

Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar (1)

C.C. CERRI (2), C. FELLER (3) e A. CHAUVEL (4)

- (1) Trabalho financiado pelo Projeto de Cooperação Científica Internacional CNPq/Orstom/Cena (Brasil)
(2) Pesquisador do Cena-USP, Caixa Postal 96, CEP 13400 Piracicaba (SP), Brasil
(3) Pesquisador da Orstom - 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France
(4) Pesquisador da Orstom - Inpa, Manaus (AM), Brasil

RESUMO

Estudou-se o efeito do cultivo contínuo com cana-de-açúcar por doze e cinquenta anos (depois do corte da mata natural) sobre as principais propriedades de um latossolo vermelho escuro da região de Piracicaba (SP, Brasil). Com o desenvolvimento da cultura foram observadas modificações na morfologia do solo, nas propriedades físicas (estabilidade estrutural e porosidade), químicas (diminuição do pH, de troca, dos teores em fósforo assimilável, do carbono e do nitrogênio) e biológicas (diminuição da biodegradabilidade da matéria orgânica e da biomassa microbiana).

Estas variações estão relacionadas com uma significativa diminuição do estoque orgânico que afeta essencialmente os 20 primeiros centímetros do solo. Constatou-se entretanto, que após desmatamento manual e cinquenta anos de cultivo, houve um aumento notável da água disponível (Ad) de 10 a 30 centímetros de profundidade, ligado a uma transformação microestrutural dos horizontes superficiais.

TERMOS DE INDEXAÇÃO : Latossolo – Evolução sob cultura – Cana-de-açúcar – Propriedades físicas, químicas, biológicas – Brasil

RÉSUMÉ

ÉVOLUTION DES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS D'UN LATOSOL (ROUGE FONCÉ) APRÈS DÉFRICHEMENT ET SOUS CULTURES DE CANNE À SUCRE PENDANT 12 ET 50 ANS

On étudie l'effet de cultures continues de canne à sucre pendant 12 (T12) et 50 (T50) ans après défrichement d'une forêt (T0), sur les principales propriétés d'un Latosol rouge sombre du Brésil (État de São Paulo). Avec la mise en culture de fortes modifications apparaissent généralement concernant la morphologie des profils (fig. 1) et des micro-organisations (fig. 2), les stocks de carbone total, de racines et de biomasse microbienne (tableau II et fig. 5), les propriétés physiques (porosité, rétention en eau, stabilité structurale) (tableau I et fig. 3 et 4) et chimiques (pH, N, P, propriétés d'échange et micronutriments) (tableau III et fig. 6). Ces variations sont liées aux fortes diminutions des stocks organiques (37 et 44 % respectivement pour T12 et T50) sur les 20 premiers centimètres de sol.

Ainsi, on note une augmentation de l'acidité, une baisse des teneurs en éléments minéraux échangeables ou assimilables et une forte dégradation de la structure. L'amplitude de ces variations est importante entre 0 et 12 ans de culture (T12), puis plus faible de 12 à 50 ans (T50). Toutefois, pour la parcelle T50, on constate des réserves plus élevées en eau utile dans les horizons de surface que pour T12. Cet effet est attribué au mode de défrichement initial de chacune de ces parcelles : mécanique pour T12 (avec tassement), manuel pour T50.

MOTS CLÉS : Latosol – Évolution sous culture – Canne à sucre – Propriétés physique, chimique et biologique – Brésil

ABSTRACT

EVOLUTION OF THE MAIN PROPERTIES OF A DARK RED LATOSOL AFTER DEFORESTATION AND SUGARCANE CULTIVATION FOR 12 AND 50 YEARS

The effect of continuous sugarcane cultivation for 12 and 50 years (after clearance of natural forest) on the main properties of a Dark Red Latosol from Brazil (São Paulo State) was studied. With the development of cultivation, some modifications are noted in soil morphology, physical (structural stability and porosity), chemical (decrease in pH, exchange capacity, available phosphorus, carbon and nitrogen contents) and biological (decrease in organic matter biodegradability and microbial biomass) properties. These variations relate to high decrease in organic stock which affects essentially the first 20 cm of the soil. However, after 50 years cultivation following manual clearance of natural forest, a marked increase in water available (Ad) at 10-30 cm depth, linked to a micro-structural change of sub-surface horizons, is noted.

KEY WORDS : Latosol – Evolution under cultivation – Sugarcane physical, chemical and biological properties - Brasil

INTRODUÇÃO

O desmatamento e a agricultura conduzem, invariavelmente, à modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, particularmente nas regiões tropicais (NYE, 1961; NYE e GREENLAND, 1960 e 1964; FAUCK *et al.*, 1969; SIBAND, 1974; FELLER e MILLEVILLE, 1977; FALESI, *et al.*, 1982; MOREAU, 1983; SANCHEZ *et al.*, 1983; MASILACA *et al.*, 1986).

As variações das propriedades edáficas estão em relação direta com as variações do estoque orgânico, uma vez que a matéria orgânica é um fator essencial na estruturação dos horizontes superficiais, do condicionamento de suas propriedades de troca iônica e ainda se constitui numa importante reserva de nutrientes tanto para as plantas, como para os organismos do solo (OADES, 1984; EMERSON *et al.*, 1986).

Um vasto programa de produção de álcool a partir da cana-de-açúcar (PROALCOOL) está sendo conduzido no Brasil desde 1974. Mesmo que a cana-de-açúcar seja considerada uma planta de boa restituição orgânica ao solo, notadamente pelas raízes, parece importante medir o efeito a longo prazo da cultura sobre as propriedades do solo, particularmente sobre o estoque orgânico. Com o objetivo de contribuir para o fornecimento dessas informações selecionou-se neste trabalho, duas áreas desmatadas e cultivadas exclusivamente com cana-de-açúcar respectivamente por 12 (T12) e 50 (T50) anos, e uma outra área do mesmo solo, porém sob mata natural. Esta última foi utilizada como testemunha (T0) das modificações decorrentes do cultivo.

O presente trabalho é, portanto, um estudo do efeito a longo prazo do cultivo sobre as principais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das situações escolhidas

O local escolhida situa-se na Usina Capuava S.A. no município de Piracicaba (SP). O clima regional é do tipo mesotérmico CWa, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno. As chuvas do mês mais seco não atingem 30 mm e a temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C, enquanto que a do mês mais frio é inferior a 18 °C. A pluviosidade total da região é de 1 200 mm anuais. A vegetação primitiva é a floresta latifoliada tropical. Dentre as espécies dessa comunidade vegetal, destacem-se a peroba (*Aspidosperma* sp.), figueira branca (*Ficus doliara*, Mart.), pau d'alho (*Gallezia dorozema*) e palmito (*Euterpe edulis*). A vegetação da área de referência (T0) apresenta-se parcialmente alterada. O solo é um Latossolo vermelho escuro que se desenvolve sobre intercalações de arenito e basalto. Em relevo menor que 1 %, individualizou-se três distintas situações de ocupação do terreno (fig. 1). Uma área está coberta com vegetação nativa (T0), outra desmatada há cinquenta anos (T50) e outra há doze anos (T12), ambas cultivadas exclusivamente e continuamente com cana-de-açúcar. A parcela atualmente cultivada por cinquenta anos (T50) foi desmatada manualmente. A maior parte da madeira foi removida e o restante, queimado no próprio local. As primeiras arações e gradagem foram feitas com tração animal. Nas condições da Usina, a cada ciclo de quatro anos toda a cultura é reformada. Desde o desmatamento até agosto de 1983, data da coleta das amostras, foram feitos doze plantios de cana-de-açúcar. A parcela de doze anos (T12), foi desmatada mecanicamente, e teve quatro reformas, todas com tração mecânica.

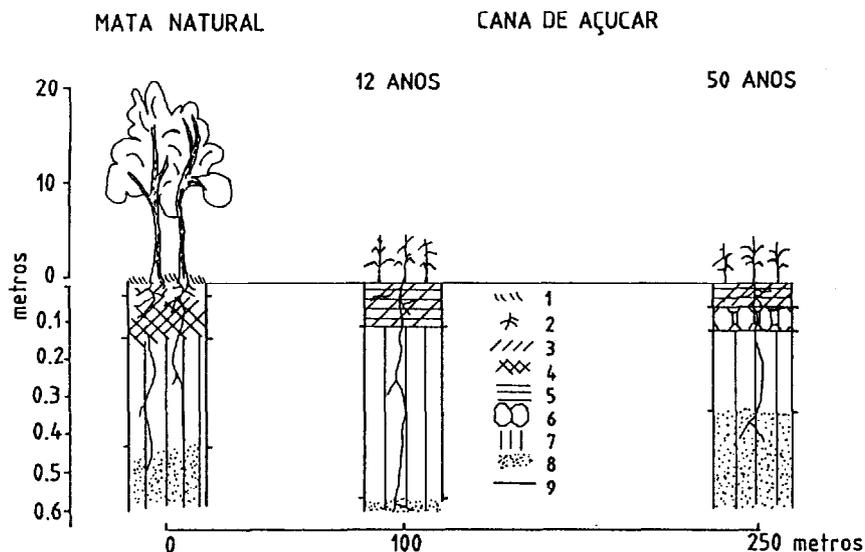


FIG. 1. - Posicionamento e morfologia esquemática dos solos sob mata natural, e cultivado por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar
 1 = Liteira; 2 = Raízes; 3 = Estrutura grumosa; 4 = Estrutura poliedrica (2 cm); 5 = Estrutura com tendência lamelar; 6 = Estrutura cubica (5-10 cm);
 7 = Estrutura contínua; 8 = Microagregados (« Po de café »); 9 = Limite nítido entre os horizontes.

Situation et morphologie schématique des sols sous végétation naturelle et sous culture de canne à sucre pendant 12 et 50 ans
 1 = litière; 2 = racines; 3 = structure grumeleuse; 4 = structure polyédrique (2 cm); 5 = structure à tendance lamellaire; 6 = structure cubique
 (5-10 cm); 7 = structure massive; 8 = microagrégats (« poudre de café »); 9 = limite d'horizon nette.

A variedade de cana-de-açúcar mais cultivada nas duas áreas é a NA-5679. A cada ano, faz-se uma adubação mineral de 2 300 kg.ha⁻¹, utilizando a formulação (15 00 25) na soca e (00 20 30) no plantio. Segundo informações obtidas na Unisa não é incorporada vinhaça ao solo e nas reformas é feita uma calagem de 1 000 kg.ha⁻¹ com calcáreo. Nos últimos dez anos a produtividade média das duas áreas estudadas foi de 85 t.ha⁻¹.

As amostragens de raízes e solo

Em cada situação (T0, T12 e T50) procedeu-se a coleta de dez amostras por tradagem até vinte centímetros de profundidade. Estas amostras foram coletadas para se determinar a variação do teor em carbono. Na quantificação das raízes, removeu-se todo o solo contido em um metro quadrado, em camadas de 10 cm de espessura até um metro de profundidade. A terra de cada camada foi pesada e separou-se as raízes por peneiragem a 2 mm. As amostras de terra para as demais análises foram coletadas da seguinte maneira: para a camada superficial de 20 cm de espessura, removeu-se toda a terra de uma superfície de um metro quadrado e no laboratório, fez-se a quarteação até obter uma quantidade de amostra suficiente para as análises. Abaixo de 20 cm de profundidade, coletou-se, em uma área de um metro quadrado, cinco amostras de 1 000 cm³ em camadas de 10 cm de espessura. Estas amostras serviram ao mesmo tempo

para as determinações de densidade e demais análises descritas a seguir. A análise morfológica do solo foi feita nas paredes das trincheiras abertas para coleta das amostras de terra.

Os métodos de análises

O carbono e nitrogênio total do solo foram quantificados simultaneamente por via seca, com o Analisador Elementar (CHNOS) Carlo Erba Mod. 1104.

A análise granulométrica, foi feita depois da destruição da matéria orgânica por água oxigenada e dispersão com hexametáfosfato de sódio e ultrassom por 15 minutos a 20 KHz. As amostragens das partículas de argila (0-2 µm) e silte fino (2-20 µm) foi feita com uma pipeta Robinson e separação do silte grosso (20-50 µm), areia fina (50-200 µm) e grossa (200-2 000 µm) por peneiragem.

A biomassa microbiana foi estimada pelo método de JENKINSON e POWLSON (1976). Este método consiste em se quantificar a evolução do carbono sob a forma de CO₂ de uma amostra do solo fumigado com cloroformio e outra amostra do mesmo solo, porém não fumigada. A variação do carbono evoluído como CO₂ entre as duas amostras é equivalente àquele que constitui a biomassa microbiana do solo, no momento da fumigação.

O índice de instabilidade estrutural (Is) foi determinado pelo método de HENIN *et al.* (1969). Este método, consiste em quantificar os agregados resistentes

tes em amostras de solo depois de pré-tratamentos com álcool (Agal %), benzeno (Agbe %) e em água (Agag %). Após a agitação em água as frações > 0,2 mm (Agal, Agbe e Agag) são separadas em peneira em condições normalizadas e a fração < 0,02 mm determinada por sedimentação pelo método da pipeta. O índice Is, é calculado pela fórmula :

$$I_s = \frac{\text{partículas} < 0,02 \text{ mm obtidas após a análise dos agregados}}{\text{Ag ag} + \text{Ag al} + \text{Ag be}} \cdot 0,9 \text{ Areia Grossa}$$

Os valores Is entre 0,1 a 0,6 correspondem a uma estabilidade elevada ; de 0,6 a 1 à média ; e superior a 1, baixa.

As densidades aparentes medidas entre 0 e 20 cm, foram obtidas através das medidas do volume e peso de terra de uma superfície de 1 m². As densidades entre 20 e 80 cm de profundidade foram feitas a partir de cinco repetições por camada de 10 cm e medida do volume do solo (aproximadamente 1 dm³) preenchendo o buraco com areia calibrada.

O valor pH em H₂O e KC1 1 N foi determinado potenciométricamente em suspensão 1 : 2,5. As bases trocáveis foram extraídas com HNO₃ 0,05N, o Ca²⁺ e Mg²⁺ dosados por absorção atômica e o Na⁺ e K⁺ por fotometria de chama. O H⁺ e Al³⁺ foram extraídos com KC1 1 N e, dosados por titulação com NaOH 0,025N. O PO₄³⁻, foi extraído com H₂SO₄ 0,05N e, dosado coloricamente. Os micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn foram extraídos por HCl 0,1N e, dosados por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido em argônio. As medidas de capacidade de campo (CC) e ponto de murchamento permanente (PMP), foram realizadas nos laboratórios da Seção de Física de Solos do CENA, de acordo com a metodológica empregada por RICHARDS (1965).

As lâminas delgadas de solo foram preparadas no laboratório do Instituto de Geociências da USP, e analisadas à lupa e ao microscópio óptico petrográfico, segundo os métodos de análise de BREWER (1976). Utilizou-se os aumentos de 10 e 50 e empregou-se a terminologia proposta pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (CURI *et al.*, 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfologia dos solos

Descrição dos perfis referentes as situações T0, T12 e T50 estão descritos a seguir :

T0 mata natural

10-0 cm serapilheira

A1 0-12 cm ; vermelho escuro ; (10R 3/4, seco) ; argilosa, estrutura grumosa forte, média, muito

porosa e muito friável ; raízes muito finas e médias ; plástico ; transição gradual. A camada 0-6 cm é mais bruna e mais grumosa.

A3 12-40 cm ; vermelho escuro (10R 3/6, seco) ; argilosa ; estrutura em blocos angulares, subangulares ; fraca média ; poros comuns ; friável ; frágil ; plástico ; raízes finas comuns médias, poucas ; transição difusa.

B1 40-70 cm ; vermelho ; (2,5R 3/4, seco) ; argila ; em blocos muito fraco, médios ; poros comuns ; frágil ; friável ; plástico ; raízes finas fracas ; transição difusa. A partir de 70 cm começa uma camada mais compacta.

B2 100 cm +, vermelho escuro ; (10R 3/6, seco) ; argila ; fraca ; poroso ; muito frágil ; muito friável ; raízes finas, raras.

T12 cana-de-açúcar - doze anos

Ap1 0-10 cm ; vermelho ; (10R 3/4) ; argila ; grumos médios, muito pequenos, nítida, forte, friável, plástico, poroso, raízes finas, poucas, transição distinta e ondulada.

Ap2 10-30 cm ; bruno avermelhado escuro ; (2,5YR 3/4) ; argila, média, laminar de tamanho 2 cm, poucos poros, frágil, friável, plástico, raízes finas comuns, transição difusa.

B1 30-50 cm ; bruno avermelhado escuro ; (2,5YR 3/4) ; argila, subangular ; pouco poroso ; friável, plástico, raízes comuns, transição gradual.

B2 50-80 cm ; vermelho escuro ; (2,5YR 3/6) ; argila, subangular, poucos poros, muito friável, plástico, raízes comuns, transição difusa.

B22 80-100 cm ; vermelho escuro ; (2,5YR 3/6) ; argila, subangular, mais porosa e muito mais friável que a camada anterior, plástico, raízes comuns, transição difusa.

T50 cana-de-açúcar - cinquenta anos

Ap1 0-10 cm, bruno avermelhado escuro ; (2,5YR 3/4) ; argila, estrutura bem desenvolvida, grumos muito pequenos, blocos subangulares médios e grandes. Os blocos subangulares são pouco frágeis e com poucos poros. O conjunto é poroso com raízes finas comuns, transição distinta ondulada. Os blocos subangulares aumentam de número e tamanho na base do horizonte.

Ap2 10-30 cm, bruno avermelhado escuro ; (2,5YR 3/4) ; argila, estrutura fraca em blocos angulares médios e grandes, frágeis e friáveis, com poucos poros, raízes finas, comuns, transição difusa.

B1 30-50 cm, vermelho escuro, (2,5YR 3/6), argila, estrutura prismática, muito fraca a maciça com

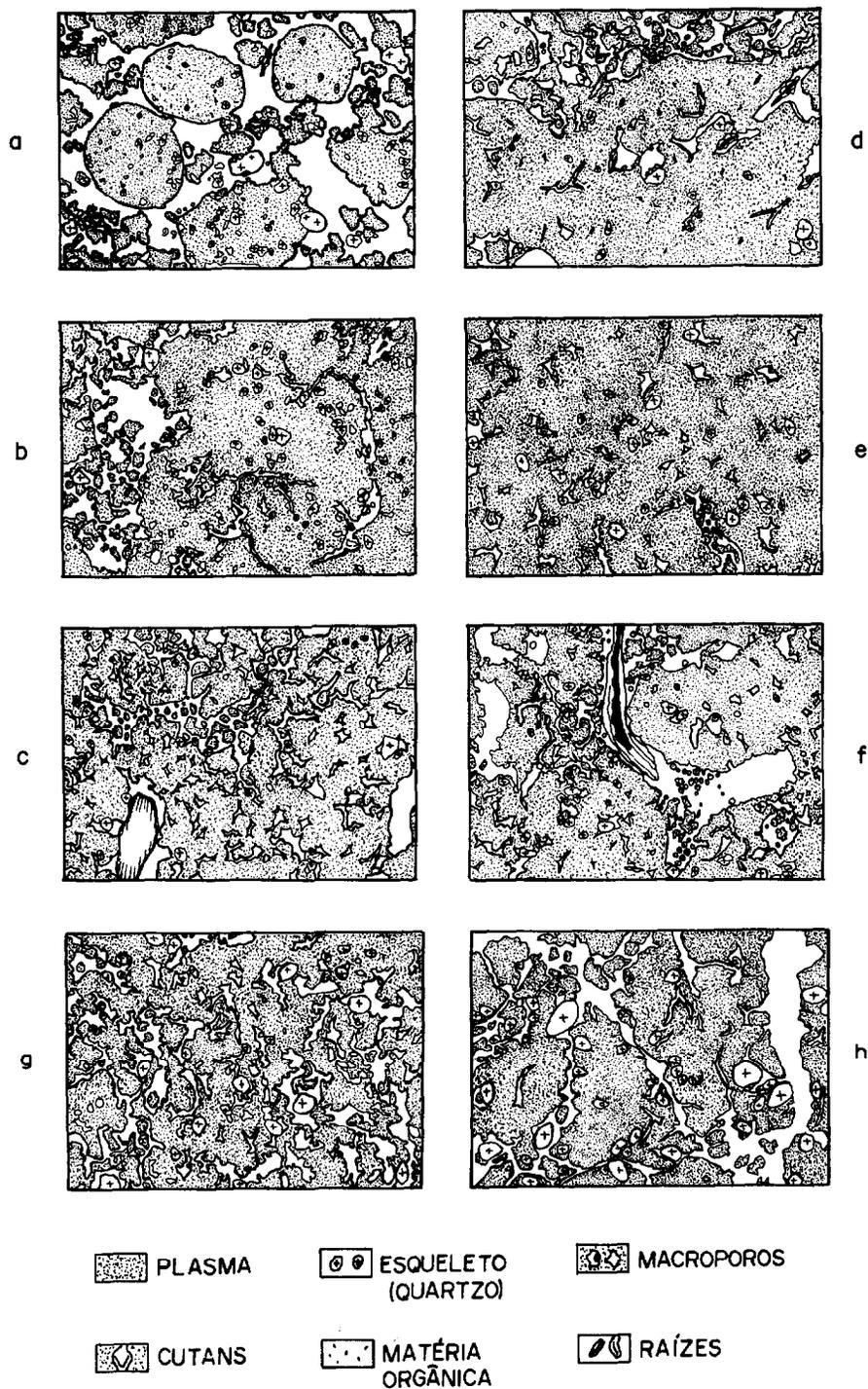


FIG. 2. - Organização microscópica dos solos estudados. a, b, c = (X10), horizontes A1, A3, B1 de T0 ; d, e, f = (X10), horizontes Ap1, Ap2, B2 de T12 ; g = (X50), horizonte Ap2 de T12 ; h = (X50), horizonte Ap2 de T50.

Micromorphologie des sols étudiés. a, b, c = (X10), horizons A1, A3, B1 de T0 ; d, e, f = (X10), horizons Ap1, Ap2, B2 de T12 ; g = (X50), horizon Ap2 de T12 ; h = (X50), horizon Ap2 de T50.

poucos poros, frágil e friável e plástico, raízes finas comuns, transição gradual.

- B21 50-80 cm, vermelho escuro, (2,5YR 3/6) argila, maciço, poro comuns muito frágil e muito friável, raízes finas comuns, transição difusa.
- B22 80-100 cm, vermelho escuro, (2,5YR 3/6), argila, maciço, poros comuns, muito frágil e muito friável, raízes finas comuns, transição difusa.

Análise microscópica

As figuras feitas com aumento $10 \times$ figura 2 (a, b, c, d, e, f) e de $50 \times$ figura 2 (g, h), evidenciam as características comuns do conjunto dos materiais estudados e as diferenças provocada pelo cultivo. Constata-se portanto que todos os horizontes apresentam um plasma dominante e contínuo. As análises mineralógicas, químicas e físicas indicam que este plasma é constituído de caolinita, oxi e hidróxidos de ferro e matéria orgânica muito fina. O esqueleto, constituído por grãos de quartzo ($0,1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$), pouco abundantes ($< 10\%$ do volume), e disperso no plasma, não condiciona um arranjo capaz de assegurar a manutenção da macroporosidade. As principais diferenças entre perfis sob floresta e sob cultivo, se relacionam, em primeiro lugar, ao tipo de agregação e à distribuição dos macroporos com diâmetro maior que $100 \mu\text{m}$, que asseguram a circulação rápida do ar e da solução do solo; em segundo lugar, à estrutura plásmica e às características dos microvazios (diâmetro entre 5 e $30 \mu\text{m}$; JONGERIUS, 1957), que determinam as quantidades de água disponível para as plantas.

T0 (mata natural)

Apresenta, de cima para baixo, três microestruturas diferentes: o horizonte A1 (de 0 a 12 cm de profundidade, fig. 2a) é principalmente caracterizado pelos efeitos de uma atividade biológica intensa, mais particularmente da fauna do solo. A maior parte dos agregados são constituídos de excrementos (pelotas fecais ou « fecal pellets ») provavelmente de diplópodos, de forma arredondada, milimétricos; o plasma destes agregados é uma mistura íntima de matéria mineral e de matéria orgânica muito fina; o esqueleto é composto de alguns grãos de quartzo muito pequenos ($< 0,1 \text{ mm}$). Os outros agregados apresentam formas e dimensões variáveis. Eles contém pequenas partículas de matéria orgânica e quartzo de tamanhos variados dispersas no plasma. Os macroporos localizados entre os agregados biológicos ocupam cerca de 20% do volume total e são interligados; eles contém raízes muito finas e microagregados de origem biológica ($50 \mu\text{m}$). O horizonte A3 (de 12 a 40 cm de profundidade, fig. 2b) é constituído por um plasma

contínuo cortado por planares curvos de aproximadamente 100 micrometros de largura, e de forma policôncava irregular. Este horizonte é recortado verticalmente por tubos milimétricos preenchidos por pequenos bioagregados (agrotubos). Este horizonte apresenta o máximo de compactidade dentro do perfil do solo; a sua macroporosidade é, entretanto, suficiente para permitir uma boa penetração do ar e da água em profundidade. O horizonte B1 (40 a 70 cm de profundidade, fig. 2c), apresenta comparativamente ao A3 uma macroporosidade maior, bem mais distribuída no material. Observa-se numerosos vazios policôncavos de mais de 100 milímetros de largura, delimitando parcialmente micro-agregados arredondados cujos diâmetros estão compreendidos entre 100 e $500 \mu\text{m}$. Vistos com aumento de $50 \times$ com Nicóis cruzados, estes micro-agregados aparecem constituídos por um plasma vermelho escuro, com dominância isotropa, assepico a isotico de aspecto coagulado. Este tipo de distribuição é chamado de « agglutinic » por ESWARAN e BANOS (1976). Observa-se igualmente, alguns tubos de raízes subverticais milimétricos. Alguns agrotubos subhorizontais, devidos à atividade da fauna (cupins) são igualmente visíveis.

T12 (doze anos de cana-de-açúcar)

Apresenta características micro-estruturais muito diferentes. Os horizontes Ap1 (de 0 a 10 cm de profundidade) e Ap2 (10 a 30 cm), ambos visíveis na fig. 2d e 2e são separados por uma transição nítida ondulada. Acima deste limite, o horizonte Ap1, apresenta uma estrutura em grumos muito pequena e uma rede de vazios inter-agregados comunicantes. Visto com aumento de $50 \times$ e luz polarizada, o plasma destes agregados é isotrópico, quase opaco, microgranular. Abaixo do limite, no horizonte Ap2, a estrutura é contínua. A macroporosidade limita-se à alguns vazios planares descontínuos, a raros tubos de raízes e agrotubos e os vazios policôncavos, não interligados. A observação com aumento de $50 \times$ e luz polarizada, mostra que o plasma deste horizonte é constituído por microgrânulos esféricos que se ligam localmente entre si enquanto que a argila se orienta ao redor dos vazios (estrutura plásmica assepica com tendência porosépica ou « vosepica »; BREWER, 1976). Além disso, observou-se que os únicos constituintes orgânicos visíveis ao microscópio nos horizontes Ap1 e Ap2 são fragmentos vegetais, parcialmente carbonizados e, em vias de decomposição.

O horizonte B2 (de 50 a 80 cm de profundidade) é representado pela figura 2f. O aumento da porosidade de cima para baixo, corresponde, em primeiro lugar, a um crescimento progressivo dos vazios policôncavos que permanecem, menos regularmente distribuídos que na mesma profundidade no perfil T0, e, em

segundo lugar, ao desenvolvimento de numerosos tubos de raízes subverticais milimétricas. Constata-se que muitas raízes estão contorcidas o que revela uma dificuldade de penetração. Na parte destes tubos não ocupada pelas raízes, se encontram pequenos bio-agregados de aproximadamente 100 μm de diâmetro. A observação com aumento de 50 \times e luz polarizada mostra um plasma isotrópico, granular, apresentando uma distribuição « agglutinic » comparável àquela do perfil T0 à mesma profundidade.

T50 (50 anos com cana-de-açúcar)

Apresenta no aumento 10 \times , uma micro-estrutura pouco diferente daquela do perfil T12. Constata-se entretanto, que o limite estrutural entre os horizontes Ap1 e Ap2 (10 cm de profundidade) é menos marcado que aquele do perfil T12. Com aumento de 50 \times , observa-se, que as principais diferenças entre as micro-estruturas dos horizontes Ap2 do perfil T12 (fig. 2g) e do perfil T50 (fig. 2h) se relacionam sobretudo com a microestrutura do plasma onde a granulação e a isotropia dominante do plasma (assepico a porosépico) no perfil T12, desaparecem por coalescência dos grânulos e orientação do plasma paralelamente as paredes dos poros (estrutura porosépica bem definida). Ao mesmo tempo a rede de microvazios policôncavos, sustentada pelos grânulos, bem visíveis no perfil T12 ; desmorona-se enquanto formam-se microfissuras mais ou menos comunicantes. Assim manifesta-se neste nível uma transformação progressiva de estrutura plásmica e da porosidade mais fina visível ao microscópio. Fora disto, observa-se que os únicos constituintes orgânicos visíveis são também fragmentos vegetais de cana-de-açúcar em vias de decomposição.

Na parte mais profunda do perfil (horizonte B2) a microestrutura permanece bastante comparável àquela dos perfis T0 e T12, caracterizada pela abundância dos micro-agregados sustentando uma rede densa de vazios policôncavos.

Em suma, a comparação dos três perfis mostra que as modificações micro-estruturais do solo devidas a substituição da floresta pela cana-de-açúcar, afetam principalmente a parte superior do perfil do solo. Constata-se que, entre 0 e 12 anos de cultivo :

a) a extinção das micro-estruturas devidas a atividade biológica sob floresta (tubos de raízes, galerias, câmaras e excrementos da fauna) ;

b) a formação de estrutura e porosidade próprias aos horizontes cultivados, devido a fragmentação do horizonte Ap1 e a uma compactação dos horizontes superficiais. Parece que esta transformação está ligada às energias aplicadas ao solo depois do desmatamento. Assim a compactação mais forte no horizonte Ap2 do perfil T12 é provavelmente uma consequência do uso

das máquinas pesadas as quais não foram utilizadas na área do perfil T50, cujo desmatamento foi feito manualmente e as primeiras arações com tração animal ;

c) o desenvolvimento dos tubos de raízes de cana-de-açúcar, subverticais, atingindo 1 m de profundidade ;

d) a passagem de um tipo de matéria orgânica principalmente constituída por partículas muito finas e misturadas com matéria mineral nos bio-agregados sob floresta, a outro tipo uma dominante de matéria orgânica constituída por fragmentos vegetais, mais ou menos grosseiros e decompostos, irregularmente distribuídos na massa dos horizontes Ap1 e Ap2.

Entre 0 e 50 anos de cultivo com cana-de-açúcar, observamos que os microvazios ($5 \mu\text{m} < d < 30 \mu\text{m}$) inicialmente policôncavos e comunicantes se tornam planares e mais ou menos descontínuos.

Propriedades físicas

A seguir, apresentam-se os resultados das análises mecânica, retenção de água e estabilidade estrutural.

Análise mecânica

Os resultados do quadro I evidenciam que os três perfis são argilosos, mas o solo sob floresta tem um horizonte de superfície (0-20 cm) nitidamente mais pobre (20 %) em argila, quando comparando com os horizontes de profundidade. Esta variação também foi observada nas parcelas cultivadas mas com intensidade menor (5 a 10 %). Tomando em consideração o teor em ferro desses solos, e conseqüentemente a possível presença de pseudolimos, é preferível comparar os teores dos vinte centímetros superficiais para estimar a diferença entre as amostras. Nessas condições, nota-se que os teores em elementos finos para um mesmo horizonte podem ser considerados idênticos para as três situações. Isso permite concluir que, antes do desmatamento os estoques orgânicos das parcelas T12 e T50 deveriam ser iguais ao teor da parcela T0. Esta hipótese não poderia ter sido feita com diferenças granulométricas importantes entre as parcelas. A dispersão mais completa das argilas para as amostras dos perfis T12 e T50 pode ser eventualmente atribuída ao efeito do cultivo. Esta mesma constatação já foi feita por CHAUVEL (1977) para os solos intensivamente cultivados no Senegal.

Densidade aparente

Varia de 1,06 a 1,54 para todas as amostras coletadas (Quadro I). Com excessão do valor 1,54 na profundidade 10-20 cm, da área cultivada por 12 anos, os demais resultados são semelhantes aos do solo sob mata natural.

QUADRO I

Características físicas dos solos estudados

(-) = nao determinado ; AL = argila ; SF = silte fino ; SG = silte grosso ; ARF = areia fina ; ARG = areia grossa ; MO = materia organica ; da = densidade aparente ; CC = capacidade de campo ; PMP = ponto de murchamento permanente ; AD = água disponível (CC-PMP) ; Agag = agregados em água ; Agal = agregados em alcool ; Agbe = agregados em benzeno ; Is = instabilidade estrutural (Agag, Agal, Agbe e Is segundo HENIN, 1969)

Caractéristiques physiques des sols étudiés

(-) = non déterminé ; AL = argile ; SF = limon fin ; SG = limon grossier ; ARF = sable fin ; ARG = sable grossier ; MO = matière organique ; da = densité apparente ; CC = capacité au champ ; PMP = point de flétrissement ; AD = eau utile (CC-PMP) ; Agag = agrégats-eau ; Agal = agrégats-alcool ; Agbe = agrégats benzène ; Is = indice d'instabilité structurale (Agag, Agal, Agbe et Is selon HENIN, 1969)

Prof. cm	Análise mecânica %						da	Retenção de água g H ₂ O.100g ⁻¹ solo			Estabilidade Estrutural %				
	AL	SF	SG	ARF	ARG	MO		CC	PMP	AD	Agag	Agal	Agbe	AL+SF	Is
T ₀ Solo sob Mata Natural															
00-06	42,1	17,5	5,4	13,8	13,9	8,3	1,22	32,7	21,2	11,5	72,5	77,4	65,9	10,7	0,18
06-12	47,1	15,7	5,5	15,0	14,1	4,0	1,38	25,3	17,5	7,8	72,2	72,2	44,1	15,6	0,31
12-20	55,4	12,6	5,6	13,9	11,4	2,8	1,35	26,5	18,4	8,1	73,3	73,8	48,0	37,6	0,85
20-30	59,4	12,1	5,4	12,5	10,5	2,1	1,21	28,4	19,4	9,0	-	-	-	-	-
30-40	59,5	11,6	6,4	11,4	10,7	1,7	1,16	28,6	20,1	8,5	-	-	-	-	-
40-50	60,2	10,8	7,0	12,6	9,8	1,4	1,29	30,8	-	10,7	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	-	-	1,1	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-
60-70	-	-	-	-	-	0,9	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-
70-80	-	-	-	-	-	0,9	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₁₂ Solo cultivado por 12 anos															
00-10	53,5	14,9	7,9	12,5	9,4	2,8	1,24	27,3	17,3	10,0	56,2	63,6	13,8	48,2	1,34
10-20	56,8	12,9	7,1	12,1	9,7	2,7	1,54	24,8	18,2	6,6	53,3	69,7	12,0	53,7	1,48
20-30	61,5	11,8	5,4	11,5	9,1	1,6	1,30	27,8	20,6	7,2	-	-	-	-	-
30-40	-	-	-	-	-	1,5	1,19	29,6	20,8	8,8	-	-	-	-	-
40-50	-	-	-	-	-	1,3	1,13	28,7	20,6	8,1	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	-	-	1,1	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-
60-70	-	-	-	-	-	1,2	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₅₀ Solo cultivado por 50 anos															
00-10	50,9	16,6	8,9	13,1	9,5	2,5	1,26	28,5	18,6	9,9	54,7	64,3	12,0	55,7	1,59
10-20	49,9	16,3	8,4	13,6	10,8	2,7	1,28	32,7	19,0	13,7	56,6	66,0	13,1	53,2	1,50
20-30	54,3	15,1	7,0	12,4	10,5	2,5	1,24	34,9	19,3	15,6	-	-	-	-	-
30-40	-	-	-	-	-	1,9	1,25	29,7	21,5	8,2	-	-	-	-	-
40-50	-	-	-	-	-	1,9	1,18	30,3	21,8	8,5	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	-	-	1,5	1,13	-	-	-	-	-	-	-	-
60-70	-	-	-	-	-	1,4	1,09	-	-	-	-	-	-	-	-

Estabilidade estrutural

As determinações foram feitas somente para os horizontes entre 0 e 20 cm de profundidade (Quadro I). Sob floresta (T₀) a estabilidade estrutural é muito boa na superfície (Is = 0,18) tornando-se média a 20 cm (Is = 0,85). Sob cultivo (T₁₂ e T₅₀), observa-se um aumento do Is o que evidencia a degradação da estrutura do solo. Os valores de Is são máximo para T₅₀, a partir da superfície (Is = 1,59). Esta diminuição de Is (fig. 3), está relacionada essencialmente à diminuição dos teores de agregados do pré-tratamento benzeno (Agbe). Este pré-tratamento permite testar a

ação da matéria orgânica na estabilidade estrutural, (HENIN *et al.*, 1969).

Para as amostras analisadas, pode-se obter as seguintes relações lineares entre Agbe % e MO % (Matéria Orgânica) ; Is e Agbe %.

$$\text{Agbe \%} = - 10,25 + 9,66 (\text{MO \%}) \quad r = 0,947$$

$$\log 10 \text{ Is} = 1,360 - 0,0177 (\text{Agbe \%}) \quad r = 0,983$$

Isto significa que a matéria orgânica, determina o parâmetro Ag %. Significa também que a instabilidade estrutural é essencialmente dependente do parâmetro Agbe % e então do empobrecimento em matéria orgânica.

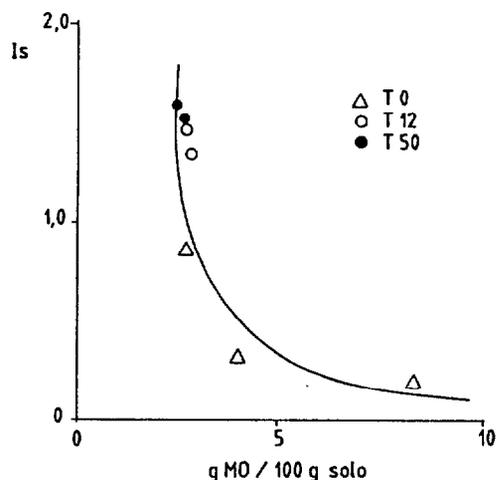


FIG. 3. - Relação entre os índices de instabilidade estrutural I_s e a matéria orgânica (expressada em $g\ MO.100g^{-1}$ solo) da camada superficial de 20 cm.

Relation entre les indices d'instabilité structurale I_s et la matière organique (exprimée en $g\ MO.100g^{-1}$ sol) de la couche superficielle 0-20 cm.

Retenção de água

O exame do quadro I e da figura 4 mostra que os perfis T0, T12 e T50 são caracterizados por umidades ao ponto de murchamento permanente (PMP) pouco diferentes de um solo para outro. Estas umidades retidas por forças elevadas (15 atmosferas) são importantes próximas de 20 %, como é comum nos latossolos argilosos. Trabalhos anteriores mostram que estas umidades são da ordem de grandeza de um quarto dos teores de argila (VAN WAMBEKE, 1974). A constância dos PMP obtidos confirma então que os perfis estudados (T0, T12 e T50) apresentam teores de argila comparáveis (Quadro I), e que as diferenças nos resultados de análise mecânica são devidas a uma dispersão incompleta da argila e a presença de pseudolimo.

Os teores de água na capacidade de campo são pouco diferentes nos perfis T0 e T12. Nota-se que eles apresentam um máximo superficial, (a 10 e 15 cm) e um aumento progressivo entre 25 e 35 cm de profundidade.

Constata-se que o perfil T50 apresenta uma capacidade de água disponível no horizonte Ap2 (10-30 cm de profundidade) bem superior aquela dos perfis T0 e T12. Tomando em conta os dados de retenção da água e de densidade aparente, calcula-se que a água disponível entre 10 e 30 cm de profundidade corresponde a ordem de grandeza de 20 mm de água nos perfis T0 e T12 e ultrapasse 35 mm no perfil T50. Contudo, verifica-se que a porosidade total do perfil T50, nestes

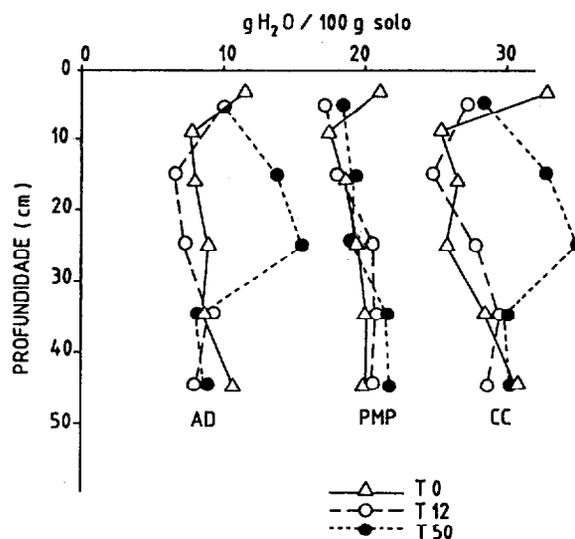


FIG. 4. - Curvas da capacidade de campo (CC), ponto de murchamento permanente (PMP) e água disponível (AD), em função da profundidade.

Capacité au champ (CC), point de flétrissement permanent (PMP) et réserve en « eau utile » (AD), en fonction de la profondeur.

limites de profundidade não varia muito daquela do perfil T0. A interpretação do conjunto dos dados micromorfológicos e físicos mostra nesse caso que as microfissuras evidenciadas no perfil T50 não são completamente contínuas e se comportam como reservatórios de água permanecendo parcialmente saturados. Estas fissuras não formam uma rede contínua pois se esvaziariam sobre a desorção sob baixas tensões.

Esta evolução física, que se manifesta por um grande aumento de capacidade de água disponível entre 10 e 30 cm de profundidade (> 75 %) corresponde a um melhoramento notável do solo. Este efeito não acontece no perfil T12. SILVA *et al.*, (1985) mostraram que amostras de latossolos, quando compactadas artificialmente apresentam um aumento dos microporos e da percentagem de água retida sob tensão da ordem de 1 atmosfera. ROBAIN e CURMI (1986) mostram também o papel determinante da micro-estrutura sobre a retenção da água sob baixas tensões.

O conjunto dos dados sobre retenção de água aqui apresentados são indícios de que o modo de desmatamento mecânico ou manual pode condicionar o comportamento hídrico do solo quando este for submetido a cultivos intensivos e prolongados.

Propriedades químicas dos solos

Carbono e nitrogênio

O solo sob mata natural (T0), apresenta teores elevados nos 6 cm superficiais, com um brusco decréscimo a partir desta profundidade (fig. 5e, quadro II). Os teores de carbono e nitrogênio, são sensivelmente inferiores nos 20 cm superficiais dos solos cultivados por doze e cinquenta anos, quando comparados com a mesma profundidade no solo sob mata natural. No entanto, em profundidade há um ligeiro incremento de carbono nas áreas cultivadas em relação a mata natural. A análise da evolução do estoque orgânico será comentada no item Matéria orgânica e propriedades biológicas.

pH e Al trocáveis

O pH (H₂O) sob floresta, é igual a 5,8 em superfície e passa a 5,0 em profundidade (Quadro III). O cultivo conduz a uma acidificação dos horizontes de superfície com diminuição de uma unidade de pH para T50 (pH = 4,8). Considerando todos os pontos, pode-se estabelecer a seguinte relação entre (H⁺ + Al³⁺) e pH (KC1).

$$\log (H^+ + Al^{3+}) = 2,62 - 0,69 \text{ pH KC1} \quad r = 0,878$$

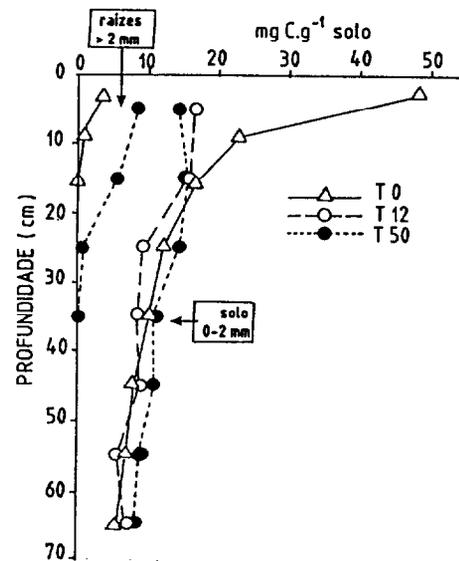


FIG. 5. – Teor de carbono do solo em função da profundidade.
Taux de carbone du sol en fonction de la profondeur.

QUADRO II

Teor em matéria orgânica (C, N), raízes (C) e biomassa microbiana BM (C) dos solos estudados
Teneur en matière organique (C, N), en racines (C) et en biomasse microbienne BM (C) des sols étudiés

Prof. cm	d a*	Solo tamisado a 2mm (0-2mm)					Raízes (tamanho superior a 2mm)		
		C mgC.g ⁻¹ sol	N mgN.g ⁻¹ sol	C/N	BM* µgC.g ⁻¹ sol	C mgC.g ⁻¹ sol	N mgN.g ⁻¹ sol		
T ₀ Solo sob Mata Natural									
00-06	1,22	47,8	35,0	4,88	3,57	9,8	94	3,60	2,60
06-12	1,38	23,2	19,2	2,37	1,96	9,8	26	0,24	0,20
12-20	1,35	16,4	17,7	1,48	1,60	11,1		0,08	0,10
20-30	1,21	12,0	14,5	1,48	1,60	9,3			
30-40	1,16	10,0	11,6	0,90	1,04	11,1			
40-50	1,29	8,2	10,6	0,70	0,90	11,6			
50-60	1,20	6,5	7,8	0,59	0,71	11,0			
60-70	1,10	5,5	6,1	0,50	0,55	11,0			
70-80	1,25	5,5	6,9	0,50	0,68	11,0			
T ₁₂ Solo cultivado por 12 anos									
00-10	1,24	16,5	20,5	1,50	1,86	11,0	15		
10-20	1,54	15,5	23,9	1,38	2,13	11,2			
20-30	1,30	9,2	12,0	1,08	1,40	8,5			
30-40	1,19	8,5	10,1	0,79	0,94	10,8			
40-50	1,13	7,8	8,8	0,72	0,81	10,9			
50-60	1,10	6,2	6,8	0,60	0,66	10,4			
60-70	1,06	6,8	7,2	0,72	0,76	9,5			
T ₅₀ Solo cultivado por 50 anos									
00-10	1,26	14,6	18,4	1,20	1,51	12,2	16	6,50	7,80
10-20	1,21	15,7	19,0	1,34	1,62	11,7		3,16	3,80
20-30	1,24	14,7	18,2	1,30	1,61	11,3		1,16	1,40
30-40	1,25	10,8	13,5	0,86	1,08	12,6		0,03	0,04
40-50	1,18	10,9	12,9	0,87	1,03	12,6		0,03	0,03
50-60	1,13	9,0	10,2	0,78	0,88	11,6		0,03	0,03
60-70	1,09	8,3	9,1	0,75	0,82	11,1		0,03	0,03

QUADRO III
Características químicas dos solos estudados
Caractéristiques chimiques des sols étudiés

Prof. cm	pH		Complexo sortivo cmol (+).kg ⁻¹							V %	P. ass ppm	Micronutrientes trocáveis ppm			
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S	H ⁺	Al ³⁺	CTC			Cu	Fe	Zn	Mn
T ₀ Solo sob mata natural															
00-06	5,8	4,9	9,5	2,3	0,6	12,4	0,1	0,0	12,6	99	12,2	0,8	9,1	8,6	22,9
06-12	5,5	4,6	3,5	2,6	0,5	6,6	0,1	0,1	6,8	97	3,3	1,1	11,0	1,7	19,8
12-20	5,0	4,1	2,2	0,9	0,3	3,4	0,2	0,3	3,9	72	1,9	1,6	11,2	-	13,1
20-30	5,0	4,2	0,9	1,1	0,3	2,3	0,2	0,4	2,9	80	1,7	1,7	11,2	-	95,3
30-40	5,0	4,3	0,4	0,9	0,2	1,5	0,1	0,3	3,9	77	-	1,7	14,9	-	68,5
40-50	4,7	4,8	0,1	0,5	0,1	0,7	0,1	0,5	3,3	54	-	1,4	15,5	-	64,8
50-60	5,0	4,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,8	48	-	0,9	16,8	-	32,1
60-70	5,2	4,8	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,7	67	-	0,9	16,2	-	33,6
70-80	5,2	4,9	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	-	0,3	-	-	0,9	18,7	-	26,7
T ₁₂ Solo cultivado por 12 anos															
00-10	5,3	4,2	1,6	0,6	0,1	2,3	0,1	0,3	2,7	83	3,3	1,6	9,7	-	26,7
10-20	5,1	4,2	1,3	0,5	0,1	1,9	0,1	0,4	2,4	79	2,5	1,7	11,0	-	19,9
20-30	5,3	4,5	0,7	0,4	0,2	1,3	0,1	0,7	2,1	62	1,7	1,9	14,2	-	53,4
30-40	5,3	4,6	0,1	0,5	0,2	0,8	0,1	0,3	1,2	83	1,5	2,9	14,8	-	29,8
40-50	5,2	4,6	2,5	0,5	0,2	3,2	0,1	0,2	3,6	90	-	1,3	16,2	-	35,1
50-60	5,1	4,5	0,2	0,3	0,1	0,6	0,1	0,2	0,9	65	-	1,1	17,4	-	38,9
60-70	4,9	4,7	0,2	0,2	0,1	0,5	0,1	0,2	0,8	65	-	0,9	15,5	-	37,4
T ₅₀ Solo cultivado por 50 anos															
00-10	4,8	3,9	0,5	0,2	0,2	0,9	0,1	1,6	2,6	34	10,1	1,4	14,8	-	46,5
10-20	4,7	3,0	0,1	0,3	0,2	0,6	0,2	1,3	2,2	31	10,3	1,4	8,4	-	54,8
20-30	4,8	4,0	0,9	0,4	0,1	1,4	0,2	1,0	2,7	56	5,1	1,6	7,1	-	26,7
30-40	5,1	4,3	1,4	0,5	0,3	2,2	0,2	0,4	2,8	78	-	1,3	7,1	-	50,4
40-50	5,4	4,7	1,7	0,6	0,1	2,4	0,0	0,2	2,6	92	-	1,3	8,4	-	18,7
50-60	5,5	5,0	1,8	0,5	0,1	2,4	0,0	0,1	2,5	96	-	1,3	7,1	-	19,1
60-70	5,5	5,3	1,5	0,3	0,1	1,9	0,0	0,0	1,9	97	-	1,1	7,1	-	15,0

A liberação de Al trocável parece não negligenciável (superior a 1 cmol.kg⁻¹) a partir do pH (H₂O) inferior a 4,8 ou pH (KCl) inferior a 4,0.

Com o cultivo e frequentemente observado o abaixamento do pH do solo alguns anos após o desmatamento e queima em meio tropical (NYE e GREENLAND, 1964 ; SIBAND, 1974 ; VEILLON, 1983).

Capacidade de troca de cations

A CTC não foi dosada diretamente, mas obtida a partir da soma Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + H⁺ + Al³⁺ (quadro III). Ela varia entre 0,5 e 12,6 cmol.kg⁻¹. A figura 6, mostra que a capacidade de troca para MO % = 0, é negligenciável (- 0,8 cmol.kg⁻¹). A CTC pode ser expressa pela relação :

$$(CTC) \text{ cmol.kg}^{-1} = - 0,779 + 1,556 (MO \%)$$

Isto significa que a capacidade de troca de cátions da matéria orgânica é de aproximadamente 150 cmol.kg⁻¹

MO. Este resultado está de acordo com aqueles de BOISSEZON (1970), para os oxissolos onde a CTC da matéria orgânica está geralmente compreendida entre 50 cmol.kg⁻¹ MO para A1 e 160 a 140 cmol.kg⁻¹ MO para A3.

A diminuição do estoque orgânico decorrente do cultivo que se verifica na camada superficial de 40 cm, pode conduzir a uma diminuição proporcional da capacidade de troca desses solos. A diminuição da capacidade de troca de cations constada nos 40 cm superficiais está portanto relacionada a diminuição do estoque orgânico desta camada de solo. Entretanto, abaixo de 40 cm, o estoque de matéria orgânica é pouco alterado, chegando a ter um ligeiro acréscimo, enquanto que a CTC aumenta nitidamente.

Bases trocáveis e taxa de saturação

Para os horizontes da superfície, a diminuição da capacidade de troca com o decorrer do cultivo conduz

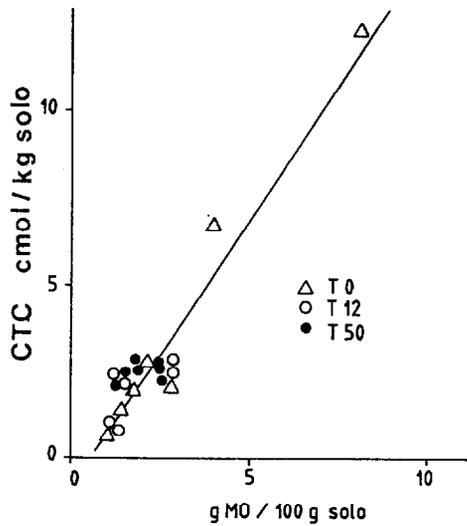


FIG. 6. - Relação entre a capacidade de troca de cátions e a matéria orgânica do solo nas três situações estudadas.

Relation entre la capacité d'échange des cations et la matière organique du sol dans les trois situations étudiées.

a uma diminuição das bases trocáveis (quadro III). Por correlação, nota-se em profundidade um enriquecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} (fig. 7). Esta migração de Ca^{2+} e Mg^{2+} é mostrada também por SANCHEZ *et al.* (1983).

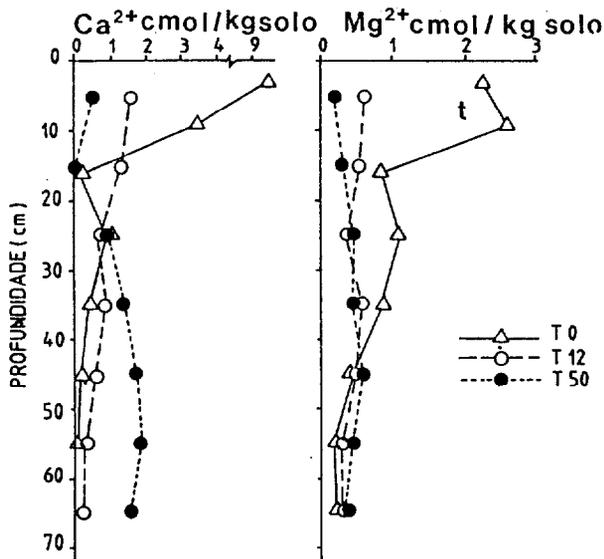


FIG. 7. - Distribuição do Ca^{2+} e Mg^{2+} em função da profundidade nas três situações estudadas.

Teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} échangeables en fonction de la profondeur dans les trois situations étudiées.

O solo está saturado para T0 e T12, mas ele poder ser considerado desaturado após cinquenta anos de cultivo para os horizontes da superfície. Paralelamente, o teores de Al^{3+} atingem valores superiores a 1 cmol.kg^{-1} nos trinta primeiros centímetros do solo.

SANCHEZ *et al.* (1983) citam diversos trabalhos e, apresenta os seguintes limites de carência (ou desequilíbrio): $\text{Ca}^{2+} = 1 \text{ cmol.kg}^{-1}$; $\text{Mg}^{2+} = 0,3 \text{ cmol.kg}^{-1}$ (onde representa o máximo 10% da capacidade de troca total); $\text{K}^+ = 0,2 \text{ cmol.kg}^{-1}$ e uma relação $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+ > 1,2$. Para os solos do Brasil, RAU (1981) apresenta os seguintes valores limites: $\text{Mg}^{2+} = 0,4$; $\text{Ca}^{2+} = 1,0$ e $\text{K}^+ = 0,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$. BOYER (1971) cita diversos trabalhos em meio tropical, e apresenta como limites de carência: Ca^{2+} entre 1 e $0,5 \text{ cmol.kg}^{-1}$ para amendoim, óleo de dendê e seringueira; Mg^{2+} entre 0,2 e $0,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$ para café e dendê.

Constata-se que para os trinta primeiros centímetros superficiais sob floresta (T0), os diferentes valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são superiores aos limites de carência dados pelos diferentes autores e a relação $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$ é superior a 1,2. Após doze anos de cultura (T12), estão próximos ao limite de carência em superfície principalmente em Ca.

Segundo esta estimativa, a fertilidade dos solos T12 e T50 pode ser considerada ruim. É provável, que esta escala não é adaptada aos solo muito argilosos constituídos essencialmente de sesquióxidos.

Fósforo assimilável e micronutrientes trocáveis

Para o fósforo assimilável, com o método utilizado, o valor limite de deficiência é, segundo RAU (1981), de 8 a 15 ppm para os solos do Brasil cultivados com cana-de-açúcar. CANO (1973), utilizando o método OLSEN-EDTA, apresenta valores limites de 15 ppm. Em todos os casos, os valores encontrados aqui indicam uma elevada carência em fósforo. Observa-se baixos teores de fósforo assimilável após doze anos de cultivo seguido de um aumento após cinquenta anos. Estes últimos, estão ligados provavelmente aos efeitos cumulativos da fertilização.

Com relação aos micronutrientes, ORLANDO Fo e RODELLA (1983), evidenciam a escassez de informações sobre limites de carência para os solos brasileiros cultivados com cana-de-açúcar.

Para solos de tabuleiro do nordeste brasileiro cultivados com cana-de-açúcar, MARINHO e ALBUQUERQUE (1981) observaram que teores de Cu menores que 0,25 ppm e Zn menor que 0,5 ppm mostravam reação à adição destes elementos. SANTOS e SOBRAL (1980) indicam teor de 0,8 ppm como nível crítico para o Cu. Para outras culturas, HUNTER (1974) encontrou limites de carência de 10 ppm de Fe, SANCHEZ *et al.* (1983) indica 5 ppm para o Mn.

Comparando os limites de carência apontados na literatura, pode-se dizer que as áreas cultivadas por doze anos e cinquenta anos, não são carentes em Cu, Fe e Mn.

Matéria orgânica e propriedades biológicas

A porcentagem média de carbono relativo a dez amostras de terra coletadas nos 20 centímetros superficiais é de $1,81 \pm 0,19\%$ para T0; $1,60 \pm 0,34\%$ para T12 e $1,27 \pm 0,17\%$ para T50. A distribuição do carbono do solo referente à fração menor que 2 mm, e das raízes superiores a 2 mm estão apresentadas na figura 5. Conteúdo de carbono até vinte centímetros considerando toda a massa do solo dos 20 cm superficiais (volume + densidade aparente), obtém-se que sob mata natural e cana-de-açúcar de 12 e 50 anos (quadro II) estão estocados respectivamente $71,9 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$, $44,4 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $37,4 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esses valores indicam que com o cultivo, há uma diminuição de 38 % e 48 % de carbono, em relação ao estoque inicial da mata. As perdas em nitrogênio são de 44 % e 56 % nas áreas cultivadas por 12 e 50 anos em comparação como o estoque inicial. Tomando o ecossistema natural como referência, pode-se dizer que o cultivo intensivo do terreno com cana-de-açúcar conduz a um abaixamento significativo do estoque de matéria orgânica sobretudo, na parte superficial do solo. A diminuição é mais intensa nos primeiros anos de cultivo e muito mais lenta a seguir. Estes resultados se assemelham aqueles de SIBAND (1974), para solos semelhantes da Costa do Marfim, com aqueles de SANCHEZ *et al.*, (1983), para os latossolos da Amazônia e com aqueles de MASILACA *et al.* (1986) para oxisolos de Fiji (cana-de-açúcar). As raízes mortas e vivas, de tamanho superior a 2 mm, do horizonte 0-20 cm, representam $2,9 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ sob mata natural e $11,6 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ sob cultura de cana-de-açúcar de 50 anos; ou seja, respectivamente 4 % e 24 % do carbono total desta camada superficial.

O conteúdo de carbono, até setenta centímetros, é de $123 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ no solo sob mata natural e 89 e $101 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente nas áreas cultivadas por doze e cinquenta anos. Nota-se que, nessa espessura, o decréscimo do conteúdo de carbono em relação ao solo sob mata é proporcionalmente menos acentuado que aquele registrado na camada de vinte centímetros. Observa-se também que entre as áreas cultivadas, a mais antiga é aquela que possui maior conteúdo em carbono. Este aumento em profundidade em T50 está ligado a maior quantidade de raízes da cana-de-açúcar.

A biomassa microbiana (BM), foi medida para os horizontes 0-6, 6-12 de T0 e 0-10 cm de 12 e T50 (quadro II). Não foi possível detectar a presença da biomassa microbiana nas camadas abaixo de 12 cm de profundidade. Os valores relativamente baixos em

superfície ($94 \text{ a } 26 \mu\text{g C/g}$ solo) como a não detecção abaixo de 12 cm de profundidade, podem estar relacionados com a baixa umidade do solo no momento da coleta.

Nas áreas cultivadas o conteúdo de carbono imobilizado sob forma de biomassa microbiana é da mesma ordem ($15 \mu\text{C}\cdot\text{g}^{-1}$ solo) e portanto é sensivelmente menor que aquele presente no solo sob mata natural.

CONCLUSÕES

As principais modificações evidenciadas são as seguintes:

- A compactação do horizonte Ap2 parece ser uma consequência imediata das energias mecânicas colocadas em prática, durante o desmatamento: o efeito permaneceria 12 anos após um desmatamento mecânico (T12, $da = 1,54$) mas seria menor 50 anos após desmatamento manual (T50, $da = 1,28$).

- A compactação produzida pelos efeitos do cultivo e das raízes se manifesta por uma evolução progressiva da microestrutura e por um aumento importante da capacidade de água útil entre 20 e 40 cm qual deve ser um fator benéfico para o cultivo em período seco.

- A desestabilização da estrutura, manifestada por um aumento importante do índice I_s (de 0,18 a 1,59), parece estar ligada diretamente à diminuição do teor em matéria orgânica.

- A acidificação progressiva dos horizontes superiores (de 0 a 30 cm de profundidade) corresponde a uma perda importante de cátions básicos: Ca, Mg, K. Ela é progressivamente compensada mais em profundidade (30 a 70 cm) por um aumento da capacidade de troca catiônica (e do teor em matéria orgânica) e também do pH e dos teores em bases trocáveis. Constata-se então uma redistribuição das bases em função da profundidade.

- A deficiência em fósforo assimilável, já nítida na floresta, se agrava muito após 12 anos de cultura; ela é parcialmente compensada pelos aportes de fertilizantes fosfatados em T50.

- A evolução das propriedades biológicas é reveladora da dinâmica dos processos evolutivos. Constata-se que as raízes e os teores em matéria orgânica, crescem em profundidade, enquanto que a biomassa microbiana e os teores em carbono facilmente mineralizável decrescem muito nos 10 cm superficiais. Após 12 e 50 anos de cultivo, há uma diminuição respectiva de 37 % e 44 % do estoque de matéria orgânica em relação a mata natural, nos 20 cm superficiais do solo.

BIBLIOGRAPHIE

- BOISSEZON (P. de), 1970. – Étude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte-d'Ivoire. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, 8(4) : 391-418.
- BOYER (J.), 1971. – Propriedades dos solos e fertilidade. Tradução de Célia Peixoto e Pascal Motti. Universidade Federal da Bahia, 197 p.
- BREWER (R.), 1976. – Fabric and mineral analysis of soils. New York, Robert K. Krieger Publishing Company, 482 p.
- CANO (M.), 1973. – Evaluación de la fertilidade de suelos en el Peru. La Molina. Ministério da Agricultura. Dirección de Investigación Agrária (Boletim Técnico, 78).
- CHAUVEL (A.), 1977. – Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *Trav. et Doc. Orstom*, n° 62, 532 p.
- CURI (N.), LIMA (P.C. DE), LEPSCH (I.F.), 1985. – Terminologia do solo. B. Inf. da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 33-43.
- EMERSON (W.W.), FOSTER (R.C.), OADES (J.M.), 1986. – Organo mineral complexes in relation to soil aggregation. In: Interactions of Soil Mineral with natural organics and microbes. SSA Special Publication, number 17, 522-545.
- ESWARAN (H.), BANOS (C.), 1976. – Related distribution patterns in soil and their significance. *Anales de Edaf. y Agrobi.* 35 : 33-45.
- FALESI (I.C.), BAENA (A.R.C.), DUTRA (S.), 1982. – Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microregiões do nordeste paraense. CPITU. Bol. Pesq. 14, 49 p.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.), 1969. – Bilan de l'évolution des sols, à Sefa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *L'Agron. trop.*, 24(3) : 263-301.
- FELLER (C.), MILLEVILLE (P.), 1977. – Evolution des sols de défriche récente dans la région de Terres-Neuves (Sénégal oriental), 1ère partie. *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, 12(3) : 199-211.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. – Le profil cultural. Paris, Masson Ed., 342 p.
- HUNTER (A.H.), 1974. – International soil fertility evaluation and improvement laboratory procedures. Raleigh, Dept. Soil. Sci., North Carolina State Univ., *Multigr.*
- JONGERIUS (A.), 1957. – Morphologic investigations of soil structure. *Bodemkuding Studies* n° 2, Mededelingen van Sticking voor Bodemkartering. Wageningen, 93 p.
- JENKINSON (D.S.), POWLSON (D.S.), 1976. – The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 167-177.
- MARINHO (M.L.), ALBUQUERQUE (G.A.C.), 1981. – Efeitos do cobre e zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiro de Alagoas. Rio Largo, Alagoas IAA/Planalsucar Coone, 20 p.
- MASILACA (A.S.), PRASAD (R.A.), MORRISON (R.J.), 1986. – The impact of sugar-cane cultivation on three oxisols from Vanua Levu, Fiji. *Trop. Agric.*, 63(4) : 325-330.
- MOREAU (R.), 1983. – Évolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte-d'Ivoire forestière et préforestière. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, 20(4) : 311-325.
- NYE (P.H.), GREELAND (D.J.), 1960. – The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soils. (Harpenden England Bucks) (Technical communication, 51).
- NYE (P.H.), 1961. – Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Pl. Soil*, 13 : 333-346.
- NYE (P.H.), GREELAND (D.J.), 1964. – Changes in the soil after clearing tropical forest. *Pl. Soil*, 21(1) : 101-112.
- OADES (J.M.), 1984. – Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Pl. Soil*, 76 : 319-337.
- ORLANDO Fo. (J.), RODELLA (A.A.), 1983. – Análise química do solo e recomendação de adubação da cana-de-açúcar no Brasil. *Coleção Planalsucar 2* : 155-178.
- RAU (B. Van), 1981. – Avaliação da fertilidade do solo. In : YAMADA T. ed., Piracicaba, Instituto da Potassa (EUA-Suiça), 192 p.
- RICHARDS (L.A.), 1965. – Physical condition of water soil. In : BLACK, C.A. et al. eds. *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p. 128-152.
- ROBAIN (H.), CURMI (P.), 1986. – Rôle des structures pédologiques sur le comportement hydrique du sol aux faibles pF. Paris, *C.R. Acad. Sc.*, t. 303, série II, n° 6.
- SANCHEZ (P.A.), VILLACHICA (J.H.) e BANDY (D.E.), 1983. – Soil fertility diagnosis after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47(6) : 1171-1178.
- SANTOS (M.A.C.), SOBRAL (A.F.), 1981. – Calibration of cooper in sugarcane in northeast Brazil. In : Proceedings of Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 17, Manila 1 : 411-20.
- SIBAND (P.), 1974. – Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agron. trop.*, 12 : 1228-1248.
- SILVA (A.P.), LIBARBI (P.L.), CAMARGO (O.A.), 1985. – Influência da compactação sobre propriedades físicas de dois latossolos. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Belém, 1985, Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 35.
- VAN WAMBEKE, 1974. – Les propriétés agricoles des oxisols. *Pédologie*, XXIV, 2 : 191-195.
- VEILLON (L.), 1983. – Devenir du cycle des éléments minéraux lors du défrichement et de l'utilisation des forêts tropicales humides. Stage DEA - pédologie, Univ. Paris 7, *Rapp. Mult. Orstom*, Paris, 26 p.