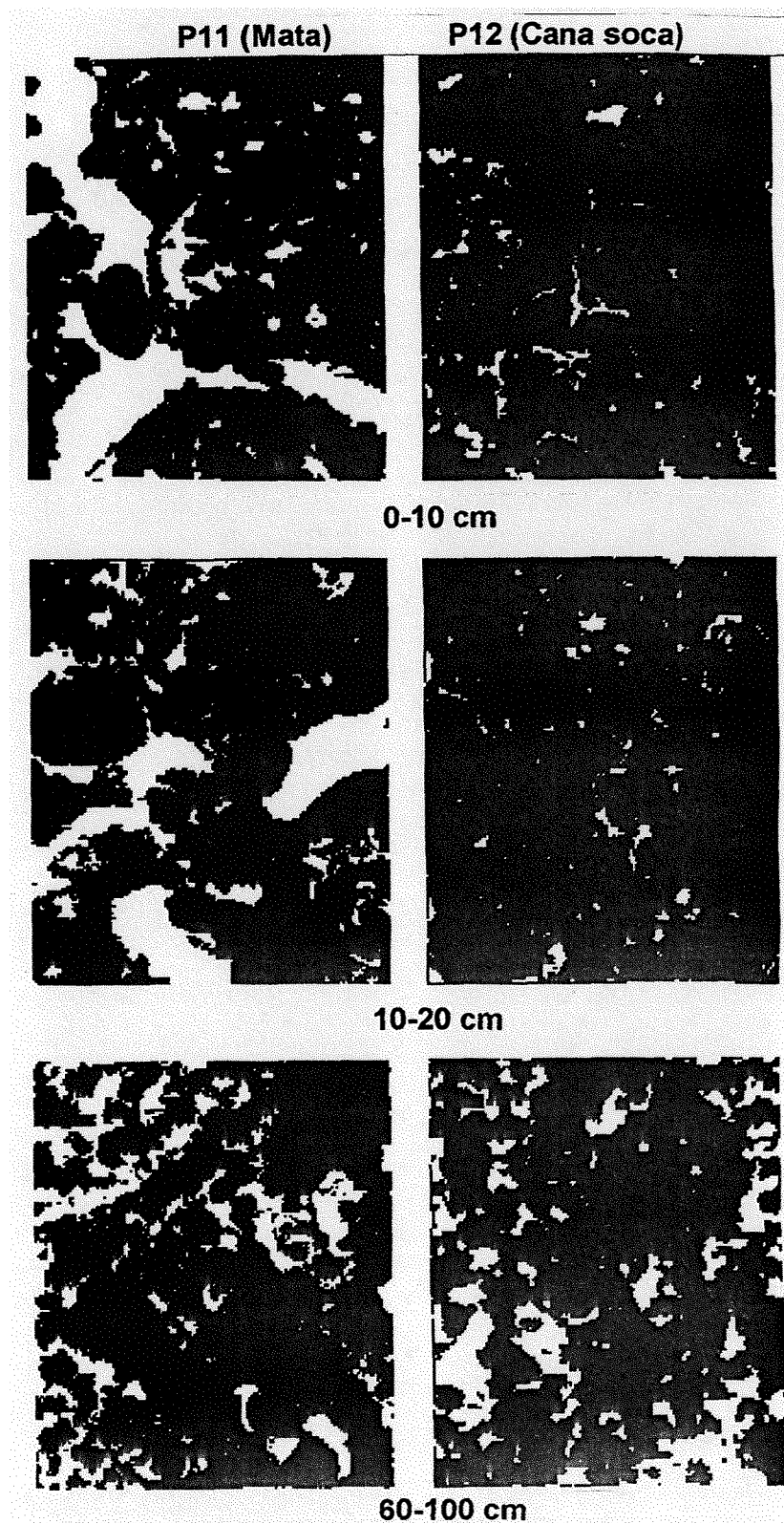


Figura 44. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade da Terra Roxa Estruturada textura argilosa em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

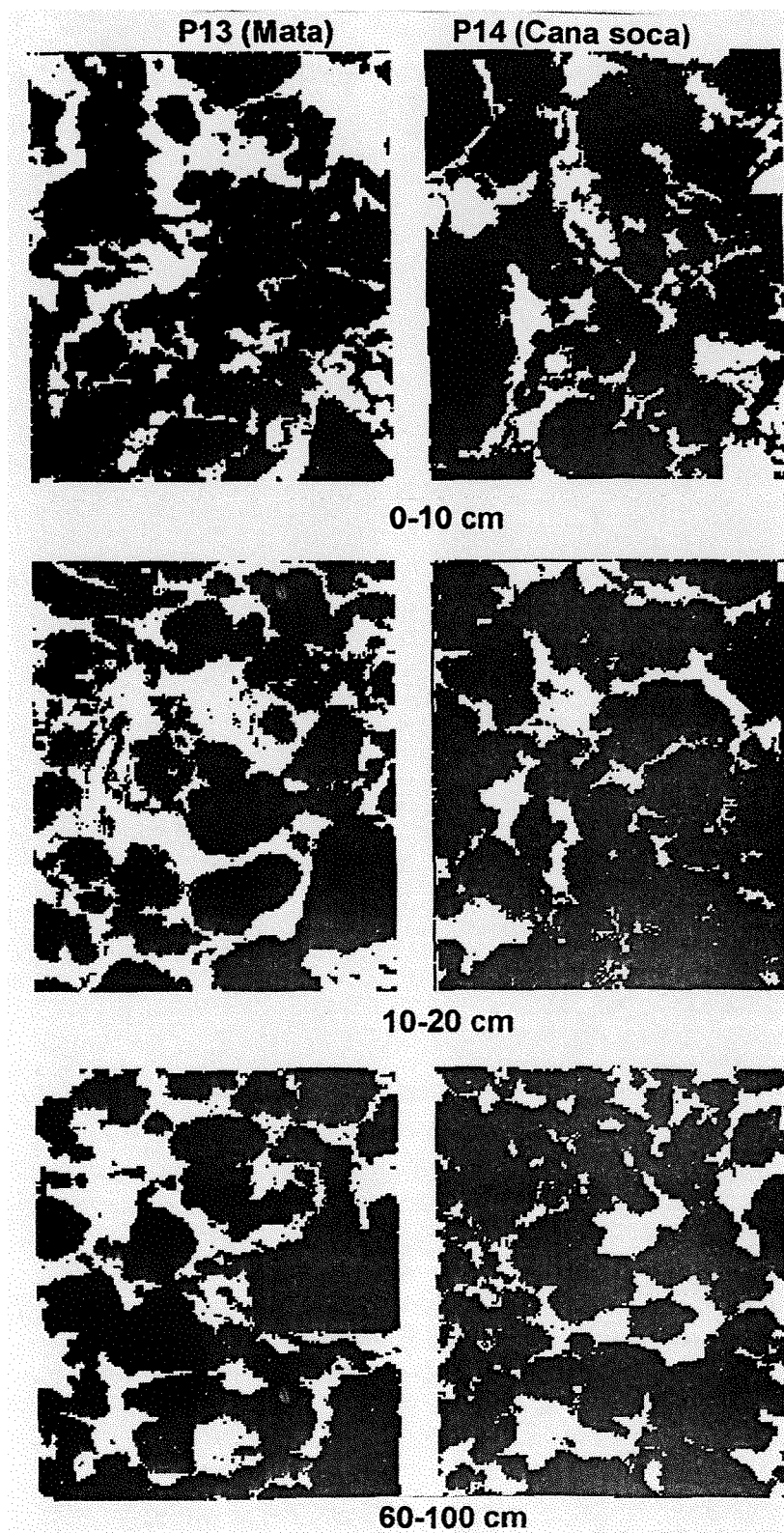


Figura 45. Imagens de seções delgadas representativas da porosidade da Areia Quartzosa em condições de cultivo e mata (os poros são representados em branco).

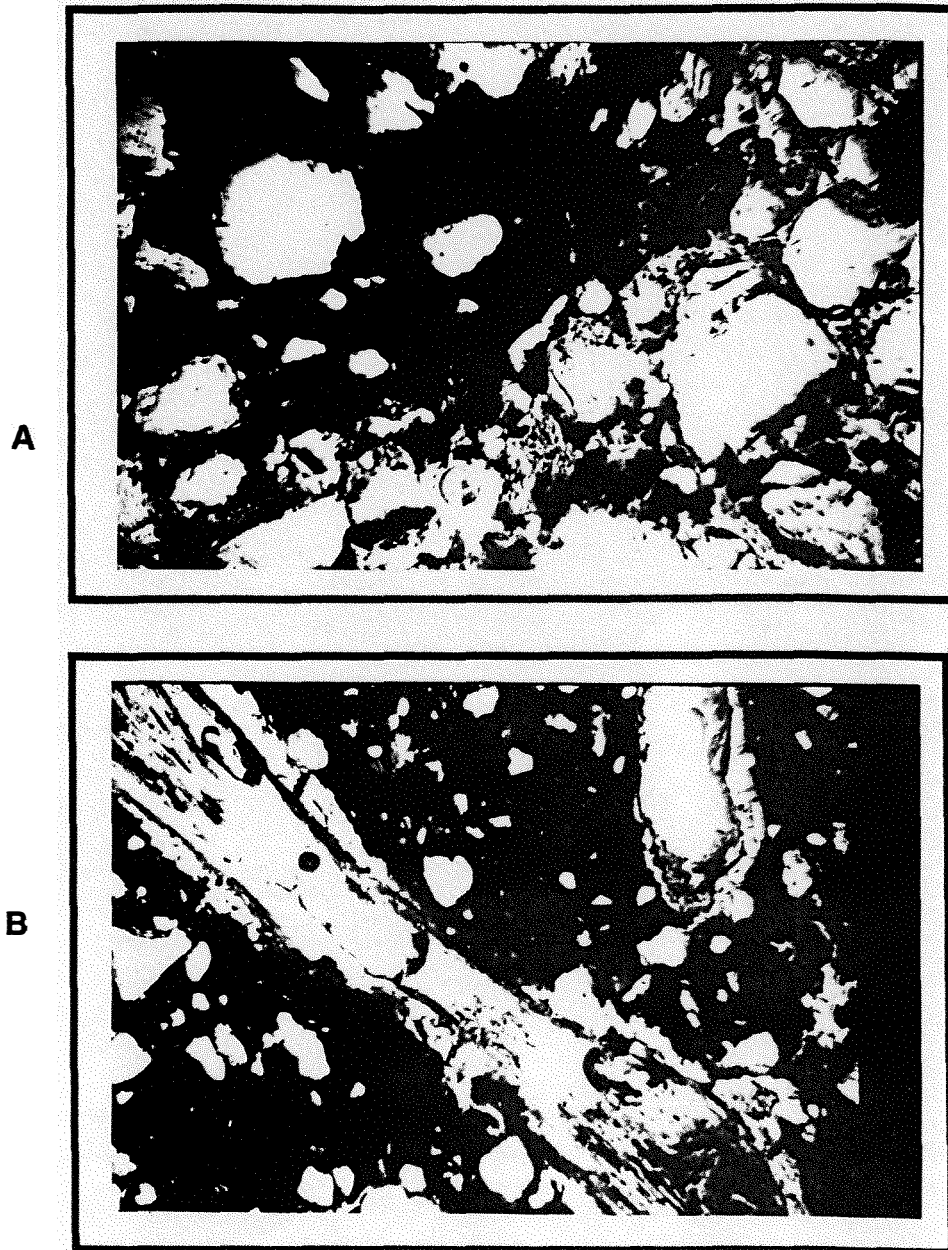


Figura 46. Fotomicrografia da camada de 0-20 cm. A)- Trama porfírica de ocorrência local provavelmente ocasionada pela ação da vinhaça em cana soca na AQ (P14). B)-Raiz com orientação oblíqua em área cultivada. (Aumento 40 X).

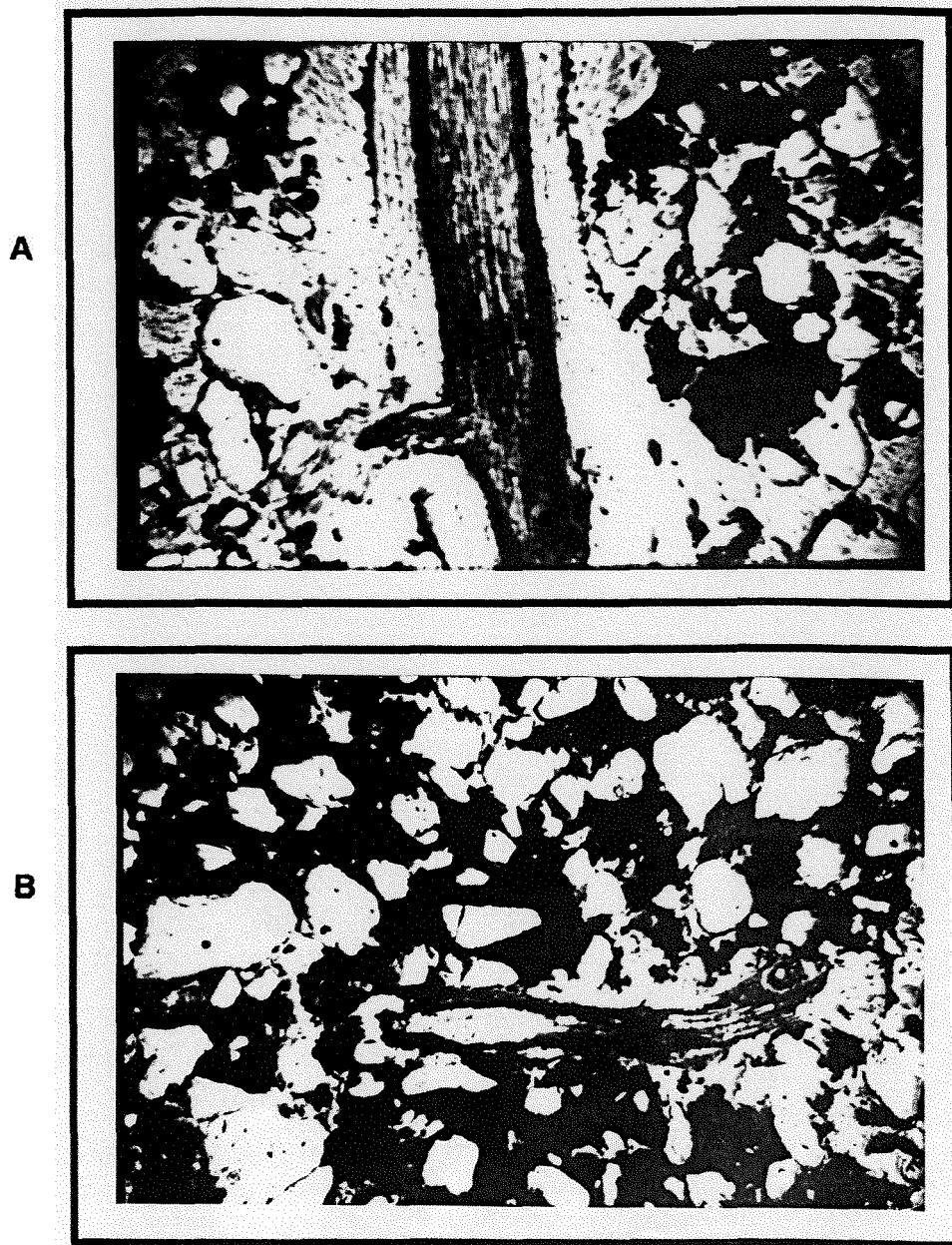


Figura 47. Alteração das raízes na camada de 10-20 cm do LE argiloso. A)-Raiz normal orientada verticalmente em condição de mata. B)-Raiz fina e tortuosa com orientação horizontal em área cultivada. (Aumento 40 X).

que a diminuição da atividade biológica esteja relacionada com a redução no conteúdo de carbono como também com as queimadas que contribuíram para decréscimo dos resíduos vegetais incorporados ao solo e, ainda, ao efeito da mobilização da camada superficial interferindo no sentido de desestabilizar o habitat da fauna. Não se pode esquecer outrossim os efeitos da compactação bem como da utilização de herbicidas.

As galerias de formigas e cupins parecem sofrer menos os efeitos das práticas de manejo uma vez que continuaram presentes com o cultivo.

As raízes diminuíram em quantidade e apresentaram-se com diâmetro reduzido; tornaram-se tortuosas e mais finas e com orientação oblíqua (Figura 46 B) e horizontal diferentemente das condições originais onde eram mais grossas e assumiram preferencialmente a disposição vertical (Figuras 47A e B). As raízes absorventes (<50 μm), de ocorrência comum a abundante, restringiram-se aos agrotubos e galerias.

4.5.2. Avaliação da porosidade através de computador

Os resultados obtidos com base nas imagens das Figuras 40 a 45 (Tabela 9) mostram uma clara tendência do decréscimo da macroporosidade com o cultivo na camada de 0 - 20 cm o que coincide com o comportamento dos dados obtidos através de cálculo com base nas curvas de retenção (Tabela 3).

As diferenças ocorridas entre essas avaliações devem-se ao fato de que através das curvas a estimativa é feita com base em volume enquanto que nas seções delgadas estima-se a área ocupada por poros. Deve-se considerar também que nas seções delgadas a estimativa foi feita apenas em um setor de

Tabela 9. Estimativa da macroporosidade (% da área da seção delgada ocupada por poros).

Perfil	Uso	Profundidade		
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	60 - 100 cm
P1	Mata	15	9	18
P2	Cana planta	7	9	14
P3	Cana soca	5	6	16
P4	Mata	19	19	19
P5	Cana soca	9	3	25
P6	Mata	33	34	25
P7	Cana soca	19	21	30
P8	Mata	33	43	32
P9	Cana planta	13	20	35
P10	Cana soca	19	14	38
P11	Mata	49	49	43
P12	Cana soca	32	36	44
P13	Mata	36	40	77
P14	Cana soca	31	21	84

uma única amostra indeformada. Neste caso o aumento do número de amostras e seções implica em alto custo e dispêndio de mão de obra principalmente no casos de solos com grande quantidade de esqueleto quartzoso que, por apresentar coloração clara, semelhante à porosidade, deve ser escurecido graficamente também por edição manual em computador.

Independentemente dessas dificuldades é importante salientar que a estimativa da macroporosidade através das imagens obtidas a partir das seções delgadas permitiu confirmar tendências apontadas pela metodologia convencional o que, sem dúvida, permite maior confiabilidade nos resultados.

4.6. Considerações finais

Como foi verificado ao longo dos resultados obtidos, houveram sensíveis alterações das propriedades dos solos provocadas pelo cultivo. As propriedades químicas, com exceção dos micronutrientes, e a porosidade foram aquelas que sofreram as maiores mudanças. É necessário, entretanto, que se faça um questionamento: as alterações observadas tem contribuído para o decréscimo da produtividade? Ou, em outras palavras: a degradação dos solos tem reduzido a produtividade? Aparentemente não.

Apesar deste trabalho não ter como objetivo o acompanhamento da produtividade os resultados obtidos pelas usinas das 4 regiões estudadas (Lençóis Paulista, Barra Bonita, São Carlos e Ribeirão Preto) tem comprovado aumento da produtividade ao longo do tempo (Tabela 10).

Tabela 10. Média de produtividade (t/ha) de cana por categoria das safras no período 1986/1994, da Usina Barra Grande em Lençóis Paulista, SP.

Cortes	Safras								
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
1°	93	90	105	104	114	102	102	115	109
2°	79	80	80	82	79	90	94	97	86
3°	71	70	71	70	68	80	86	80	82
4°	60	63	66	63	59	69	74	74	73
Outros	62	56	66	64	58	67	66	67	67
Média	71	71	74	74	72	80	85	84	88

Esta Tabela indica a média de produtividade nos últimos oito anos da Usina Barra Grande de Lençóis Paulista. Na década de 80 a faixa de produtividade estava entre 71 e 74 t/ha e nos primeiros quatro anos da década de 90 a produtividade já se encontra entre 80 e 85 t/ha, apesar das últimas expansões terem sido feitas em solos de baixa fertilidade. Sabe-se, entretanto, que os aspectos varietais e outras práticas de manejo como o espaçamento reduzido, uso de maturadores, novas variedades, etc., tem contribuído também para o aumento da produtividade.

Todavia, deve-se levar em consideração o fato de que se um determinado solo estiver em estágio avançado de degradação não será o uso de variedades diferenciadas que irá resolver a situação. Sendo assim e, apesar de que determinadas propriedades do solo, como a estrutura ou o conteúdo de matéria orgânica, nos conceitos ecológicos, foram teoricamente degradadas, aparentemente elas não tem influenciado de maneira extremamente negativa na produtividade. Um ponto que chama a atenção refere-se aos solos Areias Quartzosas que são tidos como susceptíveis à intensa lixiviação e que, como os resultados mostraram, esta tendência parece não se confirmar visto que, pelo contrário, estão melhores sob cultivo do que em condições naturais.

Há, todavia, um consenso em relação ao trabalho realizado que é da necessidade de pesquisas específicas dos pontos aqui levantados de forma a desenvolver parâmetros limitantes destas propriedades na produtividade dos solos.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho que teve como objetivo o estudo do efeito do cultivo em propriedades de solos cultivados com cana-de-açúcar por períodos de tempo variando de 12 a 40 anos e pertencentes a diferentes classes de textura foi possível chegar às seguintes conclusões principais:

- A dinâmica dos cations trocáveis revelou estreita dependência da fertilidade inicial dos solos sob vegetação natural. Os solos originalmente distróficos e álicos tiveram significativos aumentos de cations trocáveis, na saturação em bases e no pH. Os aumentos mais significativos foram verificados nos solos de textura arenosa. Por outro lado os solos originalmente de alta fertilidade tornaram-se distróficos, porém sem atingir níveis considerados críticos em relação a esses mesmos parâmetros.

- O cultivo promoveu aumentos na CTC efetiva nos solos distróficos e álicos de até 242%; nos solos eutróficos constatou-se reduções da ordem de até 53% não se verificando, contudo, valores que possam ser considerados excessivamente baixos.

- Os micronutrientes não apresentaram de uma maneira geral um comportamento definido apresentando, no entanto, tendências de diminuição com o cultivo;

- O carbono apresentou perdas que variaram de 4 a 55% independentemente das características do solo e manejo, influenciando diretamente na redução da capacidade de troca cationica e aumento do PCZ. Nos solos arenosos a CTC diminuiu até 6% enquanto que nos argilosos os valores chegaram a atingir até 22%; com a elevação do PCZ fica implícita o aumento do potencial de lixiviação de cations principalmente nos latossolos; do estoque atual deste elemento 8 a 43% foram introduzidos pela cultura da cana enquanto que 13 a 47% é remanescente da matéria orgânica primitiva da mata;

- Foram verificados acréscimos na densidade do solo na camada de 0-20 cm da ordem de 18 a 22% nos solos de textura arenosa e média-arenosa , de 7 a 11 % nos argilosos e de 5 a 7% nos muito argilosos, refletindo em aumento da água disponível e restrição de desenvolvimento radicular; essa situação evidentemente reflete uma situação da época de amostragem sendo que os efeitos negativos são mais significativos com a proximidade da reforma do canal quando, pelo preparo, as condições tendem a se tornar menos prejudiciais;

- A porosidade total e macroporosidade sofreram reduções atingindo níveis críticos na cana soca; na cana planta as operações de preparo do solo contribuíram para regeneração da macroporosidade tendendo a se aproximar dos valores originais dos solos sob mata;

- O cultivo promoveu uma reorganização do plasma contribuindo para mudanças na pedalidade, tipo, tamanho e distribuição dos poros;

- As alterações microscópicas restringiram-se à profundidade de 30 cm independentemente da granulometria, composição mineralógica e anos de

cultivo; por outro lado a modificação da trama e, conseqüentemente da morfologia dos poros, foi influenciada pela textura sendo que os solos argilosos evidenciaram alterações mais significativas. As operações de preparo do solo foram benéficas visto que contribuíram para recomposição e surgimento de poros geometricamente distintos da condição original. O emprego da vinhaça implicou em uma melhor estruturação nos solos arenosos.

- As atividades de cultivo provocaram redução na atividade da fauna, principalmente as responsáveis por habitats de diâmetros grandes, contribuindo assim, na diminuição da macroporosidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUAYE, D.K.; DOWUONA, G.N.; MERMUTH, A.R. e ARNAUD, R.J. Micromorphology and mineralogy of cracking soils from the Accra plains of Ghana. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 56:193-201, 1992.
- ALLISON, F.E.; SHERMAN, M.S. e PINCK, L. Maintenance of soil organic matter: I. Inorganic soil colloid as a factor in retention of carbon during formation of humus. *Soil Sci.*, Baltimore, 68:463-478, 1949.
- ANDERSON, M.A. e BROWNING, G.M. Some physical and chemical properties of six virgin and six cultivated Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 14:370-374, 1949.
- BARNES, A.C. *The sugarcane*. N.Y. 1974. 572 p.
- BAUER, A. e BLACK, A. L. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45 ; 1166-1170, 1981.

- BAUER, A. e BLACK, A.L. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 58:185-193, 1994.
- BIRCH, H.F. e FRIEND, M.T. The organic-matter and nitrogen status of east african soils. *J. Soil Sci.*, London, 7:156-167, 1956.
- BLANK, R.R. e FOSBERG, M.A. Cultivated and adjacent virgins soils in north central south Dakota: II. Mineralogical and micromorphological comparisons. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53: 1490-1499, 1989.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; CORNELIUS, P.L. Changes in soils properties after 10 years continuos non-tilled and conventional tilled corn. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, 3:135-146, 1983.
- BODMAN, G.B.; JOHNSON, D.E. e KRUSKAL, W.H. Influence of VAMA and of depth of rotary hoeing upon infiltration of irrigation water. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 22:463-468, 1958.
- BOUMA, J.E. e HOLE, F.D. Soil structure and hydraulic conductivity of adjacent pedons at two sites : A Typic Argiudoll(silt loam) and a Typic Eutrochrept(clay). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35:316-318, 1971.
- BOUMA, J.; JONGERIUS, A.; BOERSMA, O.; JAGER, A. e SCHOONDERBEEK, D. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soils horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 41:945-950, 1977.

- BOUMA, J.; BELMANS, C.F.M. e DEKKER, L.W. Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 46:917-921, 1982.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.*, New York, 46:2-36, 1991.
- BRESSON, L. M. e ZAMBAUX, C. Micromorphological study of compaction induced by mechanical stress for a Dystrichreptic Fragiudalf. In: L.A. Douglas (ed.), *Soil micromorphology : a basic and applied science*. Amsterdam. p.33-40.1990.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. R.E. Krieger Pub. Co., Huntington, N.Y., 1976. 482 p.
- BREWER, R. e PAWLUK, S. Investigations of some soils developed in hummocks of the Canadian sub-arctic and southern arctic region. I. Morphology and micromorphology. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 55: 301-319, 1975.
- BULLOCK, P.; NEWMAN, A.C.D. e THOMASSON, J. Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compactation. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, 5:325-341, 1985.
- CAGAUAN, B e UEHARA, G. Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29:198-200, 1975.

- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A. da S. e GERALDI, R. N. ;
Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por
longo tempo. IAC, Campinas, 30p. 1983. (Bol. Tec., 76).
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J.M.A.S. Métodos
de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico
de Campinas. B. Técnico, Campinas, 106. 93p. 1986.
- CAMBIER, P. e PROST, R. Étude des associations argile-oxyde:
organisation des constitutants d'un matériau ferrallitique. Agronomie, 1:
713-722, 1981.
- CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize
compaction in tillage study of fine sandy loam. Can. J. Soil Sci.,
Ottawa, 70:425-433, 1990.
- CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy
loam moldboard plowhing and direct drilling. Soil Till. Res.,
Amsterdam, 12: 37-51, 1988.
- CARTER, M.R. Physical properties of some Prince Edward Island soils in
relation to their tillage. Can. J. Soil Sci., Ottawa, 67:473-483, 1987.
- CASSEL, D.K. Spatial and temporal variability of soils physical properties
following tillage of Norfolk loamy sand. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison,
47:196-201, 1983.
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâminas
delgadas. B. Inf. da Soc. bras. Ci. Solo. Campinas, 10: 44, 1985.

CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; VIEIRA, S.R.; CANTERELLA, H. e DECHEN, R.C.F. Influência do plantio direto e convencional na distribuição de cobre, ferro, manganês e zinco em dois latossolos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21, Campinas . 1987. Resumos, p.51-52.

CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, SP. 1986. 197 p. (Tese de Livre Docência, ESALQ, USP).

CHAN, K.Y. e MEAD, J.A. Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices. Aust. J. Soil Res., Melbourne, 26:549-559, 1988.

CHAN, K.Y.; BELLOTTI, W.D. e ROBERTS, W.P. Changes in surface soil properties of vertisols under dryland cropping in a semi-arid environment. Aust. J. Soil Res., Melbourne, 26:509-518, 1988.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P. e HEEMAN, D.P. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. Aust. J. Soil Res., Melbourne, 30:71-83, 1992.

CHANG, C.W. Effects of long-time cropping on soil properties in northeastern New Mexico. Soil Sci., Baltimore, 69:359-368, 1950.

CHAVES, L.H.G. e TRAJANO, M.D.M. Determinação do ponto de carga zero e das cargas elétricas do horizonte Ap de solos do Estado da Paraíba. R.bras. Ci. Solo, Campinas, 16:415-418, 1992.

- CHEN, Y.; TARCHITZKEY, J.; BRAUWER, J.; MORIN, J. e BANIN, A. Scanning electron microscopy observations on soil crusts and their formation. *Soil Sci.*, Baltimore, 130:49-55, 1980.
- COLLINS, J. F. e LARNEY, F. J. Micromorphological observations of compacted horizons (cultivation pans) from various horizons in Irish tillage soils. In: N.Fedoroff; L.M.Bresson e M.A. Courty (eds.), *Soil Micromorphology*. Paris. p. 451-457. 1987.
- COPE, J.T. Effects of 50 years of fertilization with phosphorus and potassium on soil test levels and yields at six locations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45:342-347, 1981.
- CURI, N.; LIMA, P.C. e LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. *B. Inf. Soc. bras. Ci. Solo*. Campinas, 10, 33-43. 1985.
- CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. XXI Cong. Bras. Ci. Solo, Campinas, 1988, p.447-454.
- CURTIS, R.O. e POST, B.W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 28:285-286, 1964.
- CURRIE, J.A. Gas diffusion through soil crumbs: the effects of compaction and wetting. *J. Soil Sci.*, London, 35:1-10, 1984.
- DAVIDSON, J.M.; GRAY, F. e PINSON, D.I. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J.*, 59:375-378, 1977.

DORMAN, C.A. e RUSSEL, M.B. Differences in aggregation of a Prairie and a Gray Brown Podzolic soil. *Soil Sci.*, Baltimore, 52:47-58, 1941.

DUTARTRE, Ph; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J.M. e ANGE, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. *Geoderma*, Amsterdam, 56:459-478, 1993.

EDMEADES, D.C. Effects of lime on effective cation exchange capacity and exchangeable cations on a range of New Zealand soils. *N.Z. J. Agric. Res.*, 25:27-33, 1982.

EHLERS, W. Observation on earthworms channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Sci.*, Baltimore, 119:242-248, 1975.

EL-SWAIFY, S.A.; AHMED, S. e SWINDALE, L.D. Effects of adsorbed cations on physical properties of tropical red tropical black earths. II. Liquid limit, degree of dispersion and moisture retention. *J. Soil Sci.*, London, 21:188-198, 1970.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura. 1979,

EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.*, London, 10:235-244, 1959.

FAHAD, A.A.; MIELKE, L.N.; FLOWERDAY, A.D. e SWARTZENDRUBER, D. Soil physical properties as affected by soybean and other cropping sequences. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 46:377-381. 1982.

- FARINA, M.P.W. e CHANNON, P. Acid subsoil amelioration : II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 52:175-180,1988.
- FITZPATRICK, E.A. Micromorphology of soils. London, N.Y., 1984.433 p.
- FOSTER, H.L. The basic factors which determine inherent soil fertility in Uganda. J. Soil Sci., London, 32: 149-160, 1981.
- FRANCIS, G.S.; CAMERON, K.C. e KEMP, R.A. A comparison of soil porosity and solute leaching after six years of direct-drilling or conventional cultivation. Aust. J. Soil Res., Melbourne, 26:637-649, 1988.
- GALLEZ, A.; JUO, A.S.R. e HERBILLON, A.J. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 40: 601-608, 1976.
- GILL, W.R. e VANDENBERG, G.E. Soil dynamics in tillage and tractor. Agriculture Handbook, 316. Washington. 1968. 511 p.
- GOH,T.B.; DUDAS,M.J. ; PAWLUK,S. e HARAPIAK,J.T. Physical, chemical and micromorphological effects of nitrogen fertilizers on chernozemic soil. Geoderma, Amsterdam, 40:177-192,1987.
- GOLDIN,A. e LAVKULICH,L.M. Historical land clearing in the fraser lowland of British Columbia and Washington State: I. Effects on soil genesis. Soil Sci.Soc. Am. J. ,Madison, 52:467-473,1988.

GREENLAND, D.J. Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.*, London, 31:301-322, 1981.

GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. e FRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron.*, New York, 42:331-338, 1988.

HADAS, A.; WOLF, D. e MEIRSON, J. Tillage implements-soil structure relationships and their effects on crop stands. *Soil Sci. Soc. Am. J. Madison*, 42:632-637, 1978.

HANKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. e RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil till. res.*, Amsterdam, 11:239-282, 1988.

HAMMEL, J.E. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53:1515-1519, 1989.

HARRIS, R.F.; CHESTER, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.*, New York, 18:107-160, 1965.

HILL, D.E. The storage of moisture in Connecticut soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 32:866-870, 1959.

HOCHMAN, Z.; EDMEADES, D.C.; WHITE, E. Changes in effective cation exchange capacity and exchangeable aluminum with soil pH in lime-amended fields soils. *Austr. J. Soil Res.*, Melbourne, 30:177-187, 1992.

HOROWITZ, A. e DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. III. Cobre na zona Litoral-Mata. *Pesq. Agrop. bras.*, 8:169-176, 1973.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. e FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 58:193-198, 1994.

JAHIRUDDIN, M.; CHAMBERS, B.J.; CRESSER, M.S. e LIVESEY, N.T. Effects of soil properties on the extraction of zinc. *Geoderma*, Amsterdam, 52: 199-208, 1992.

JAMISON, V.C. Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. *Soil Sci.*, London, 76:143-151, 1953.

JAMISON, V.C. Pertinent factors governing the availability of soil moisture to plants. *Soil Sci.*, Baltimore, 81:459-469, 1956.

JAMISON, V.C. e KROTH, E.M. Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 22:189-192, 1958.

JOHNSTON, J.R.; BROWNING, G.M.; RUSSEL, M.B. The effect of cropping practices on aggregation, organic matter content and loss of soil and water in the Marshall silt loam. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 7:105-107, 1942.

JONES, M.J. The organic matter content of the Savanna soils of west Africa. *J. Soil Sci.*, London, 24:42-53, 1973.

- JONGERIUS, A. The role of micromorphology in agricultural research. In: P. Bullock e C.P. Murphy (ed.). Soil Micromorphology, vol. 1. A.B. Academic Publishers, Herts, England, 111-138, 1982.
- JUO, A.S.R. e BALLAUX, J.C. Retention and leaching of nutrients in a limed Ultisol under cropping. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41:757-761, 1977.
- KATIAL, J.C. e SHARMA, B.D. DTPA - extractable and total Zn, Cu, Mn and Fe in indian soils and their association with some soil properties. Geoderma, Amsterdam, 49:165-179, 1991.
- KIRKBY, E.A. Maximizing calcium uptake by plants. Commun. in Soil Sci. and plant analysis, 10:89-113, 1969.
- KLINGEBIEL, A.A. e O'NEAL, A. Structure and its influence on tilt of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 16:77-88, 1952.
- KOOISTRA, M. J. The effects of compaction and deep tillage on soil structure in a Dutch sandy loam soil. In: N. Fedoroff; L.M. Bresson e M.A. Courty. (eds.), Soil Micromorphology. Paris. p. 445-450. 1987.
- KOOISTRA, M. J. ; JUO, A. S. R. e SCHOONDERBEEK, D. Soil degradation in cultivated Alfisols under different management systems in southwestern Nigeria. In: L.A. Douglas (ed.), Soil micromorphology : a basic and applied science. Amsterdam. p.61-69, 1990.
- LAVKULICH, L.M. e ROWLES, C.A. Effect of different land use practices on a British Columbia spodosol. Soil Sci., Baltimore, 111:323-329, 1971.

- LAWS, W.D. e EVANS, D.D. The effects of long-time cultivation on some physical and chemical properties of two Rendzina soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 4:15-19, 1949.
- LEAL, J.R. ; SOBRINHO, A.N.M.B. ; VELLOSO, A.C.X. e ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH : Variações em solo tratado com vinhaça. R. Bras. ci. solo, Campinas, 7:257-261, 1983.
- LEAL, J.R. e VELLOSO, C.X. Adsorção de fosfato em latossolos de cerrado. I Pesq. Agrop. Bras., 8:81-88, 1973.
- LEPSCH, I.F.; MENK, J.R.F. e OLIVEIRA, J.B. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. Soil Use and Management, 10:34-42, 1994.
- LOMBIN, G. Evaluating the micronutrient fertility of Nigeria semiarid savanna soils: 2. zinc. Soil Sci., Baltimore, 136:42-47, 1983.
- LOPES, S.L. Solos sob "cerrado" - Características, propriedades e manejo. Instituto da Potassa & Fósforo (EUA). Instituto Internacional da Potassa (Suíça), Piracicaba, SP, 1983. 162 p.
- McKEAGUE, J.A.; MacDOUGALL, J.I. e MILES, N.M. Micromorphological, physical, chemical, and mineralogical properties of a catena of soils from Prince Edwards Island in relation to their classification and genesis. Can. J. Soil Sci. , Ottawa, 53: 281-295, 1973.
- McKEAGUE, J. A.; FOX, C.A.; STONE, J.A. e PROTZ, R. Effect of cropping system on structure of Brookston clay loam in long-term experimental

- plots at Woodslee, Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 67:571-584, 1987.
- MANN, L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.*, Baltimore, 142:279-288, 1986.
- MARSHALL, T.J. e HOLMES, J.W. *Soil Physics*. New York. 345p. 1979.
- MARTEL, Y.A. e DESCHENES, J.M. Les effects de la mise en culture et de la prairie prolonges sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols due Quebec. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 56:373-383, 1976.
- MARTINS, D.C. Plant availability of extractable baron, copper and zinc as related to selected soils properties. *Soil Sci.*, Baltimore, 106:23-28, 1968.
- MARTINS, M. Efeitos da calagem na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em solos sob vegetação de cerrado. Piracicaba, SP, 1991. 86p (Dissertação de mestrado-ESALQ, USP).
- MARTIN, T.C.; ROBERTSON, J.A e PAWLUK, S. Changes in the micromophology and analytical properties of a Gray Luvisol (Cryoboralf) under a 49 year old forage stand. *Geoderma*, Amsterdam, 40:209-224, 1987.
- MAZZA, J.A. Variações em algumas propriedades de solos com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tratados com doses maciças de vinhaças. Piracicaba, 1985. 104p. (Dissertação de mestrado - ESALQ/USP).

- MEDVEDEV, U.V. Some changes in the physical properties of chernozems upon cultivation. *Soviet Soil Sci.*, 11:70-78, 1979.
- MEHLICH, A. e COLWELL, W.E. Influence of nature of soil colloids and degree of base saturation on growth and nutrient uptake by cotton and soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 8:179-184, 1943.
- MERMUTH, A.R. ; GREVERS, M.C.J. e JONG, E. Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, Amsterdam, 53:357-372, 1992.
- MONREAL, C.N. e JANZEN, H.H. Soil organic carbon dynamics after 80 years of cropping a Dark Brown Chernozem. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 73:133-136, 1993.
- NORTON, L.D. e SCHROEDER, S.L. The effects of various cultivation methods on soil loss : a micromorphological approach. In: N. Fedoroff; L.M. Bresson e M.A. Courty (eds.), *Soil Micromorphology* . Paris, p.431-436. 1987.
- OBI, M.E. e NNABUDE, P.C. The effects of different management practices on physical properties of a sandy loam soil in Southern Nigeria. *Soil till. Res.*, Amsterdam, 12:81-90, 1988.
- ONOFIOK, O.E. Spatial and temporal variability of some soil physical properties following tillage of a Nigerian Paleustult. *Soil till. Res.*, Amsterdam, 12:285-298, 1988.

PAGE, J.B. e WILLARD, C.J. Cropping systems and soils properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 11:81-88, 1946.

PAGLIAI, M.; MARCA, M.; LUCAMANTE, G. e GENOVESE, L. Effects of zero and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. Soil Till. Res., Amsterdam, 4:433-444, 1984.

PAGLIAI, M. Effects of different management practices on soil structure and surface crusting. In: N. Fedoroff; L.M. Bresson e M.A. Courty (eds.), Soil Micromorphology. Paris. p.415-421. 1987.

PAGLIAI, M. E De NOBILI, M. Relationships between soil porosity, root development and soil enzyme activity in cultivated soils. Geoderma, Amsterdam, 56:243-256. 1993.

PAWLUK, S. Micromorphological investigations of cultivated gray Luvisols under different management practices. Can. J. Soil Sci., Ottawa, 60:731-745, 1980.

PAWLUK, S. Faunal micromorphological features in moder humus of some western canadian soils. Geoderma, Amsterdam, 40:3-16, 1987.

PECK, N.H.; MacDONALD, G.E. WITTUM, M.T. e LATHWELL, D.J. Effects of concentrated superphosphate and potassium chloride on residual available P, K and Cl in three depths of soil derived from calcareous glacial till. Agron. J., Madison, 68:504-507, 1976.

PETERSEN, G.W.; CUNNINGHAM, R.L. e MATELSKI, R.P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils : II. Soil factors affecting moisture

- retention within a textural class-silt loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 32:866-870. 1968.
- RAIJ, Van B. e PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisol and Alfisol of the tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 36:587-593, 1972.
- RAIJ, V. van. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1981. 142p.
- REEVE, M.J.; SMITH, P.D. e THOMASSON, A.J. The effect of density on water retention properties of fields soils. J. Soil Sci., London, 24:355-366. 1973.
- RETZER, J.L. e RUSSELL, M.B. Differences in aggregation of a Prairie and a Gray Brown Podzolic soil. Soil Sci., Baltimore, 52:47-58, 1941.
- RINGIOSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. J. Soil Sci., London, 35:673-684, 1984.
- RITCHEY, K.D.; DJALMA, M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. Agron. J., Madison, 72:40-44, 1980.
- ROBERTS, W.P. e CHAN, K.Y. Tillage induced increases in carbon dioxide loss from soils. Soil till. res. Amsterdam, 17:143-151, 1990.

- ROBERTSON, J.A. Effect of management on soil organic matter. In: Pettapiece, W.W. (ed.). Agricultural land: our disappearing heritage. Edmonton, Alberta, p.30-34, 1983.
- ROBINSON, F.E. Required percentage air-space normal growth of sugar cane. Soil Sci., Baltimore, 98:206-207, 1964.
- RODELLA, A.A.; ZAMBELLO JR., E. e ORLANDO Fo., J. Calibração de cálcio, magnésio e acidez do solo para a cana-de-açúcar cultivada na região de cerrado. STAB. Açúcar e Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 2:45-48, 1984.
- ROVIRA, A.D. e GREACEN, E.L. The effect of aggregate disruption on the activity of microorganisms in the soil. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 8:659-679, 1957.
- RUSSELL, E.W. Soil conditions and plant growth. N.Y. 1973. 847p.
- SALTER, P.J.; BERRY, G. e WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. J. Soil Sci., London, 17:93-98, 1966.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. e BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rainforest in Peru. Soil Sci. Soc.Am.J., Madison, 47:1171-1178, 1983.
- SANCHEZ, P.A. e SALINAS, J.G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. Adv. Agron., New York, 34:279-406, 1981.

- SANCHEZ, P.A. Advances in the management of oxisols and ultisols in tropical South America. In: Proceedings of the international seminar on soil environment and fertility management in intensive agriculture. Tokyo-Japan, 535-566, 1977.
- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. N.Y., 1976. 619 p.
- SCHIMEL, D.S.; COLEMAN, D.C. e HORTON, K.A. Soil organic matter dynamics in paired rangeland and cropland toposequences in north Dakota. Geoderma, Amsterdam, 36:201-214, 1985.
- SCHWAB,G.O.;FREVERT,R.K.; EDMINSTER,T.W. e BARNES,K.K. Soil and Water Conservation Engineering,66:1413,1966.
- SEARSBROOK, C.E.; DEMENT, J. D. e STURGIS, M.B. Depth of plow pan as a factor in sugar-cane production. Soil Sci. Soc. Am. Proc.,Madison, 16:148-150, 1952.
- SHARPLEY, A.N. e SMITH, S.J. Distribution of potassium forms in virgin and cultivated soils of the USA Geoderma, Amsterdam, 42:317-329, 1988.
- SHARPLEY, A.N. e BUOL, S.W. Relationship between minimum exchancheable potassium and soil taxonomy. Commun. Soil Sci. plant anal., 18:601-614, 1987.
- SHIPTALO, J.J. e PROTZ, R. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero-tillage. Can. J. Soil Sci., Ottawa, 67:445-456, 1987.

- SHEAR, G.M. e MOSCHLER, W.W. Continuous corn by no-tillage and conventional tillage methods: a six year comparison. *Agron.J.*, Madison, 61:524-526. 1969.
- SHARMA, M.L. e UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in Low Humic Latosols: I. Water retention. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 32:765-770.1968.
- SHERMAN, G.D. e ALEXANDER, L.T. Characteristics and genesis of Low Humic Latosols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23:168-170.1959.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH,R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. In: The Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, 9., Yugoslavia, 1982. p.537-544.
- SILVA, M.S.L. e RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no Estado de Alagoas. *R.bras.Ci. Solo*, Campinas,16:397-402.1992.
- SPAIN, A.V. Influence of environmental conditions and some soils chemical properties on the carbon and nitrogen contents of some tropical australian rainforest soil. *Austr. J. Soil Res.*, Melbourne, 28:825-839.1990.

- SPARKS, D.L.; MARTINS, D.L. e ZALAZNY, L.W. Plant uptake and leaching of applied and indigenous potassium in Dothan soils. *Agron. J.*, Madison, 72:551-555. 1980.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. e BETTANY, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentrations of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. *Agron. J.*, Madison, 74:831-835. 1982.
- TISDALL, J.M. e OADES, J.M. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, 18:423-434. 1980.
- UEHARA, G. e KENG, J. Relaciones entre la mineralogia y el manejo de los suelos en la America Latina. In: E. Bornemisza. e A. Alvarado (eds.), *Manejo de suelos em la America Tropical*. Raleigh. p. 357-370. 1975.
- VALADARES, J.M.A.S. Zinco em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 34:133-139. 1975.
- VAN DOREN, D.M.; G.B. TRIPLETT e J.E. HENRY. Influence of long term tillage, crop rotation and soil type combinations on corn yeld. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 40:100-105. 1976.
- VEIHMEYER, F.J. e A.H. HENDRICKSON. Soil Density and root penetration. *Soil Sci.*, Baltimore, 65:487-493. 1948.
- VEPRASKAS, J.J. Bulk density values diagnostic of restricted root growth in coarse-textured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 52:1117-1121. 1988.

WHEETING, L.C. Changes in organic matter in western Washington soil as a result of cropping. *Soil Sci., Baltimore*, 44:139-149. 1937.

APÉNDICE

Tabela 11. Descrição micromorfológica resumida de profundidades selecionadas dos solos cultivados (cana planta e cana soca) e sob mata.

Prof. (cm)	Trama	Poros		Feições Pedológicas
		Tipos	Frequência	
P1 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	Grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	agrotubos (comum); raízes(frequente), pelotas fecais(abundante).
10-20	Grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	agrotubos (comum); raízes (frequente); câmaras (pouca)
60-100	Porfírica-grânica- granóidica	cavidades intercomunicantes microfissuras	dominante	canais preenchidos com material de entorno (comum)
P2 - Latossolo Vermelho Escuro (cana planta)				
0-10	Porfírica com cavidades	cavidades intercomunicantes	dominante	canais (pouco); raízes (comum); pelotas fecais (pouca)
10-20	Porfírica com cavidades	cavidades intercomunicantes	dominante	raízes (comum); canais (pouco)
60-100	Porfírica-grânica- granóidica	cavidades intercomunicantes, microfissuras	dominante	canais preenchidos com material de entorno (pouco); raízes (pouco)
P3 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	Porfírica com cavidades e fendas	cavidades e fendas horizontais	dominante	canais (pouco); raízes (pouco)
10-20	Porfírica com cavidades e fendas	cavidades e fendas horizontais	dominante	raízes tortuosas(pouco)
60-100	Porfírica-grânica- granóidica	cavidades intercomunicantes	dominante	canais (pouco)

Tabela 11. Continuação

Prof. (cm)	Trama	Poros		Feições Pedológicas
		Tipos	Frequência	
P4 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	agrotubos e pelotas fecais(frequente); câmaras
10-20	grânica-granóidica- porfirica-fragmíca	empilhamento composto e aplainados	dominante frequente	agrotubos (frequente); canais biológicos(comum)
60-100	grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	agrotubos e raízes (comum); pelotas fecais (pouco)
P5 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	Porfirica com cavidades	cavidades	dominante	raízes orientadas no sentido oblíquo (comum)
10-20	Porfirica com cavidades e fendas	cavidades e fendas	dominante	raízes tortuosas e finas(comum)
60-100	grânica e granóidica	empilhamentos composto	dominante	agrotubos(pouco); raízes (muito pouco)
P6 - Latossolo Vermelho Escuro (mata)				
0-10	gefúrica-quitônica	empilhamento simples	dominante	câmaras e pelotas fecais (pouco); raízes e (granotu- bos(comum)
10-20	gefúrica-quitônica	empilhamento simples	dominante	câmaras , raízes e pelotas fecais (pouco)
60-100	gefúrica-quitônica- porfirica	empilhamento simples	dominante	câmaras e raízes (pouco)
P7 - Latossolo Vermelho Escuro (cana soca)				
0-10	gefúrica-quitônica	empilhamento simples	dominante	canais e câmaras (muito pouco); raízes (pouco)
10-20	gefúrica-quitônica	empilhamento simples	dominante	câmaras (muito pouco)
60-100	gefúrica-quitônica- porfirica	empilhamento simples	dominante	raízes, câmara e canais(pouco);gra- notubos(comum)

Tabela 11. Continuação

Prof. (cm)	Trama	Poros		Feições Pedológicas
		Tipos	Frequência	
P8 - Latossolo Roxo (mata)				
0-10	grânica	empilhamento composto	dominante	raízes (abundantes); agrotubos (dominante); pelotas fecais (frequente); galerias(comum)
10-20	grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	raízes (abundante);agro- tubos,pelotas fecais (comum)
60-100	grânica-granóidica- porfírica	empilhamento composto e cavidades	dominante	raízes (dominante)agro- tubos(comum)
P9 - Latossolo Roxo (cana planta)				
0-10	granóidica-grânica	empilhamentos composto	dominante	raízes (dominante); canais (comum); galerias (comum); pelotas fecais (pouco)
10-20	granóidica-grânica- porfírica	empilhamentos composto e microfissuras	dominante	raízes (comum); canais (pouco); pelotas fecais (muito pouco)
60-100	grânica	empilhamentos composto	dominante	raízes (pouco); canais preenchidos com material de entorno (frequente)
P10 - Latossolo Roxo (cana soca)				
0-10	granóidica e grânica	empilhamento composto	dominante	raízes (comum); galerias preenchidas de material fino (comum)
10-20	grânica-granóidica- porfírica	empilhamento composto e fendas	frequente pouco	raízes (comum),galerias(p oucas)
60-100	grânica	empilhamento composto	dominante	raízes (frequente); canais preenchidos com material de entorno (comum)

Tabela 11. Continuação

Prof. (cm)	Trama	Poros		Feições Pedológicas
		Tipos	Frequência	
P11 - Terra Roxa Estruturada (mata)				
0-10	Porfírica	aplainados	dominante	raízes e granotubos(frequente); câmaras(pouco)
10-20	Porfírica	aplainados	frequente	raízes e granotubos(comum pelotas fecais e câmaras (pouco)
60-100	grânica e granóidica	empilhamento composto	frequente	raízes (comum); granotubos, pelotas fecais e câmaras (pouco)
P12 - Terra Roxa Estruturada (cana soca)				
0-10	Porfírica	cavidades e fendas	dominante pouco	raízes e granotubos(comum)
10-20	Porfírica	cavidades e fendas	dominante frequente	raízes finas e tortuosas
60-100	grânica e granóidica	empilhamento composto	dominante	canais, granotubos, raízes (pouco)
P13 - Areia Quartzosa (mata)				
0-10	gefúrica e quitônica	empilhamento simples	dominante	canais, raízes, câmaras e pelotas fecais (comum)
10-20	gefúrica e quitônica	empilhamento simples	dominante	raízes, câmaras (comum); pelotas fecais (pouco)
60-100	gefúrica e quitônica	empilhamento simples	dominante	raízes, câmaras e pelotas fecais (pouco)
P14 - Areia Quartzosa (cana soca)				
0-10	gefúrica-quitônica-porfírica	empilhamento simples	dominante	raízes (comum); canais (comum); pelotas fecais (pouca)
10-20	gefúrica e quitônica	empilhamento simples	dominante	raízes (pouca); canais (pouco)
60-100	gefúrica e quitônica	empilhamento simples	dominante	raízes (pouco); canais (pouco)