

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA
DE SOLOS DO SUDESTE PARAENSE**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO

Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaggia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres

Chefia da Embrapa Amazônia Oriental

Emanuel Adilson Souza Serrão - Chefe Geral
Jorge Alberto Gazel Yared - Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Antonio Carlos Paula Neves da Rocha - Chefe Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio
Antonio Ronaldo Teixeira Jatene - Chefe Adjunto de Administração

ISSN 1517-2228

Boletim de Pesquisa Nº 20

Dezembro, 1999

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS DO SUDESTE PARAENSE

Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Moacir Azevedo Valente
Tarcísio Ewerton Rodrigues



Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n

Telefones: (91) 276-6653, 276-6333

Fax: (91) 276-9845

e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

Caixa Postal, 48

66095-100 – Belém, PA

Tiragem: 200 exemplares

Comitê de Publicações

Leopoldo Brito Teixeira – Presidente

Antonio de Brito Silva

Antonio Pedro da S. Souza Filho

Expedito Ubirajara Peixoto Galvão

Joaquim Ivanir Gomes

Maria do Socorro Padilha de Oliveira

Maria de N. M. dos Santos – Secretária Executiva

Revisores Técnicos

Antonio Carlos da Costa P. Dias – FCAP

Antonio Ronaldo Camacho Baena – Embrapa Amazônia Oriental

Paulo Fernando da Silva Martins – FCAP

Expediente

Coordenação Editorial: Leopoldo Brito Teixeira

Normalização: Célia Maria Lopes Pereira

Revisão Gramatical: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos

Antonio Ronaldo C. Baena (texto em Inglês)

Composição: Euclides Pereira dos Santos Filho

OLIVEIRA JUNIOR, R.C. de; VALENTE, M.A.; RODRIGUES, T.E. **Caraterização físico-hídrica de solos do sudeste paraense.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 35p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 20).

ISSN 1517-2228

1. Solo – Propriedade físico-hídrica – Brasil – Pará. 2. Perfil do solo. 3. Relação solo-água. 4. Infiltração. 5. Análise de solo. 6. Densidade do solo. 7. Retenção de água no solo. I. Valente, M.A., colab. II. Rodrigues, T.E., colab. III. Embrapa. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental (Belém, PA). IV. Título. V. Série.

CDD: 631.43098115

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
MATERIAIS E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-HÍDRICA DE SOLOS DO SUDESTE PARAENSE¹

Raimundo Cosme de Oliveira Junior²

Moacir Azevedo Valente²

Tarcísio Ewerton Rodrigues³

RESUMO: O cultivo intensivo dos solos tem sido uma das principais causas da deterioração de algumas de suas propriedades físico-hídricas, principalmente em regiões onde ocorrem altas precipitações, como no Estado do Pará. No sudeste paraense, que possui precipitação pluviométrica mal distribuída, torna-se essencial o estudo do comportamento físico-hídrico de seus solos, visando seu aproveitamento mais adequado e permitindo maior eficiência na irrigação e no manejo da água e do solo. A pesquisa teve por objetivo determinar as propriedades físico-hídricas dos principais solos da região sudeste do Estado do Pará, para nortear as práticas de manejo, destacando-se: época de plantio, irrigação, cultivos e subsolagem. Os solos foram classificados conforme as normas contidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (5ª Aproximação), e adotadas pela Embrapa. As análises das amostras deformadas e indeformadas de solos foram realizadas de acordo com a metodologia contida no Manual de Métodos de Análise de Solos. Para realização das análises em laboratórios, foram coletadas 32 amostras deformadas e 36 amostras indeformadas de solos para determinações das propriedades físicas e hidrológicas. Durante os trabalhos de campo, também foram realizados testes de infiltração, segundo metodologia de Bertrand, nas classes de solos amostradas. A velocidade de infiltração (Ii) e a infiltração acumulada (D) foram determinadas mediante cilindros infiltrômetros duplos de carga constante. Considerando-se os resultados obtidos, foi possível estabelecer as seguintes conclusões: solos da mesma classe, sob vegetação natural, com textura, estrutura e porosidade total semelhante apresentam taxas de infiltração diferentes, devido à diferença entre a macro e a microporosidade e à obstrução dos poros; a retenção de água

¹Trabalho financiado com recursos do subprojeto 01.0.95.721.03, coordenado pela Embrapa Amazônia Oriental.

²Eng.-Agr., M.Sc., Pesquisador Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, CEP 66917-100, Belém, PA.

³Eng.-Agr., Doutor., Pesquisador Embrapa Amazônia Oriental.

e a porosidade total são mais elevadas nos solos de textura argilosa e muito argilosa do que nos de textura arenosa; a tendência à horizontalidade das curvas dos solos representados pelos perfis 01, 02 e 03 (Latosolos) iniciou-se pela tensão de 500 kPa, enquanto que nos solos representados pelos perfis 04 e 05 iniciou-se pela tensão de 100 kPa; os solos representados pelos perfis 01, 02 e 03 apresentaram média disponibilidade de água, enquanto que os perfis 04 e 05 apresentaram baixa disponibilidade, devido à grande diferença textural existente entre estes e àqueles; a taxa de infiltração básica foi maior no perfil de Neossolo Quartzarênico (P.04) do que nos Latossolos (P.01, P.02 e P.03); Foi constatado um aumento da densidade do solo nos perfis dos solos com vegetação natural de cerrado (P.01, P.02, P.04 e P.05), em relação àquele com vegetação de floresta (P.03); Os Latossolos estudados apresentaram altos valores para porosidade total.

Termos para indexação: propriedades físico-hídricas, Latossolos, cerrado, Amazônia.

PHYSICAL-HYDRICAL CHARACTERIZATION OF SOILS ON THE SOUTHEAST OF PARÁ STATE

ABSTRACT: Intensive soil cultivation has been one of the main causes for physical-hydrical soil deterioration, mainly in areas with high rainfall, such as the Pará state. On this region, that has precipitation unevenly distributed, its very important to study the physical-hydrical behavior of its soils, searching for the best use of the land allowing more efficiency on irrigation and soil and water management. This research has the objective of determining physical-hydrical proprieties of the main soils on the southeast of Pará state, to direct management practices with emphasis on plantation time, irrigation, cultivation and deep plowing. The soils were classified according to the Brazilian system of soil classification (5° approach), adapted by Embrapa. The analysis of the disturbed and undisturbed soil samples were done according to the methodology of the Manual of Methods of Soil Analysis. To realize the laboratory analysis, were collected thirty two disturbed and thirty six undisturbed soil samples to determine the physical and hidrological proprieties. During field work, infiltration tests also were realized according to the Bertrand Method, on the soil sampled classes. The infiltration rate (li) and accumulated

infiltration (D) were determined with double infiltrometer cylinders of constant load. In spite of the results obtained, the following conclusions were drawn: soils of the same class under natural cover, with similar texture, structure and total porosity, have different infiltration rates, due to the difference between macro and microporosity and to the pore obstruction. The water holding and total porosity are higher on soils with higher clay texture than the sandy ones. The tendency of the curve stability of the soils represented by profiles 01, 02 and 03 (Latosol) begins with 500K Pa tension, while in the soils represented by the profiles 04 and 05 begins with 100 K Pa tension. The soils represented by profiles 01, 02 e 03 show medium available water, while profiles 04 and 05 show low available water, due to the great textural difference among them. The basic infiltration rate was higher on the Quatzarenic Neossol (P04) than in the Latosols (P01, P02 e P03); an increase on the soil density was found on the soils under natural cover of cerrado (P01, P02, P04 e P05) in relation to the ones under forest (P03). The latosols studied show high values for total porosity.

Index terms: physical-hydrical proprieties, latosols, cerrado, Amazônia.

INTRODUÇÃO

Os vários estudos conduzidos nos solos sob cerrado têm evidenciado, apesar da grande monotonia da paisagem, considerável diferenciação de seu comportamento quanto à adubação e outras técnicas agrícolas. Essa heterogeneidade de comportamento evidencia a necessidade de divisão ou separação dos solos em padrões mais homogêneos, para efeito de utilização das informações localizadas, evitando-se, com isso, os problemas causados por extrapolações generalizadas de informações (Fernandes et al. 1978).

Neste particular, a caracterização físico-hídrica do solo é essencial para nortear as práticas de manejo, destacando-se a irrigação, drenagem, cultivos e subsolagem (Jorge & Prado, 1988).

O cultivo intensivo dos solos tem sido uma das principais causas da deterioração de algumas de suas propriedades físico-hídricas, principalmente, em regiões onde ocorrem altas precipitações, como no Estado do Pará.

O sudeste paraense foi aquinhoadado com um programa de incentivo à produção agrícola, tendo como carro chefe a cultura da soja e suas agregadas (arroz, milho, sorgo, milheto). Devido a isso, a região, objetivando suprir a mão-de-obra carente e cara, vem utilizando a prática de mecanização nos solos de forma indiscriminada.

Devido a região possuir regime de precipitação pluviométrica mal distribuído, torna-se essencial o estudo do comportamento físico-hídrico de seus solos, visando o aproveitamento mais adequado da água e, ao mesmo tempo, maior eficiência na irrigação e no manejo da água e do solo.

A taxa de infiltração de água no solo tem considerável significado agrícola, devido ser determinante na ocorrência dos processos de escoamento superficial e erosão; isto envolve diversos fatores que não influenciam esta nos solos. Segundo Medina & Wilkinson (1965), o problema envolve três fases altamente dinâmicas e variáveis: a) características das chuvas; b) vegetação presente acima do solo (arbustos e árvores), na superfície (gramíneas) e abaixo desta (raízes); c) condição das propriedades físicas do solo na superfície do mesmo.

Os estudos da relação solo-água-plantas são de grande importância para a pesquisa agropecuária. A caracterização hídrica do solo, representada através das curvas de retenção de água, mostra a relação entre o percentual de água existente no solo e a tensão na qual esta umidade está retida. Alguns autores, citados por Corrêa (1984), afirmam que a capacidade de campo é afetada pela textura e estrutura do solo, bem como pela presença de camadas impermeáveis, proximidade do lençol freático e temperatura ambiente.

A pesquisa teve por objetivo determinar as propriedades físico-hídricas dos principais solos do sudeste paraense, para nortear as práticas de manejo, destacando-se: época de plantio, irrigação, cultivos e subsolagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na região do sudeste do Estado do Pará, foram descritos e amostrados cinco perfis de solos sob vegetação de cerrado e de floresta, desenvolvidos de materiais oriundos de rochas do Arqueano, constituídas por gnaisses, migmatitos, granulitos e granodioritos (Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa fase cerrado equatorial relevo plano e suave ondulado - P 02), do Pré Cambriano Médio, representadas por quartzitos, filito-xistos, clorita-xistos metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas (Latossolo Vermelho Distroférrico textura muito argilosa fase cerrado equatorial relevo plano - P 01 e Latossolo Vermelho Distroférrico textura muito argilosa fase floresta equatorial subcaducifólia relevo plano e suave ondulado - P 03); rochas sedimentares constituídas por arenitos (Neossolo Quartzarênico fase floresta equatorial subcaducifólia - P 05) e sedimentos recentes (Neossolo Quartzarênico fase campo cerrado relevo plano - P 04).

Os solos foram classificados conforme as normas contidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (5ª Aproximação), e adotadas pela Embrapa (Embrapa, 1999).

Para realização das análises em laboratórios, foram coletadas 32 amostras deformadas e 36 amostras indeformadas de solos para determinações das propriedades físicas e hidrológicas.

As análises das amostras deformadas e indeformadas de solos foram realizadas de acordo com a metodologia contida no Manual de Métodos de Análise de Solos (Claessen, 1997), determinando-se as seguintes variáveis: densidade do solo (Uhland, 1951), microporosidade e macro-

porosidade (Oliveira, 1968), condutividade hidráulica (Uhland, 1949), curvas características de retenção de água (com exceção da umidade retida a 1.500KPa) e água disponível (Richards, 1949), densidade de partículas (Donahue, 1952) e análise granulométrica (Claessen, 1997).

Durante os trabalhos de campo, também foram realizados testes de infiltração, segundo metodologia de Bertrand (1965), nas classes de solos amostradas. A velocidade de infiltração (li) e a infiltração acumulada (D) foram determinadas mediante cilindros infiltrômetros duplos de carga constante.

Os valores de infiltração instantânea e acumulada foram plotados em papel log-log em função do tempo t , expressando-se os resultados através da equação de Kostiakov, citado por Chanduvi (1970), que para velocidade de infiltração se escreve como:

$$li = Kt^m \quad (1)$$

e para infiltração acumulada D :

$$D = Kt^n \quad (2)$$

onde K é uma constante e m e n são as declividades das respectivas curvas.

A velocidade de infiltração básica ou final (lb), por sua vez, estimou-se quando a mudança entre dois valores contíguos era igual ou menor que 10%. Sua expressão matemática (Chanduvi, 1970) obtém-se diferenciando a infiltração instantânea com respeito ao tempo, podendo-se assim estabelecer o tempo (t), em minutos, no qual deverá ocorrer a infiltração básica:

$$t = 600 m$$

onde m tem o mesmo significado que na equação (1).

A capacidade de água disponível foi calculada pela diferença entre a umidade obtida a 33kPa e umidade a 1.500kPa para todos os horizontes dos perfis, com exceção dos solos Neossolos Quartzarênicos em que se usou 1/10 em lugar de 1/3 de atmosfera, e a sua classificação obedeceu à escala utilizada por Estados Unidos (1953) para fins de irrigação: baixa < 0,69mm/cm; média de 0,70 a 1,29mm/cm; alta > 1,30mm/cm.

O índice de aeração foi calculado segundo a fórmula:

$$I_a = \text{microporosidade (\%)} / \text{macroporosidade (\%)} \quad (3)$$

A condição de aeração foi classificada conforme Oliveira & Melo (1978), com base nos valores calculados segundo a equação (3) em: má > 0,90; fraca de 0,90 a 0,70; média 0,69 a 0,40; boa < 0,40.

Correlações lineares foram realizadas entre algumas características físico-hídricas e os coeficientes testados através do **teste t**, de acordo com Pimentel Gomes (1977).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de infiltração instantânea e infiltração acumulada, correspondentes aos perfis de solos estudados, incluindo suas respectivas equações, são mostradas nas Figs. 1 e 2, respectivamente. Na Fig. 1 verifica-se que as maiores taxas de infiltração inicial (intercepto das retas com o eixo das ordenadas) foram apresentadas pelos perfis 03 e 04, com valores de 218,2 e 102,5 cm/h, respectivamente, ao passo que os mais baixos corresponderam aos perfis 01 e 02, com 48,8 e 22,4cm/h, na mesma ordem.

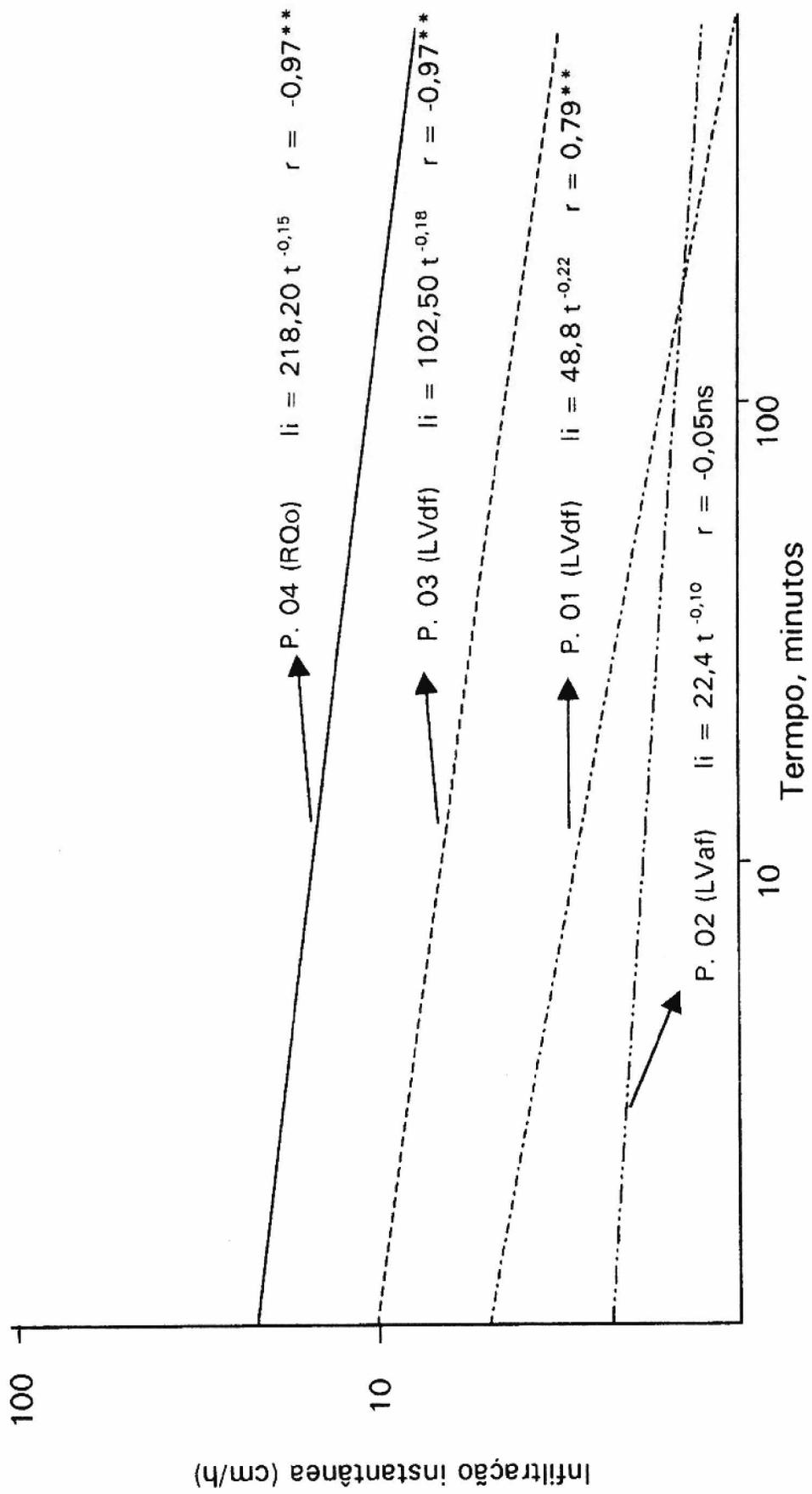


FIG. 1. Curvas de infiltração instantânea em quatro perfis dos solos estudados no sudeste paraense.

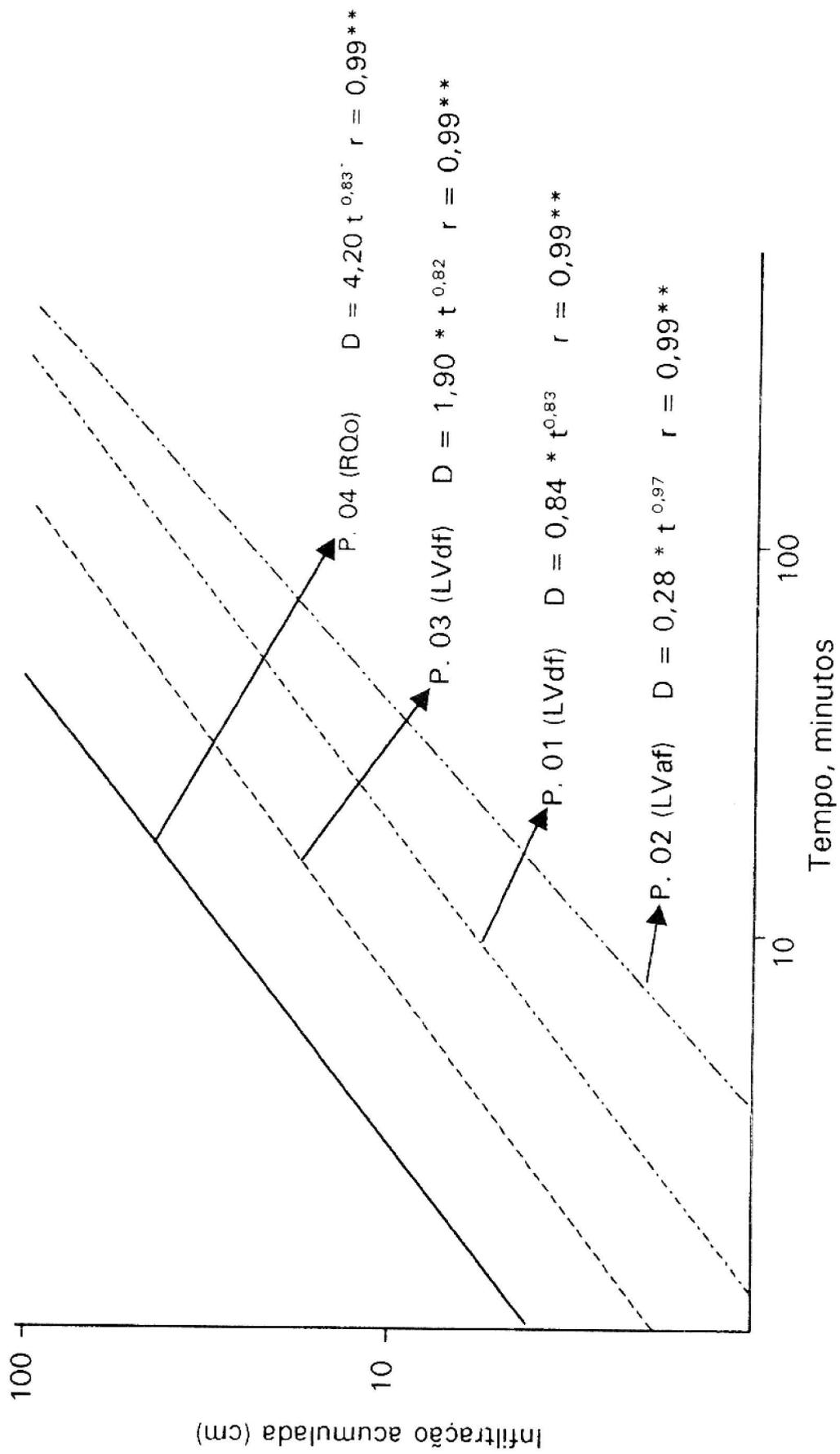


FIG. 2. Curvas de infiltração acumulada de quatro perfis de solos estudados no sudeste paraense.

Ainda nessa figura, observou-se que, a capacidade do solo em absorver água diminui com o tempo, o que é normal para solos com perfis uniformes ou quase uniformes (onde há variação em sua morfologia), em decorrência de vários fatores, dentre os quais citam-se os seguintes (Collis-George & Lal, 1971): a) diminuição do gradiente do potencial hidráulico, à medida que a água penetra no solo; b) dispersão das partículas individuais e sua deposição nos poros do solo, obstruindo parcial ou totalmente a passagem da água; c) expansão diferencial dos colóides do solo e; d) efeito desintegrante do ar preso nos torrões e agregados individuais, quando a água entra bruscamente por todos os lados, sob um alto potencial hidráulico.

É por isso que a declividade da curva de infiltração e, portanto, a grandeza da queda, dependerá, em grande proporção, do conteúdo de umidade do solo, da quantidade e natureza dos seus colóides e da resistência de seus agregados à desintegração (Medina & Leite, 1985). Levando-se em consideração que os solos, por ocasião dos testes (março de 1995, período chuvoso) encontravam-se com teores elevados de umidade, supõe-se que os valores de infiltração encontrados sejam bem mais altos em períodos de estiagem. Contudo, do ponto de vista da conservação do solo, é muito mais importante conhecer suas propriedades transmissoras de água durante o período chuvoso, posto que, é nessa época que as relações precipitação/infiltração determinam a ocorrência do processo erosivo (Medina & Leite, 1985).

Na Fig. 2, que mostra as curvas de lamina d'água infiltrada nos diferentes perfis estudados, observou-se que os solos que apresentaram as mais altas taxas de infiltração instantânea foram também os que mostraram lâmina de água acumulada maiores e vice-versa. Verifica-se que o perfil P.04 possui menor capacidade de armazenar água, permanecendo por período de tempo muito curto com água disponível às plantas.

Uma das formas mais utilizadas e, ao mesmo tempo, mais propícia para expressar a infiltrabilidade do solo é através da infiltração básica ou final, principalmente quando se deseja relacionar taxas de penetração de água no solo com escoamento superficial e erosão. Deve-se a isso o fato deste parâmetro constituir uma ferramenta básica para planejar práticas agronômicas e mecânicas destinadas a evitar ou minimizar o processo erosivo. Na Tabela 1 são apresentados os dados da infiltração básica (Ib) para os perfis estudados.

TABELA 1. Infiltração básica em perfis da região sudeste do Estado do Pará.

Solo	Perfil	Infiltração básica
		(cm/h)
LVdf - LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO típico A moderado textura muito argilosa	01	16,7
LVAAd - LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO DISTRÓFICO típico A mode- rado textura argilosa	02	14,9
LVdf - LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO típico A moderado textura muito argilosa	03	44,1
RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico A moderado textura are- nosa	04	111,1

Verifica-se nesta tabela que, com exceção do perfil 04 (Neossolo Quartzarênico), dentre os demais perfis, todos de textura muito argilosa, aquele que apresenta maior índice de cobertura vegetal, apresenta também, maior valor para velocidade de infiltração básica (Perfil 03, com 44,1cm/h), concordando com os resultados obtidos por Medina & Leite, 1984. As diferenças detectadas são de particular interesse prático, posto que se traduzem em marcan-

tes variações tanto no nível de erosão a que estão expostos os solos, quanto no desenvolvimento das culturas que aí poderão ser instaladas (Hillel, 1971). Por exemplo, o Latossolo Vermelho Distroférico textura muito argilosa, representado pelo perfil 03, com 44,1cm/h de infiltração básica, terá menor índice de erosão do solo, devido ao menor escoamento superficial, do que o Latossolo Vermelho-Amarelo, representado pelo perfil 02, com 14,9cm/h. Esses valores são bastante superestimados, considera-se que a infiltração real da chuva pode ser de até oito vezes menor que a infiltração medida pelo método do duplo cilindro (Musgrave & Holtan, 1964). Isto se deve à ocorrência de selamento superficial durante a chuva e à diferença de carga hidráulica na superfície do solo. Por isso, é perfeitamente válido prever, com base nos resultados dos testes efetuados, que a maioria das chuvas que ocorrem na região de estudo causará escoamento superficial e danos por erosão nos solos em questão, quando incorporados ao processo produtivo, se práticas conservacionistas não forem adotadas.

De acordo com O'Neal (1949), os solos estudados estão classificados com base na infiltração básica em: muito rápida (Perfil 03 e Perfil 04) e rápida (Perfil 01 e Perfil 02). Convém ressaltar que os valores de infiltração apresentados na Tabela 1 representam solos com cobertura vegetal natural, portanto, sem os problemas que poderiam acontecer com as práticas de cultivo.

A influencia da cobertura vegetal se manifesta essencialmente através da ação granulante do seu sistema radicular, da proteção da sua parte aérea contra o impacto da chuva e o efeito cimentante e estabilizante de substâncias orgânicas secretadas pelas raízes e, principalmente, sintetizadas pelos organismos do solo no processo de decomposição da matéria orgânica (Medina & Wilkinson, 1965; Medina & Leite, 1985; Oliveira Junior et al. 1997).

De um modo geral, dada à facilidade de penetração da água apresentada pelos solos estudados, a perda por lixiviação de certos fertilizantes poderá ser acentuada, caso sejam feitas aplicações em quantidades elevadas no período de maior precipitação pluviométrica, quando da entrada desses solos no processo produtivo. Nesse aspecto, a variação na taxa de infiltração de água entre os Latossolos parece indicar um comportamento diferencial entre eles, por exemplo, necessitando de parcelamento da adubação e na irrigação.

Os valores da densidade do solo (**Dg**) e da macroporosidade (**MP**), apresentadas na Tabela 2, explicam suficientemente o comportamento da infiltração de água no solo. Quando a **Dg** aumentou, a velocidade de infiltração instantânea tendeu a diminuir. Comportamento inverso foi observado para **MIC**.

A caracterização hídrica do solo, representada através das curvas de retenção de água, é de fundamental importância no relacionamento entre a umidade existente no solo e a tensão na qual a água está retida. As Figs. 3 e 4 mostram essa relação, na forma de curvas características de umidade, podendo-se observar, com maior clareza, as variações das características físicas e hídricas, por horizonte e por perfil estudado (Tabela 2).

Nos perfis 01, 02 e 03 (Latosolos), todos de textura argilosa e muito argilosa, as curvas de retenção de água (Fig. 3) do horizonte A destes solos apresentam tendência à horizontalidade a partir da tensão de 500kPa, resultados esses que se diferem dos encontrados por Correa (1984), que observou esta tendência à horizontalidade em solos muito argilosos e argilosos do Estado do Amazonas a partir da tensão de 200kPa, porém, concordam com os obtidos por Oliveira Junior et al. (1997) estudando solos do nordeste paraense. No entanto, nos perfis 04 e 05 (Neossolos), esta tendência à horizontalidade é observada a partir da tensão de 100kPa. A interpretação quanto à horizontalidade da curva indica que, para estes solos, é mínima a quantidade de água disponível para as plantas sob tensões superiores àquela considerada (Fontes & Oliveira, 1982).

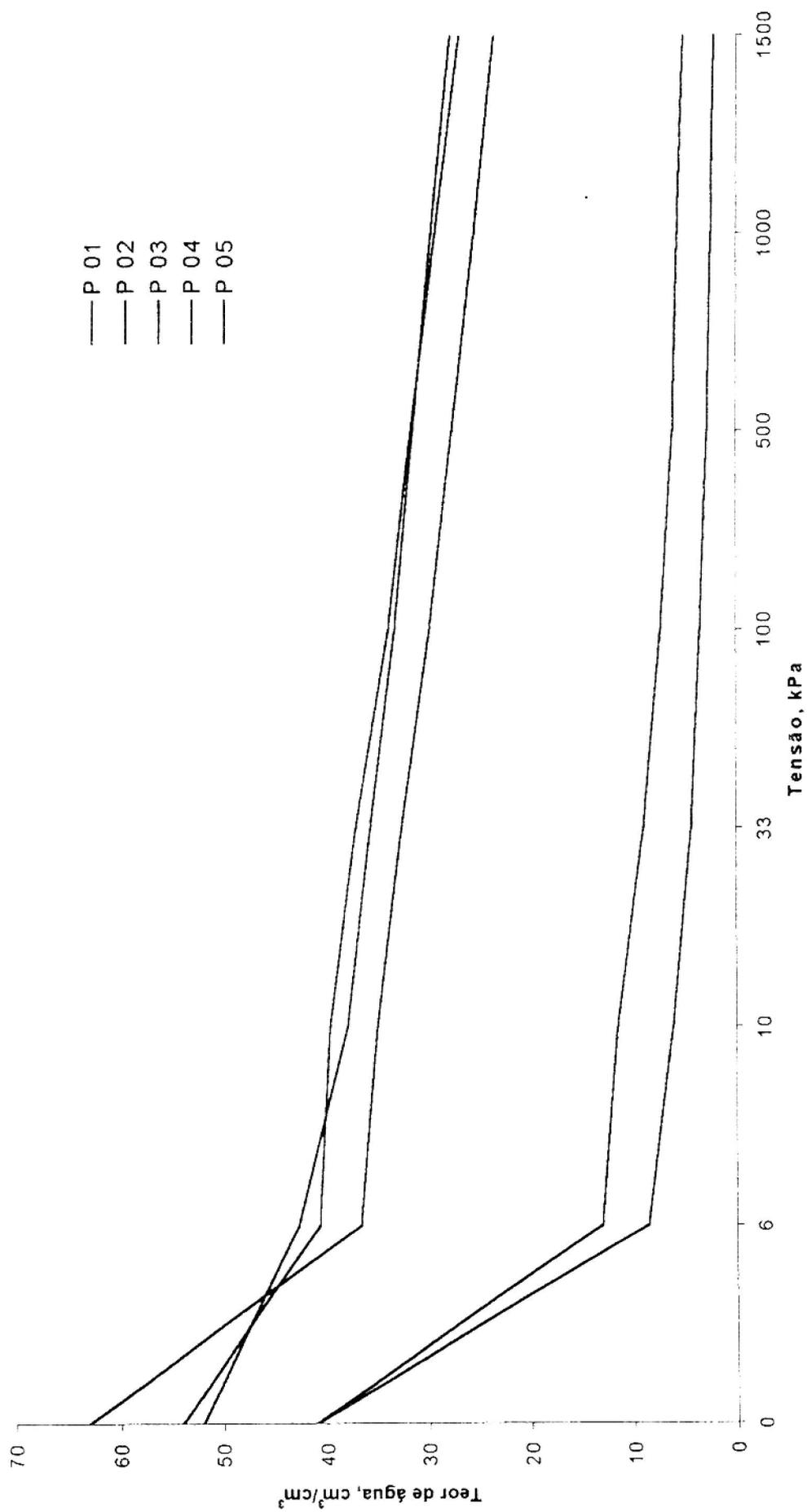


FIG. 3. Curvas características de retenção de água do horizonte A de cinco perfis de solos estudados na região sudeste do Pará.

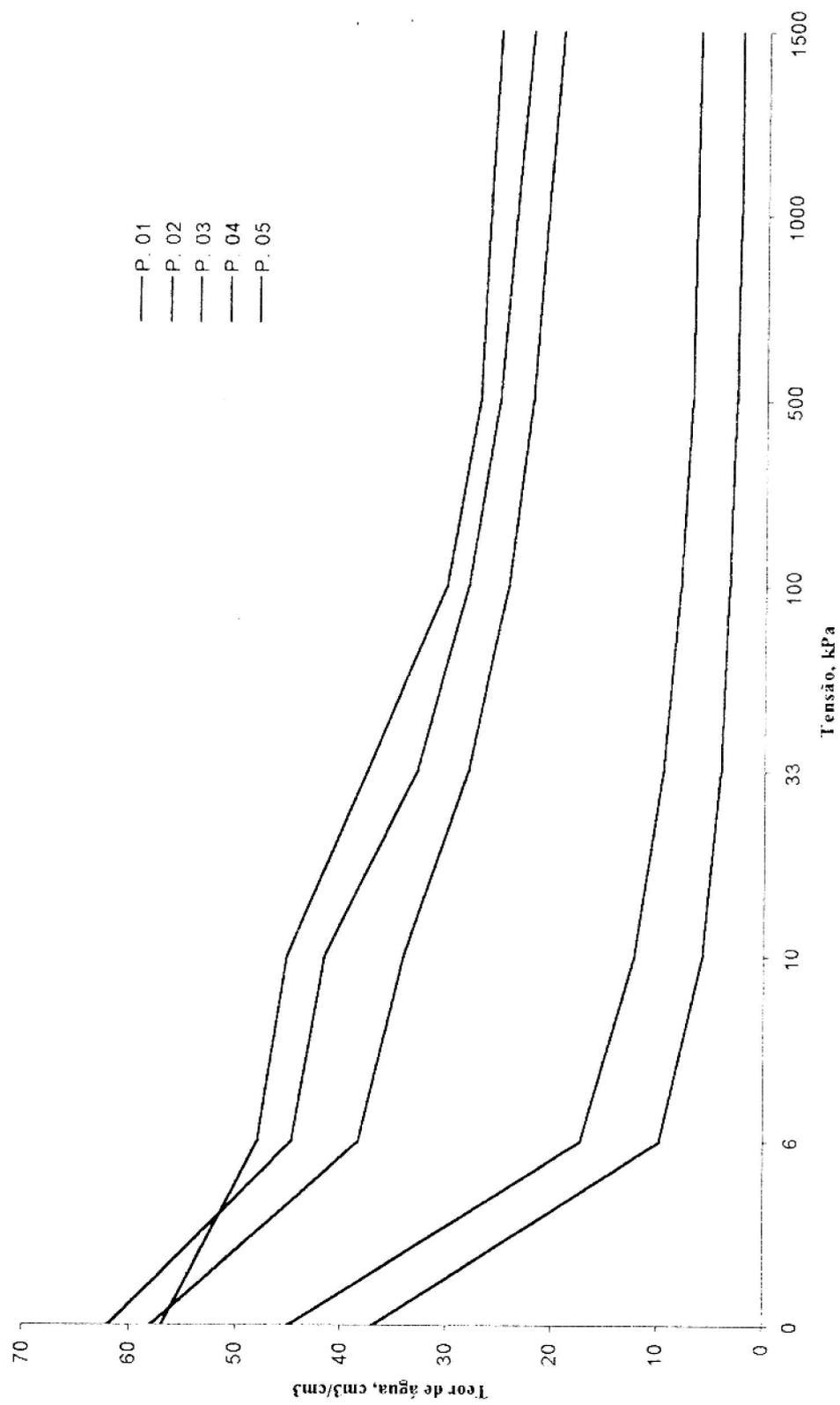


FIG. 4. Curvas características de retenção de água do horizonte B (Latosolos) e C (Neossolos) de cinco perfis de solos estudados na região sudeste do Pará.

TABELA 2. Principais características físicas dos perfis estudados na região sudeste do Pará.

Horiz.	Profund.	Granulometria (g/kg)			Retenção de água (kPa)					A.D. (mm)	M.O. g/kg	A.D. mm/cm	C.H. cm/h	DP g/cm ³	Dg g/cm ³	% Porosidade			MP		%			
		Areia	Silte	Argila	6	10	33	100	500							1500	DET	CAL	MIC	DET	CAL	PBI	I.A.	
LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico textura muito argilosa fase cerrado equatorial relevo plano - perfil 01 - LVdf																								
A	0 - 20	160	160	680	42,6	37,8	35,6	33,2	31,4	27,9	7,7	15,4	2,2	0,8	8,0	2,63	1,26	56	52	43	13	9	4	0,83
AB	20 - 39	140	170	690	43,6	33,6	30,3	28,3	27,2	24,4	5,9	11,2	1,8	0,6	13,0	2,70	1,13	53	58	44	9	14	5	0,76
BA	39 - 73	130	170	700	42,3	38,8	31,2	27,6	25,6	23,7	7,5	25,5	1,2	0,8	20,0	2,70	1,13	54	58	42	12	16	4	0,72
Bw ₁	73 - 130	130	140	730	47,9	45,2	37,6	30,2	27,1	25,4	12,2	69,5	0,8	1,2	4,5	2,74	1,17	55	57	48	7	9	2	0,84
Bw ₂	130 - 200	190	130	680																				
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO típico textura argilosa fase cerrado equatorial relevo plano - perfil 02 - LVaf																								
A	0 - 10	330	180	490	40,6	39,5	37,0	33,8	31,6	27,0	10,0	10,0	3,7	1,0	25,0	2,63	1,21	52	54	41	11	13	2	0,66
AB	10 - 24	320	140	540	35,3	33,3	30,6	27,6	25,4	21,6	9,0	12,6	2,9	0,9	7,7	2,60	1,19	55	54	35	20	19	1	0,65
BA	24 - 38	310	120	570	36,6	32,1	25,7	22,4	20,3	18,1	7,6	10,6	2,2	0,8	25,0	2,56	1,08	56	58	37	19	21	2	0,64
Bw ₁	38 - 73	280	150	570	38,3	34,1	28,0	24,3	22,1	19,4	8,6	30,1	1,4	0,9	22,1	2,56	1,08	56	58	38	18	20	2	0,66
Bw ₂	73 - 98	280	130	590									1,1											
Bw ₃	98 - 150	230	140	630									0,9											
LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico textura muito argilosa fase floresta equatorial subcaducifolia relevo plano - perfil 03 - LVdf																								
A	0 - 11	260	220	520	36,6	34,9	32,5	29,8	27,6	23,6	8,9	9,8	4,1	0,9	25,0	2,67	0,99	59	63	37	22	26	4	0,59
AB	11 - 31	190	220	590	39,4	37,3	32,8	29,3	27,0	23,6	9,2	18,4	1,9	0,9	25,0	2,74	1,17	51	57	39	12	18	6	0,68
BA	31 - 53	180	170	650	42,7	39,8	33,1	28,6	26,1	22,6	10,5	23,1	0,9	1,0	20,0	2,78	1,09	55	61	43	12	18	5	0,70
Bw ₁	53 - 85	180	170	650	44,7	41,6	32,9	28,1	25,2	22,3	10,6	33,9	0,6	1,1	14,4	2,78	1,05	55	62	45	10	17	7	0,72
Bw ₂	85 - 146	180	150	670	42,4	39,4	32,6	28,9	26,9	24,0	8,6	52,5	0,4	0,9	9,5	2,74	1,12	54	59	42	12	17	5	0,71
Bw ₃	146 - 200	180	190	630									0,4											
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO Órtico típico fase campo cerrado equatorial relevo plano - perfil 04 - RQo																								
A ₁	0 - 15	950	10	40	8,6	5,1	4,4	3,5	2,8	2,2	3,9	5,8	0,9	0,4	25,0	2,53	1,50	41	41	9	32	32	0	0,2
A ₂	15 - 45	950	10	40	8,9	7,5	5,8	4,8	4,1	3,4	4,1	12,3	0,7	0,4	25,0	2,56	1,49	42	42	9	33	33	0	0,2
A ₃	45 - 66	940	20	40	10,6	7,4	5,6	4,6	4,0	3,5	3,9	8,2	0,9	0,4	25,0	2,56	1,50	40	42	11	29	31	2	0,3
C ₁	66 - 95	950	10	40	10,6	6,6	5,0	4,0	3,4	2,9	3,7	10,7	0,5	0,4	25,0	2,56	1,59	38	38	10	28	28	0	0,3
C ₂	95 - 134	950	10	40	9,8	5,8	4,1	3,4	2,8	2,5	3,3	12,9	0,3	0,3	25,0	2,56	1,61	35	37	10	25	27	2	0,3
C ₃	134 - 200	950	10	40									0,2											
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO Órtico típico fase floresta equatorial subcaducifolia relevo plano - perfil 05 - RQo																								
A ₁	0 - 20	900	60	40	13,1	11,5	9,0	7,3	6,1	5,2	6,3	12,6	1,6	0,6	15,5	2,60	1,53	39	41	13	26	28	2	0,3
C ₁	20 - 44	890	30	80	11,8	11,3	9,1	7,7	6,6	5,4	5,9	14,2	0,7	0,6	25,0	2,56	1,34	48	48	12	36	36	0	0,2
C ₂	44 - 71	860	40	100	14,7	11,2	8,5	7,1	6,1	5,5	5,7	15,4	0,4	0,6	20,8	2,60	1,39	39	47	15	24	32	8	0,3
C ₃	71 - 114	830	50	120	17,2	12,2	9,6	8,0	7,0	6,4	5,8	24,9	0,3	0,6	18,2	2,60	1,43	38	45	17	21	28	7	0,4
C ₄	114 - 190	820	40	140	17,9	12,8	10,3	8,9	7,9	7,4	5,4	41,0	0,2	0,5	18,4	2,60	1,41	40	46	18	22	28	6	0,4
C ₅	190 - 220	820	40	140									0,2											

Horiz. = horizonte; Profund. = profundidade; A.D. = água disponível; M.O. = matéria orgânica; C.H. = condutividade hidráulica; DP. = densidade de partículas; Dg. = densidade do solo; DET = determinada; CAL = calculada; MIC = microporosidade; PBI = poros bloqueados; I.A. = índice de aeração; MP = macroporosidade

Convém ressaltar que a grande variação na retenção de água, nas várias tensões efetuadas entre os solos de textura muito argilosa e os de textura arenosa evidencia o papel fundamental das frações mais finas nesta importante característica dos solos, fato este, também, observado por vários pesquisadores (Hillel, 1971; Oliveira Junior et al. 1997).

Ainda analisando a Tabela 2 e as Figs. 3 e 4, verifica-se que, até a tensão de 33 kPa, ocorre um aumento da retenção de água com a profundidade nos perfis 01 e 03, e em todas as tensões, no perfil 05, resultados estes que diferem dos obtidos por Stone & Silveira (1978). Isto, provavelmente, é devido aos maiores teores de argila nos horizontes subsuperficiais desses solos.

A capacidade de água disponível, calculada pela diferença entre os teores de água contidos nas tensões de 33 kPa e 1.500 kPa para os solos argilosos e muito argilosos, e entre as tensões de 10 kPa e 1.500 kPa, para os arenosos, pode ser analisada em diferentes profundidades através da Tabela 2. Observando esta Tabela, deduz-se que os perfis 01, 02 e 03 apresentam armazenamento superior a 85,0 mm de água, considerando-se a profundidade de 1,0 m, enquanto nos perfis 04 e 05, de textura arenosa, o armazenamento é acima de 38,7 mm de água. Na prática, na ausência de chuvas, as culturas instaladas nos solos de textura argilosa e muito argilosa (P.01, P.02 e P.03) poderão dispor de umidade suficiente por 14 dias, se a evapotranspiração for ao redor de 6 mm/dia (Wolf & Soares, 1976), enquanto, nos perfis de textura arenosa (P.04 e P.05), as culturas instaladas disporão de umidade somente por seis dias.

Através da Tabela 2, pode-se inferir, também, que a disponibilidade de água nos horizontes subsuperficiais dos Latossolos estudados (P.01, P.02 e P.03), é mais elevada do que nos horizontes superficiais. O teor de argila mais elevado, provavelmente, tenha sido o principal fator responsável por este comportamento do horizonte B.

Considerando-se os dados médios das profundidades de cada tipo de solo estudado, verifica-se pela Tabela 3, que os Latossolos apresentam valores médios de disponibilidade de água (Estados Unidos, 1953), enquanto, nos Neossolos Quartzarênicos a disponibilidade é baixa.

TABELA 3. Média de disponibilidade de água e classes de disponibilidade dos solos estudados na região sudeste do Pará.

Solos	Perfil	Disponibilidade de água	
		mm / cm	Classe
LVdf	P.01	0,85	Média
LVAAd	P.02	0,90	Média
LVdf	P.03	0,98	Média
RQo	P.04	0,40	Baixa
RQo	P.05	0,60	Baixa

Convém salientar que a palavra disponibilidade tem um sentido dinâmico, significando a faixa d'água na qual se espera não haver um efeito negativo na produção de determinada cultura por deficiência de água.

A Tabela 4 dá uma idéia das tensões entre as quais se encontram os primeiros 50% de umidade disponível. Os valores para a água disponível nesta tabela foram encontrados utilizando-se a equação $(CC - (CC - PM) / 100 * 0.5)$, segundo Loureiro & Dias (1974), enquanto que, os valores das tensões foram extraídos da Fig. 3.

Verifica-se ainda na Tabela 4 que os valores encontrados são superiores aos obtidos por Oliveira Junior et al. (1997) em solos do nordeste paraense. Segundo Daker (1970), estes valores encontrados para os solos argilosos e muito argilosos podem restringir o desenvolvimento e a produção das principais culturas.

TABELA 4. Tensões a que estão submetidos os primeiros 50% de água disponível nos solos estudados na região sudeste do Pará.

Solos	Água disponível %	Tensão aproximada kPa
Latossolo Vermelho Distroférico - LVdf	31,8	400
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico - LVAd	32,0	430
Latossolo Vermelho Distroférico - LVdf	28,0	420
Neossolo Quartzarênico - RQo	4,2	50
Neossolos Quartzarênico - RQo	8,4	60

A condutividade hidráulica representa a velocidade de descarga da água do solo por unidade de gradiente hidráulico, quando a força de empuxo é igual à gravidade (Coelho, 1971), isto é, ela representa a velocidade com que a água se move no interior do solo saturado. Esta propriedade, como medida da permeabilidade dos solos, é largamente aplicada nos problemas de drenagem e fornece informações indiretas da estrutura e da estabilidade estrutural do solo.

A análise dos resultados da condutividade hidráulica dos solos apresentados na Tabela 2, apresentam variação, de acordo com Soil Survey Manual (Estados Unidos, 1975), de moderada a muito rápida (valores entre 4,5 cm/h a mais de 25 cm/h). Verifica-se, também, o importante papel desempenhado pela fração areia (P.04 e P.05) nesta característica hídrica do solo. A condutividade hidráulica está intimamente associada ao volume de poros, principalmente os chamados macroporos ou poros não capilares, responsáveis pela drenagem⁴, percolação⁵ e aeração do solo. Neste aspec-

⁴Conjunto de operações e instalações destinada a remover o excesso de água das superfícies e do subsolo.

⁵Operação de passar um líquido através de um meio para filtrá-lo ou para extrair substâncias deste meio.

to, o menor desempenho do P.01, em relação aos demais, deve-se à menor percentagem de macroporos (Tabela 2), o que, segundo Corrêa (1985), está intimamente associado à propriedade transmissora de água dos solos.

Quanto a isto, Coelho (1971), citando outros autores, indica que os resultados médios da condutividade hidráulica, macroporosidade e densidade do solo, quando classificados por grupo textural, mostraram um decréscimo consistente com o aumento da percentagem de silte e argila. A correlação verificada entre a condutividade hidráulica e a macroporosidade foi positiva e consistente, comparando-se com os resultados obtidos no presente trabalho, enquanto, a correlação encontrada com a densidade do solo foi negativa e geralmente de valor absoluto baixo, indicando que esta propriedade do solo (densidade do solo), isoladamente, é um valor inapropriado para indicação da permeabilidade do solo.

Os resultados da porosidade total, macro e microporosidade, poros bloqueados e índice de aeração são encontrados na Tabela 2.

O índice de aeração dá idéia da relação entre a microporosidade e a porosidade total; assim, quanto menor seu valor absoluto, melhores condições de aeração terá o solo. A condição de aeração dos solos estudados é fraca no perfil 01, média no perfil 02, média no horizonte A e fraca no horizonte B do perfil 03, e boa nos perfis 04 e 05, conforme classificação adotada por Oliveira & Melo (1978). Baver (1972) afirma que a aeração é fator limitante ao desenvolvimento das raízes e que a má aeração dificulta a respiração e não permite a manifestação da produtividade máxima de um solo. Diante do exposto, infere-se que o perfil 01 necessita, quando da sua entrada no processo produtivo, de práticas que venham a melhorar ou minimizar esta condição de fraca aeração.

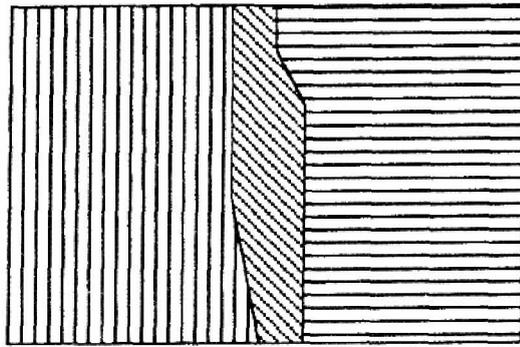
Quanto à porosidade total, verifica-se pela Tabela 2 que os perfis 01, 02 e 03 classificam-se, segundo Fontes & Oliveira (1982), como de alta porosidade total e os perfis 04 e 05 como de baixa porosidade total.

Os valores médios da porosidade total, compreendidos entre 39% e 55%, nos perfis analisados, estão dentro da faixa normal encontrada em solos minerais, que é de 30% a 60% (Hillel, 1970) e concordando com os resultados de outros autores (Correa, 1985; Medina & Leite, 1985; Oliveira Junior et al. 1997; Anjos et al. 1994; Jorge & Prado, 1988; Rodrigues et al. 1991).

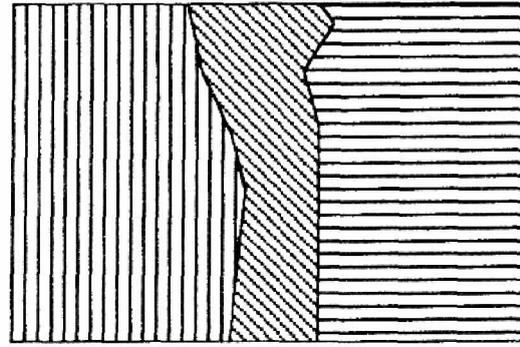
A Fig. 5 apresenta diagramaticamente o comportamento físico-volumétrico dos perfis de solos estudados. Observa-se que nos perfis 01, 02 e 03, todos de textura argilosa e muito argilosa, houve uma proeminência de microporos, decorrente dos teores elevados de argila, o que induz à formação de poros pequenos, os quais retêm bastante água e limitam o movimento de fluidos (Medina & Leite, 1985). Pela Tabela 2 e pela Fig. 5, verifica-se um acréscimo marcante da porosidade total e dos macroporos no perfil 05, em virtude da diminuição da densidade do solo, de $1,52\text{g.cm}^{-3}$ para $1,34\text{g.cm}^{-3}$, evidenciando a relação desta propriedade física com o espaço poroso do solo.

No que diz respeito aos poros bloqueados, que são aqueles que impedem o trajeto da água, prejudicando a capacidade de retenção e infiltração de água no solo, que são determinados através da diferença entre a porosidade total determinada e a calculada, os perfis estudados apresentam uma seqüência crescente na seguinte ordem: $P.04 < P.02 < P.01 < P.05 < P.03$.

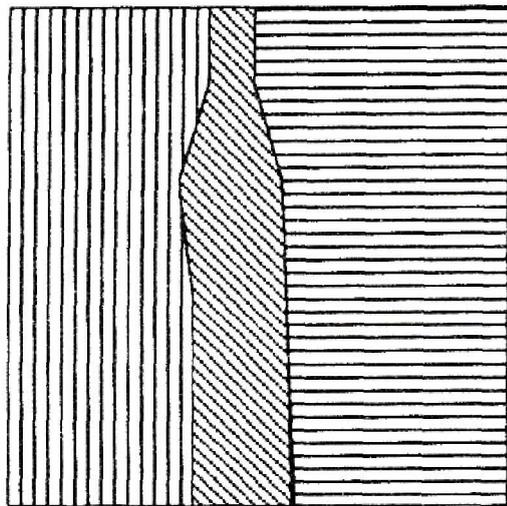
A densidade do solo permite avaliar certas propriedades do solo, tais como drenagem, porosidade, permeabilidade à água e ao ar, capacidade de armazenamento de água, trabalhabilidade pelos implementos agrícolas, penetração e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, etc.



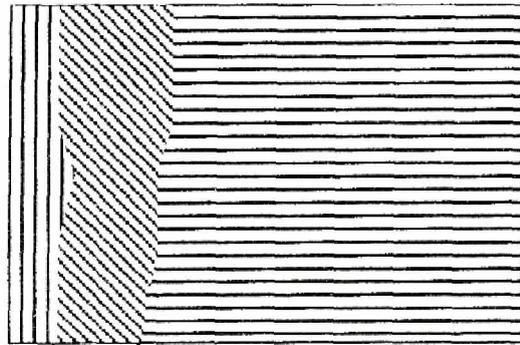
Perfil 01 - LVdf



Perfil 02 - LVAd

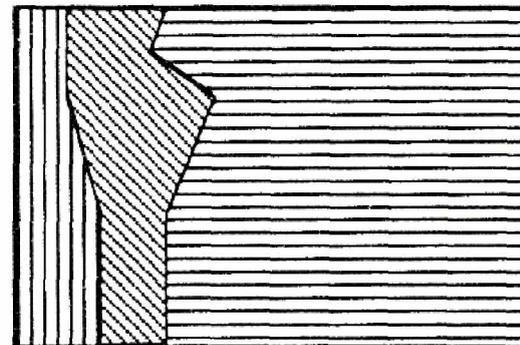
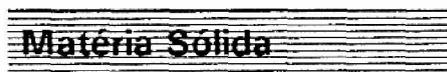


PERFIL 03 - LVDF



Perfil 04 - RQo

LEGENDA



PERFIL 05 - RQO

FIG. 5. Diagramas físico-volumétricos dos perfis 01, 02 e 03, 04 e 05 dos solos estudados na região sudeste do Pará.

Quanto mais elevada for a densidade do solo, menor é a porosidade e, conseqüentemente, menor será a circulação de água ao longo do perfil (no caso dos perfis estudados). O solo tende a oferecer maior resistência ao trabalho dos implementos agrícolas e ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de densidade do solo (**Dg**) dos perfis de solos estudados. Verifica-se através desta Tabela que os perfis 04 e 05 estão com Dg média acima de $1,42\text{g.cm}^{-3}$, o que, segundo Donahue et al. (1983), prejudica o bom desenvolvimento das culturas, devido à dificuldade do sistema radicular em romper esta camada compactada. O elevado teor da fração areia, juntamente com baixos conteúdos de matéria orgânica, seriam a provável causa deste adensamento, o que está de acordo com a afirmação de outros pesquisadores (Hillel, 1971; Baver et al, 1972; Sanches, 1981; Silva et al. 1986; Oliveira Junior et al. 1997).

Grohmann & Queiroz Neto (1966) encontraram para Latossolo Roxo o valor de $1,42\text{g.cm}^{-3}$ como crítico para o desenvolvimento de raízes de arroz, cultura esta muito utilizada no sudeste paraense para incorporar novas áreas ao processo produtivo. Observa-se pela Tabela 2, que os valores apresentados pelos perfis 01 e 03 encontram-se bastante abaixo dos valores obtidos pelos autores citados ($1,17$ e $1,08\text{g.cm}^{-3}$, respectivamente).

Considerando a importância da cobertura vegetal para esta característica física do solo, observa-se que nos solos onde a vegetação é mais densa e de maior porte, isto é, recobre o solo com maior intensidade, a densidade do solo é menor. Neste aspecto, os valores da densidade do solo do perfil 03 são mais baixos em relação aos demais, devido, principalmente, à ação agregante e descompactadora da floresta sobre os solos do que naqueles que estão sob cerrado, concordando com os resultados obtidos por Correa (1985).

Na Tabela 5, constam os coeficiente de correlação linear entre a densidade do solo e algumas características físico-hídricas e o teor de matéria orgânica. Verifica-se que a matéria orgânica exerce papel importante na densidade do solo, estando com valores de coeficiente de regressão acima de 0,53 (valores absolutos), concordando com o encontrado por diversos autores a este respeito (Corrêa, 1985; Oliveira Junior et al., 1997; Oliveira Junior & Medina, 1985). Também a fração areia, nos perfis de textura muito argilosa, tem participação significativa na densidade do solo nestes solos, responsável por percentual acima de 70% dos valores de D_g nestes perfis.

TABELA 5. Coeficientes de regressão linear entre a densidade do solo e algumas características físico-hídricas e matéria orgânica dos perfis de solos da região sudeste do Pará.

Perfil	Coeficiente de regressão linear				
	Mat. orgânica	Argila	Areia	C. hidráulica	Microporosidade
01 – LVdf	0,55	-0,35	0,84	-0,58	-0,02
02 – LVAd	0,92	-0,90	0,82	-0,40	0,23
03 – LVdf	-0,53	0,46	-0,70	-0,12	0,13
04 – RQo	-0,89	Nd	0,37	Nd	0,25
05 – RQo	0,70	-0,48	0,21	-0,92	0,01

Nd = não determinado.

A Tabela 2, também, apresenta os conteúdos das frações areia, silte e argila dos perfis estudados na região do sudeste do Estado do Pará. Verificou-se que nos perfis 01, 02 e 03, a fração argila é o principal componente, com valores compreendidos entre 490 e 730 $g.kg^{-1}$, com horizontes diagnósticos apresentando valores acima de 570 $g.kg^{-1}$, conteúdos estes que caracterizam solos de textura argilosa e muito argilosa. Nos perfis 04 e 05, de textura arenosa, a fração areia é dominante, com valores variando entre 820 e 950 $g.kg^{-1}$.

A curva de distribuição de argila com a profundidade dos solos analisados, apresentada na Fig. 6, evidencia um aumento gradativo nos valores da fração argila dos horizontes superficiais para os subsuperficiais, caracterizando a presença de horizonte B latossólico nos perfis 01, 02 e 03.

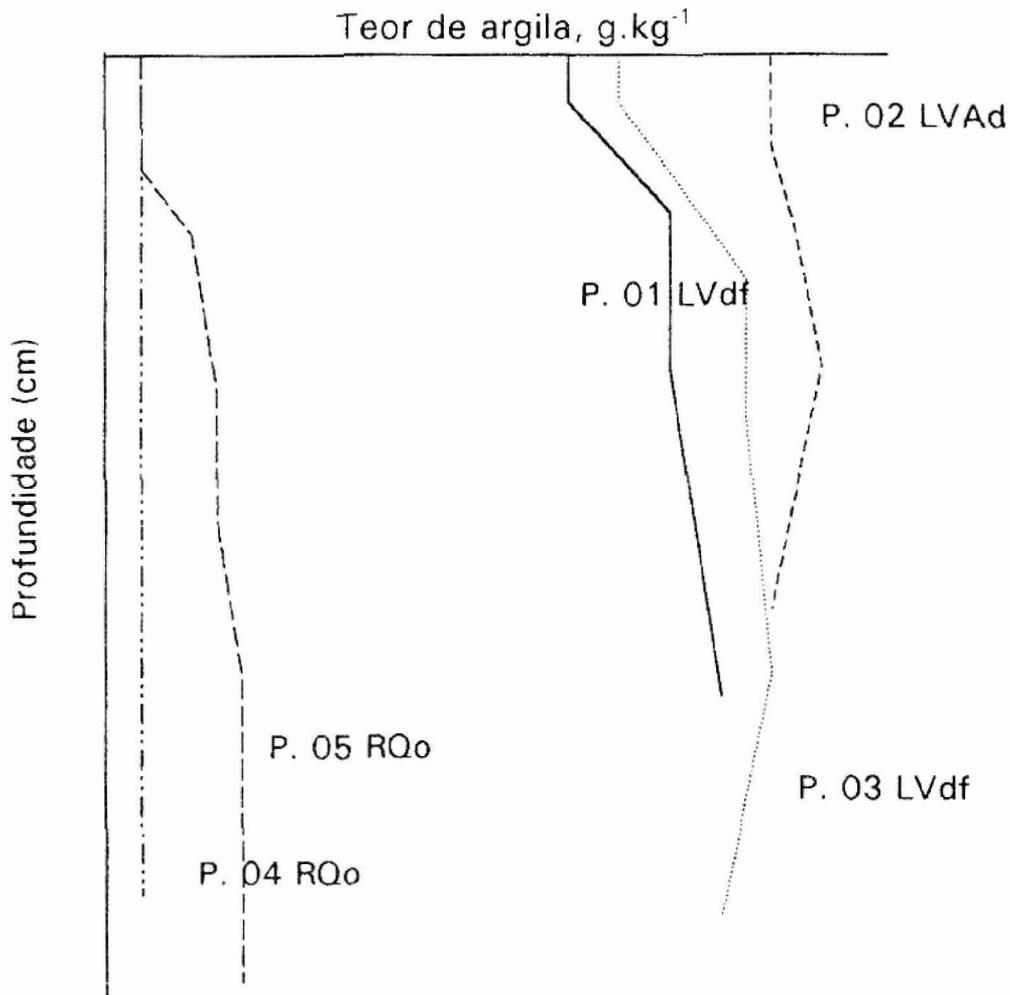


FIG. 6. Curvas de distribuição de argila em profundidade para os perfis estudados na região sudeste do Pará.

A fração silte apresenta valores variando de 10 a 220g.kg⁻¹, evidenciando o baixo conteúdo desta fração nos solos estudados.

A relação silte/argila, com valores abaixo de 0,42, nos perfis estudados, demonstra o elevado estágio de intemperismo destes solos, o que era de se esperar.

CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- Solos da mesma classe, sob vegetação natural, com textura, estrutura e porosidade total semelhante apresentam taxas de infiltração diferentes;
- A tendência à horizontalidade das curvas dos solos representados pelos perfis 01 (LVdf), 02 (LVAd) e 03 (LVdf) inicia-se pela tensão de 500 kPa, enquanto que, nos solos representados pelos perfis 04 (RQo) e 05 (RQo) a mesma iniciou-se pela tensão de 100 kPa, fato esses que devem ser levados em consideração quando da substituição da vegetação nativa pelos diversos sistemas de produção agropecuária e nos estudos de irrigação;
- Os solos representados pelos perfis 01, 02 e 03 apresentaram média disponibilidade de água, enquanto os perfis 04 e 05 apresentaram baixa disponibilidade;
- A taxa de infiltração básica foi maior nos Neossolos Quartzarênicos (P.04) do que nos Latossolos (P.01, P.02 e P.03);
- Foi constatado um aumento da densidade do solo nos perfis de solos com vegetação natural de cerrado (P.01, P.02, P.04 e P.05), em comparação àquele com vegetação de floresta (P.03), com valores médios de densidade de partículas de 2,60 para os primeiros e de 2,74 o perfil 03;
- Os Latossolos estudados apresentaram altos valores para porosidade total, com média de 14% e condutividade hidráulica média acima de 20cm/h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista brasileira Ciência do Solo**, v.18, n.1, p.139-145, 1994.
- BAVER, L.D. GARDNER, W.H. Soil physics. Yed. New York, J. Wiley Sons, 1972. 530p.
- BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.197-209. (American Society of Agronomy, 9).
- CHANDUVI, A.F. **Método simplificado para determinar constantes de infiltración**. La Molina: Agraria de La Molina. 1970. 20p
- COELHO, M.A. **Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicos e sódicos-salinos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1971. 113p. Tese Mestrado.
- COLLIS-GEORGE, N.; LAL, R. Infiltration and structural changes as influenced by initial moisture content. **Australian Journal of Soil Research**, v.9, p.107-116, 1971.
- CLAESSEN, M.E.C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J.L. de; DUARTE, M.N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- CORRÊA, J.C. Características físico-hídricas dos solos Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzol Hidromórfico do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.3, p.347-360, 1984.

- CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.12, p.1317-1322, 1985.
- DAKER, A. **A água na agricultura**: manual de hidráulica agrícola. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1970.
- DONAHUE, R.L. **Laboratory manual for introductory soils**. Illinois: Interstate, 1952. 52p.
- DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, R.C. **Soils**: An introduction to soils and plant growth. New Jersey: Prentice Hall, 1983. 667p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 5ª aproximação. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil conservation service. Soil survey staff. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1975. 754p. (USD. Agriculture Handbook, 436).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Land reclamation handbook. [s.l.], 1953. 53p. (Estados Unidos. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Publication. v.5, Part 2).
- FERNANDES, B.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Caracterização de alguns solos sob cerrado e disponibilidade d'água para culturas. **Experientiae**, Viçosa, v.24, n.9, p.209-260, 1978.
- FONTES, L.E.F.; OLIVEIRA, L.B. **Curvas de retenção de umidade de solos do norte de Minas Gerais, área de atuação da SUDENE**. Embrapa/SNLCS. 1982. 19p. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 4).

- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n.2, p.421-32, 1966.
- HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- JORGE, J.A.; PRADO, H. Porosidade, consistência e propriedades hídricas de três podzólicos vermelhos-amarelos e uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.1-6, 1988.
- LEITE, J.A.; MEDINA, B.F. Efeitos dos sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.1417-22, 1984.
- LOUREIRO, B.T.; DIAS, U.S. Curvas de retenção de umidade de solo. **Seiva**, v.34, n.81, p.10-20, 1974.
- MEDINA, B.F. & LEITE, J.A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo de Manaus-AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, p.1323-1331, 1985.
- MEDINA, B.F.; WILKINSON, G.E. Effect of crop cultures on the infiltration of water into the a chestnut soil. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.29, p.748-52, 1965.
- MUSGRAVE, G.W.; HOLTAN, H.N. Infiltration. In: CHOW, W.T., ed. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p.12-30
- OLIVEIRA JUNIOR., R.C. de; MEDINA, B.F. Efeito de diferentes coberturas vegetais nas propriedades físicas do solo e no desenvolvimento da seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., 1985, Belém. **Resumos**. Campinas: SBCS, 1985.

- OLIVEIRA JUNIOR, R.C. de; VALENTE, M.A.; RODRIGUES, T.E.; SILVA, J.M.L. da. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense**. Belém: Embrapa-CPATU, 1997. 27p (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 177).
- OLIVEIRA, L.B.; MELO, V. Caracterização físico-hídrica do solo. II. Unidade Utinga (Latosolo Vermelho-Escuro, distrófico). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.13, n.3, p.67-81, 1978.
- OLIVEIRA, L.B. de. Determinação de macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.197-200, 1968.
- O'NEAL, M.H. Soil characteristics significant in evaluating permeability. **Soil Science.**, v.67, n.5, p.17-21, 1949.
- PIMENTEL GOMES, F. **Estatística experimental**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1977. 340p.
- RICHARDS, L.A Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, v.68, p.95-112, 1949.
- RODRIGUES, T.E.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C. de; SILVA, J.M.L. da; VALENTE, M.A.; CAPECHE, C.L. Caracterização físico-hídrica dos principais solos da Amazônia Legal. I. Esta do Pará. Belém. 1991. 236p. (Embrapa-SNLCS. Relatório Técnico).
- SANCHES, P.A. **Suelos del tropicos**: características y manejo. San Jose: IICA, 1981. 633p.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O. A influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, 1986.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Condutividade hidráulica de um Latossolo vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.13, n.4, p.63-71, 1978.

- UHLAND, R.E. Physical properties of soils as modified by crops and management. **Soil Science Society of American Proceedings**. v.14, p.361-66. 1949.
- UHLAND, R.E. Rapid method for determining soil moisture. **Soil Science Society of American Proceedings**. v.15, p.391-393, 1951.
- WOLF, J.M.; SOARES, W.V. Características de umidade de um Latossolo vermelho-escuro do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia**, v.11, p.101-106, 1976.