

**EMBRAPA**

Centro de Pesquisa Agropecuária
do Trópico Semi-Árido (CPATSA)
BR - 428 Km 152 Rod. Petrolina/L. Gde.
Fone: (081) 961 - 0122
Telex (081) 1878
Cx. Postal, 23
56.300 - PETROLINA - PE

DOCUMENTOS

Nº 73, fev/92, p.1-22

DRENAGEM SUBTERRÂNEA DO PERÍMETRO IRRIGADO BEBEDOURO II. ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DOS SOLOS

Carlos Reeder Valdivieso Salazar¹
Gilberto Gomes Cordeiro²
Plauto Dinelli Ponte³

INTRODUÇÃO

O presente estudo descreve as propriedades físicas dos solos do Perímetro Irrigado Bebedouro, em relação à água e sua movimentação. Esta é uma caracterização da hidrologia dos solos, que tem por finalidade a análise das condições atuais de drenagem e salinidade e das potencialidades de recuperação e melhoramento, assim como o estabelecimento de informação básica e parâmetros de dimensionamento de drenagem (Smedema & Rycroft 1983).

Meer e Graaft (1980) diferenciam parâmetros do solo relativos à movimentação da água no sentido vertical, principalmente infiltração, percolação, capilaridade e porosidade drenável e, no sentido horizontal, principalmente a condutividade hidráulica, estratificação e ocorrência de camadas permeáveis e da barreira impermeável. Os levantamentos para o presente trabalho concentraram-se, principalmente, nos parâmetros do segundo grupo, sendo que a maioria dos parâmetros do primeiro grupo será discutida e definida com base na informação básica existente, obtida de levantamentos anteriores e relações paramétricas obtidas para solos similares em outros locais.

Os estudos resumidamente determinam a capacidade do solo para transmitir água horizontal e verticalmente. Esta qualidade é uma função, principalmente da condutividade hidráulica (saturada) e espessura da camada transmissora (Estados Unidos 1978). Parâmetros que definem o fluxo na zona não saturada não foram estudados especificamente, apesar da sua importância. Todavia, insinua-se uma análise superficial a respeito; o fluxo não saturado é caracterizado por relações $K(\theta)$ e $h(\theta)$ isto é, condutividade hidráulica e carga de pressão em função do teor de umidade (Bower & Jackson 1974).

¹Eng. Agrícola, M.Sc., Consultor em Irrigação e Drenagem, Convênio IICA/EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

²Eng. Agr., M.Sc., Especialista em Drenagem e Salinidade, EMBRAPA-CPATSA.

³Eng. Agrícola, Estagiário CNPq-PIEP/EMBRAPA-CPATSA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Informação Física

Extensão e localização: o perímetro irrigado consta de, aproximadamente, 2.000 ha e está localizado a mais ou menos 40 km de Petrolina, PE, na BR 428, nas coordenadas 09^o09' lat. Sul e 40^o22' long. W.

Clima: Semi-Árido, com precipitação média anual de 578,1mm, temperatura média anual de 26,5^oC, umidade relativa média anual de 61,3% e evaporação de 7,2 mm/d (Amorim Neto 1989).

Geomorfologia: os solos da área são formados a partir de materiais de deposição recente sobre rocha metamórfica da era precambriana, principalmente micaxistos, quartzo e gneiss ácido (FAO 1966). Uma camada de seixo rolado e solo derivado da intemperização de rocha é a transição. Transversalmente e, afastando-se do rio, distinguem-se formações diferentes em solos e relevo: os solos da ribanceira (do rio), geralmente de textura média e grossa, profundos e bem drenados; as planícies de inundação, baixadas de solos geralmente de textura pesada, de drenagem deficiente, caracterizados pela presença de lagoas permanentes e, finalmente, os latossolos das terras altas (Fig. 1).

Solos: os solos são, em geral, profundos, de textura grossa na superfície, variando gradualmente a média e fina na profundidade. A profundidade destes solos é às vezes limitada pela presença de uma camada de material arenoso, endurecido por concreções de ferro ou argila, seja formada "in situ" ou transportada (lixiviada). A presença da camada compacta de seixos e o duripan indicam possíveis problemas de drenagem.

As unidades de solo identificadas pela FAO (1966) no Perímetro Irrigado Bebedouro e confirmada no mapeamento detalhado de Pereira e Souza (1967) como de problemas potenciais de drenagem são:

37 BB: solo arenoso, mosqueado vermelho desde 1,0 m e cinza a partir de 1,50 m com cimentação nas camadas inferiores (Fig. 1);

37 BC: solo arenoso a barro argilo-arenoso das baixadas com mosqueados desde 0,50 m e cinza nas camadas de textura mais fina, também apresentando camada de cimentação;

1A e 1Ad: solos de textura fina (argilo-siltosa) da planície de inundação do Rio São Francisco, com tendência à salinização;

41A: solos argilosos próximos das lagoas.

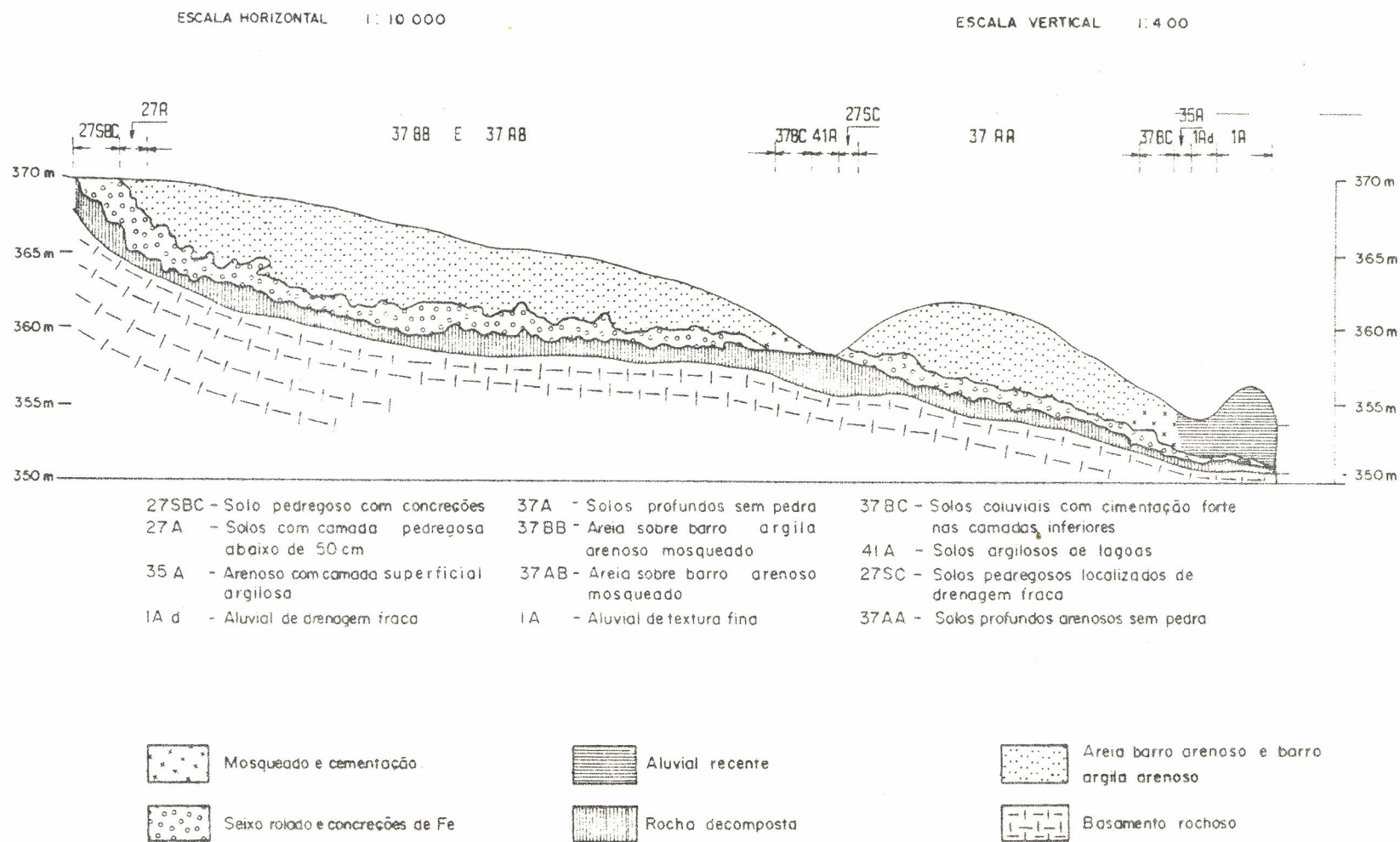


FIG. 1. Perfil Geopedológico do perímetro irrigado de Bebedouro (FAO - 1967).

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.4

Levantamento e Testes

Infiltração: os testes de infiltração, em número reduzido, foram feitos usando cilindros infiltrômetros de carga variável, cobrindo, principalmente, as unidades 37 BB, 37 AA, 37 AB, 37 BC, 27 BB-BA, 20 A-20 B e 27 SBC; a lâmina de água infiltrada foi de 30 a mais ou menos 110 mm; a duração dos testes variou de 60 a 90 min. No local dos testes tomaram-se amostras de solo até 60 cm de profundidade, para determinação do estado da umidade prévia aos testes.

A taxa de percolação, considerada como a quantidade de água que passa numa unidade de tempo através de um plano horizontal embaixo da zona de raízes, é considerada igual à infiltração em solos saturados e igual à soma da infiltração e retenção nos solos quando não saturados (Meer & Graaft 1980). Trata-se de um importante parâmetro que pode ser estimado em função da eficiência de irrigação, valores de água aplicados e capacidade de retenção de umidade dos solos.

Outra aproximação é assumir que o fluxo descendente de drenagem é proporcional ao total de umidade remanescente no perfil (Hillel 1980).

$$\text{i.e.: } \frac{dW}{dt} = \lambda W, \quad (1)$$

onde: $\frac{dw}{dt}$ = decréscimo do teor de umidade no perfil

λ = constante de proporcionalidade.

$$\text{integrando: } \int \frac{dW}{W} = -\lambda \int dt \quad (2)$$

$$\ln W = -\lambda t + c$$

$$c = \text{constante de integração} \quad (3)$$

$$W = e^c / e^{\lambda t} \quad (4)$$

$$\text{a } t = 0 \quad W = e^c = W_i \text{ (teor inicial de umidade no perfil)} \quad (5)$$

$$W = W_i e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Esta é a equação que descreve um processo de decaimento e λ é chamado também de constante de decaimento, representando a fração do teor remanescente da umidade que drena por unidade de tempo (Hillel 1980).

Condutividade hidráulica: aproximadamente 80 testes de condutividade hidráulica foram realizados, usando o método do furo de trado. A profundidade do furo pretendida para os testes foi de 1,80 a 2,20m, mas em aproximadamente 38%, a profundidade foi limitada (< 1m - 1,60m), principalmente pela presença de seixo. A maioria dos testes foi em presença do lençol freático e em 35% dos testes, na ausência do lençol, o teste foi conduzido na modalidade invertida ou "pump in" (Kessler 1980).

Os valores de condutividade hidráulica são correlacionados com parâmetros físicos dos solos: textura e densidade principalmente, determinados para amostras de solo colhidas nos pontos dos testes, na profundidade de variação do lençol durante os mesmos.

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.5

A condutividade hidráulica não saturada ou condutividade capilar é aproximada com a fórmula de Jackson (Hillel 1980).

$$k_i = k_s \left(\frac{\theta_i}{\theta_s} \right)^c \frac{\sum_{j=i}^m [(2j+1-2i)\psi_j^{-2}]^m}{\sum_{j=i}^m [(2j-1)\psi_j^{-2}]^m} \quad (7)$$

onde: k_i = condutividade capilar cm/seg. à umidade θ_i .

k_s = condutividade hidráulica em condições de saturação.

θ_i = umidade a tensão ψ_j .

j, i = índices somatórios.

Porosidade drenável: este parâmetro, de grande importância no cálculo de espaçamento entre drenos em condições de fluxo não estacionário, é determinado usando o critério empírico $\mu = \sqrt{k}$ (cm/d) (Beers 1965) e conferido com determinações baseadas nas características de umidade dos solos (μ = saturação-capacidade de campo) e em medidas de variação do lençol freático por efeito de recarga ou descarga ($\mu = R/\Delta h$).

Características de umidade: para as principais unidades de solos do perfímetro foram determinadas as curvas características de umidade, isto é, relação $h = f(\theta)$.

Identificação do perfil de solos: de maneira complementar à informação de solos existentes, foram feitos furos a trado com a finalidade de determinar a profundidade da camada de impedimento ou profundidade do aquífero. Foram usadas também as perfurações feitas na determinação da condutividade hidráulica e aquelas destinadas à instalação de poços de observação do lençol freático.

A altura capilar, em condições de equilíbrio, desde o lençol freático é:

$$h_c = 2 \gamma \cos \alpha / r \rho_w g \quad (\text{Hillel 1980}) \quad (8)$$

γ = tensão superficial

r = raio capilar

ρ_w = densidade de água

g = aceleração gravitacional

α = ângulo de umedecimento (considerado zero)

para $\alpha = 0$; $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$; $\gamma = 72,75 \text{ dina/cm}$; $g = 981 \text{ cm/s}^2$

$$h_c = \frac{0,3}{d} \quad (\text{Stakman 1980}) \quad (9)$$

onde d = diâmetro de poros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação de solos

Usando a descrição de perfis em furo de trado, feitos por ocasião da instalação dos poços de observação e dos testes de condutividade hidráulica, os solos foram diferenciados em perfis típicos, que dão um subsídio na classificação dos solos, segundo a sua drenabilidade (Fig. 3).

A classificação obtida é a seguinte:

1A1: Camada de solo leve, com menos de 30 cm acima da argila até menos de 1 m e franco argiloso a mais de 1m de profundidade.

1A2: Camada de solo leve, com menos de 30cm acima da argila que vai até 1 a 2m, acima de franco argiloso.

1B1: Camada de solo leve, com menos de 30 cm sobre franco argiloso até menos de 1m e argila abaixo.

1B2: Camada de solo leve, com menos de 30 cm sobre franco argiloso de 1 a mais de 2m de profundidade e argila abaixo.

1C: Franco argiloso desde a superfície até mais de 60 cm, sobre arenoso a franco arenoso.

2A1: Arenoso, franco arenoso, areia franca ou franco desde a superfície até 0,5 a 1m de profundidade acima da camada argilosa.

2A2: Arenoso, franco arenoso, areia franca ou franco desde a superfície até 1 a 2m de profundidade acima de argiloso.

As manchas de solo caracterizadas com este levantamento são apresentadas na Fig. 2, observando-se maior incidência de solos do tipo 1B, principalmente na zona 1 (Estação Experimental). Os solos 2A ocupam segundo lugar em incidência e se apresentam nas zonas 2A e 2B3 e, em terceiro lugar, os solos 1A.

Os solos 2A2 e 1C são os que, segundo a textura, corresponderiam a drenabilidade maior, seguidos de 1A1 e 1B2; os solos menos permeáveis são 1A2, 1B1 e 2A1.

As perfurações foram, de preferência, até mais de 2m, satisfazendo a recomendação de Meer (1979), ou seja, profundidade equivalente a 1/8 do espaçamento esperado de drenos ou à especificação do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (Estados Unidos 1973), 1/2 vezes a profundidade estimada dos drenos, quando possível.

DOC/73, CPATSA, fev/92, p.7

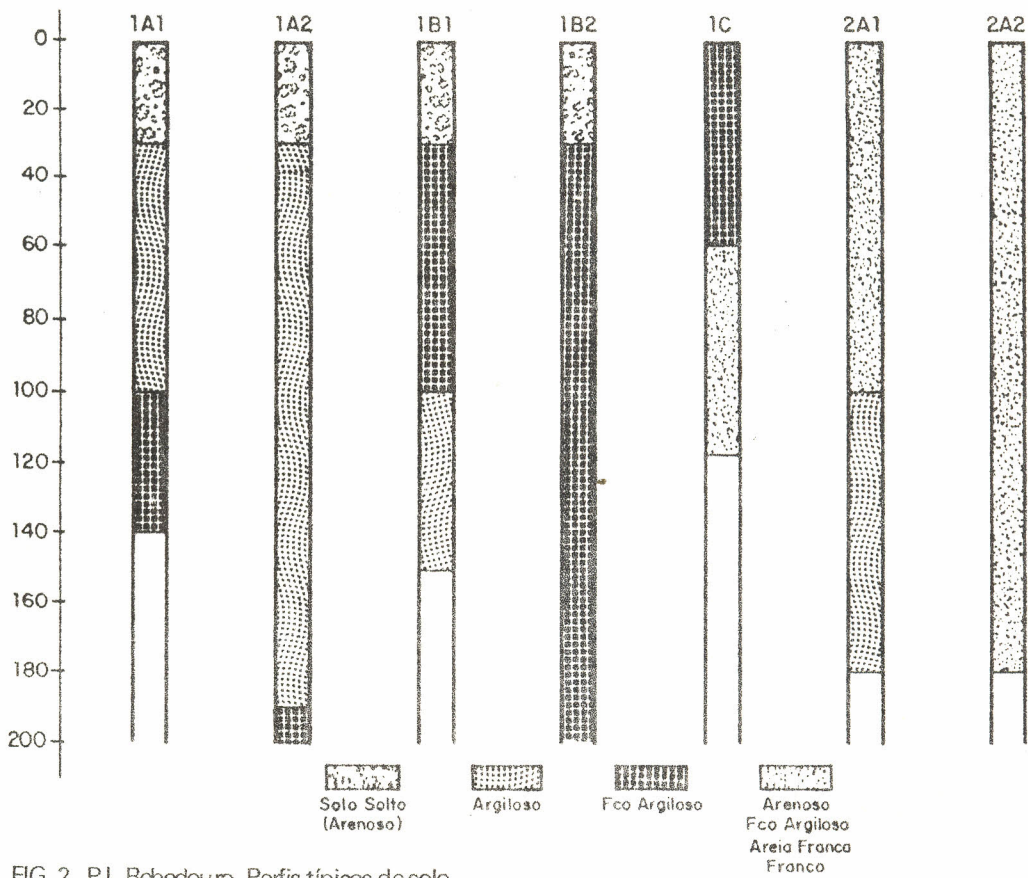


FIG. 2. P.I. Bebedouro. Perfis típicos de solo.

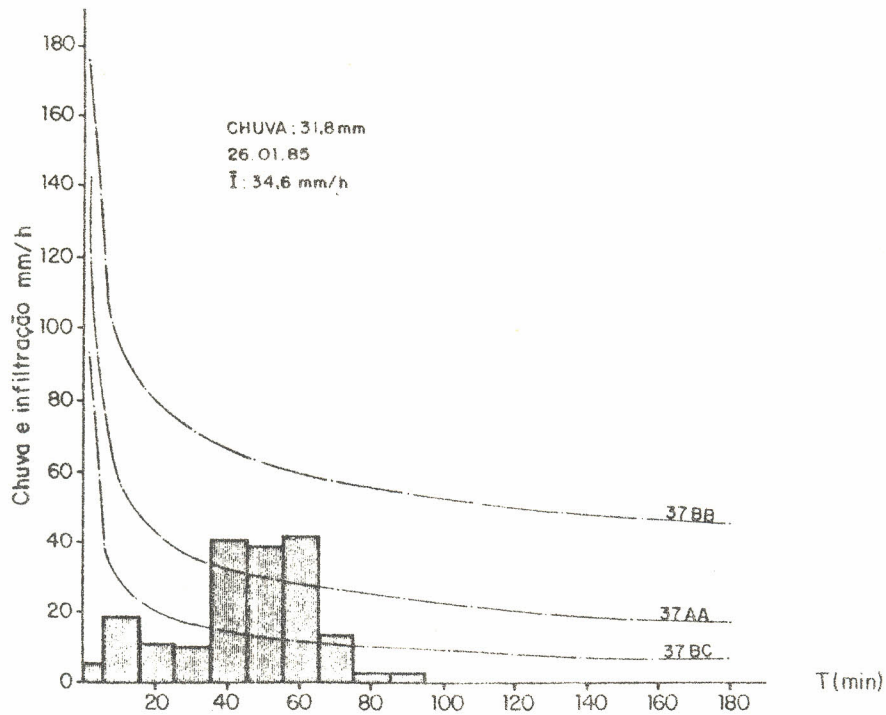


FIG. 3. Capacidade de infiltração dos solos durante um período de chuva.

Infiltração

Os resultados dos testes de infiltração são apresentados na Tabela 1. A infiltração básica varia de 0,5 a 5,0 cm/h; usando este parâmetro e segundo a classificação de Kickard e Cossens (Meer & Graaft 1980) os solos 37 BB apresentam taxas de infiltração (básica) alta; os solos 37 AA e 20 A-20 B, taxas médias, e os solos 37 AB, 37 BC e 27 BB-BA, taxas baixas. Assim, a capacidade de infiltração dos solos é maior no 37 BB e menor no 37 BC, como se ilustra na Fig. 3, onde se observa que, para uma chuva de 31,8 mm e intensidade de 34,6 mm/d, ter-se-ia escoamento superficial nos solos 37 AA e 37 BC, sendo que, neste último, em maiores proporções.

TABELA 1. Resultados de Testes de Infiltração.

Solo	I	i	i-bas cm/h
37 BB	$I = 0,399 t^{0,738}$	$i = 0,294 t^{-0,262}$	4,70
37 AA	$I = 0,396 t^{0,598}$	$i = 0,237 t^{-0,400}$	1,60
37 AB	$I = 0,391 t^{0,579}$	$i = 0,226 t^{-0,421}$	1,30
37 BC	$I = 0,321 t^{0,490}$	$i = 0,157 t^{-0,510}$	0,51
27 BB-BA	$I = 0,541 t^{0,473}$	$i = 0,260 t^{-0,530}$	0,74
20 A - 20 B	$I = 0,310 t^{0,669}$	$i = 0,210 t^{-0,330}$	2,20

I-cm, i-cm/h, t-min.

Percolação

Considerando os seguintes valores médios (em base a peso) para constantes hídricas dos solos: CC = 13%, pm = 6%, saturação 26%, e densidade aparente de 1,57 g/cm; um perfil de 60 cm de profundidade teria capacidade de armazenar 66 mm como umidade disponível e 122 mm como umidade drenável (gravitacional ou de percolação); portanto, é preciso uma chuva efetiva de 188 mm para obter percolação de água aquém da zona de raízes. Na suposição de que a chuva efetiva seja 50% do total, deduz-se que será necessário uma chuva de 400 mm para que a percolação tenha lugar.

Assim, para uma chuva média de 500mm, a percolação seria da ordem de 150mm ou 1,7mm/d, se as chuvas fossem uniformemente distribuídas em três meses.

A percolação por efeito de irrigação é estimada em 2,0 mm/d num balanço de água (Valdivieso & Cordeiro 1985). No entanto, Dileman (1980) a estima em 40% da água de irrigação entregue ao campo, em irrigação por sulcos em solos leves, com eficiência de aplicação da ordem de 40%.

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.9

Condutividade hidráulica

Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 2, onde é anotado, também, o tipo de solo correspondente obtido localizando-se o ponto do teste no mapa de solos existentes. Na Tabela 3 resumem-se as médias para cada tipo de solo. Não obstante a grande variabilidade dos solos, como indicados pelos altos valores de desvio padrão, observa-se que os solos apresentam, em média, valores de condutividade maiores que 0,8 m/d, sendo que os solos 37 AA se destacam como os mais permeáveis, com 3,4 m/d, seguidos em ordem decrescente pelos 27 BB-BA (2,3 m/d), 37 BB (2,1 m/d), 37 BC (1,5 m/d), 37 AB (1,14 m/d) e 20 A-20 B (0,8 m/d).

Os testes são pontuais e ignora-se a área que cada um representa. No entanto, como caráter geral, apresenta-se uma distribuição superficial de condutividade hidráulica representada na Figura 3. Os valores são agrupados nas seguintes classes (intervalos): $\leq 0,1$; $> 0,1 - 0,5$; $> 0,5 - 1,0$; $> 1,0 - 5,0$ e $> 5,0$ m/d.

TABELA 2. Resultados de testes de condutividade hidráulica dos solos do Perímetro Irrigado Bebedouro, pelo método do furo de trado.

Ponto Nº	Nome do Colono	Nº Lote	Prof. Furo	Prof. Lençol	K m/d	Tipo de Solo
09	Acelino	L 721	2,20	-	0,76	37 BB-37AB
10	Afonso A. Gomes	L 741	2,00	-	0,25	37 BB
P-41	José de A. Barros	711	2,20	-	3,68	37 AB
P-11	Francisco Batista	L 761	1,00	-	0,16	37 AB
P-13	Oswaldo Ursulino	541	1,60	-	0,26	37 AA
-	Antonio Venancio	L 751	1,50	0,85	3,94	37 AB
P-38	José Nobre	-	-	-	-	37 AB
-	Expedito Nobre	031	2,20	-	0,16	-
P-36	EMBRAPA	-	2,20	1,87	0,58	37 AB
P-18	João Maximiano	451	1,44	-	0,083	27 BB-BA
P-24	Pedro Ventura	271	0,96	-	0,64	37 BB
P-32	Joaquim dos Anjos	1012	1,03	-	3,56	27 BB-BA
P-37	EMBRAPA	-	2,20	0,39	2,79	37 BC
14	Nozinho	-	2,20	0,69	0,33	37 AA
12	Julio Luiz Neto	621	2,06	1,33	1,61	37 AA
02	J. Vitorino	1001	1,83	0,86	0,76	27 BB-BA
P-1	J. Vitorio Souza	1001	1,74	0,95	2,01	27 BB-BA
P-43	EMBRAPA	-	2,20	1,32	0,29	37 BB
P-27	Vital	351	1,93	0,66	4,75	37 BB
P-31	Ivaldo Peixoto	131	1,75	0,67	1,64	27 BB-BA
P-30	Raymundo Rodrigues	971	1,35	0,86	2,36	37 BB
P-29	João Cardoso	931	1,30	0,55	1,40	27 BB-BA
P-26	M. Evangelista	371	1,10	0,55	10,80	27 BB-BA
P-33	José Marcio	-	2,20	0,73	0,18	37 AB
P-28	Expedito Barbosa	991	2,20	1,24	0,20	37 BB
P-16	Otaciano	-	1,80	0,48	0,14	20 A-20 B
P-22	Francisco João	281	0,75	0,37	2,52	27 BB-BA
P-23	Modesto	301	1,85	0,67	3,11	37 BB
P-34	José Nobre	012	2,20	0,87	0,13	37 AB
P-20	Julio Nunes	1091	1,54	0,51	0,36	37 BC
P-21	Leandro	1071	1,50	0,66	2,12	27 BB-BA
17	CAMPB	-	2,20	0,73	0,34	37 BC
P-15	Nosinho	-	2,20	0,71	0,58	37 AA
P-6	Pedro J. Rodrigues	781	1,23	0,16	5,70	37 AA
25	Bento Manoel	151	1,88	0,16	1,39	37 AB
P-40	Abilio	L 681	2,20	1,70	0,42	37 AA
P-7	José Justino	L 661	2,05	1,40	0,75	37 AB
P-8	José Justino	-	2,20	0,91	0,13	37 AB
P-4	Antonio Lucas	791	2,00	1,65	0,40	37 BB
P-19	Jadiel	1101	2,02	1,23	0,21	27 BB-BA
P-39	Sebastião Cordeiro	L 691	2,20	1,03	0,32	37 AB
K1	-	-	1,95	0,95	0,75	27 BB-BA
K2	-	-	1,86	0,90	2,64	37 AB
T1	Paulo J. Lucas	921	1,70	1,10	6,18	27 BB-BA
P-3	Antonio Lucas	791	2,00	1,59	0,35	27 BB-BA
G	Manoel Nunes	074	2,20	-	1,19	27 BB-BA
E	Otaciano	561	1,60	-	1,45	20 A-20 B
F	Edelmario	631	2,20	1,16	0,33	37 AB

DOC/73, CPATSA, fev/92, p.10

Continuação

Ponto Nº	Nome do Colono	Nº Lote	Prof. Furo	Prof. Lençol	K m/d	Tipo de Solo
D	Antonio dos Anjos	181	1,80	0,66	3,80	37 BB
H'	Gonçalo J. Silva	901	1,90	0,70	3,04	37 BB
P-35	J. Cirino	113	1,66	0,22	5,52	37 BC
C	EMBRAPA	-	2,20	1,52	0,80	37 BC
B	Manoel Nunes Pereira	074	2,20	-	1,32	37 BB
A'	João Nilo Oliveira	061	2,21	-	1,02	37 BC
X3	EMBRAPA	-	1,13	-	0,69	37 BC
X7	EMBRAPA	-	1,20	-	0,54	37 BC
X8	EMBRAPA	-	1,36	-	0,42	37 AA
X9	EMBRAPA	-	0,90	-	0,51	37 AA
X10	EMBRAPA	-	2,20	-	0,32	37 AA
X6	EMBRAPA	-	2,16	-	1,16	37 AB
X5	EMBRAPA	-	2,20	-	1,39	37 AB
X4	EMBRAPA	-	2,16	-	0,41	37 BB
X2	EMBRAPA	-	1,18	-	0,44	37 BB
X2	EMBRAPA	-	2,12	1,30	2,94	-
X1	EMBRAPA	-	2,07	-	0,32	37 BC
X1	EMBRAPA	-	0,98	-	1,77	-
CH1	Antonio Luiz Neto	401	1,53	1,16	3,74	37 BB
CH2	Ivanildo	361	1,47	0,92	0,54	37 BB
CH3	João Passos	981	1,86	-	2,21	37 AB
CH4	Manoel Nunes	074	2,15	1,25	0,63	37 BB
CH5	Francisco Nogueira	171	2,20	1,22	1,33	37 AB
CH6	Ovidio	501	1,78	1,78	0,08	37 BB
CH7	Dalcino	441	0,99	-	0,74	37 AB
CH8	Fco. Fernandes Dantas	521	2,20	0,93	1,51	37 AB
CH9	João Domiciano	671	2,20	1,40	0,89	37 BB
CH10	Manoel Messias	191	1,36	1,02	0,90	27 BB-BA
K100	Abdias	461	1,30	0,99	12,40	37 BB
K101	Ireneu	431	1,24	0,96	1,67	27 BB-BA
K103	Antonio Luiz Neto	401	1,20	0,94	7,35	-
K104	Manoel Evangelista	371	1,00	0,67	1,75	37 AB
K105	Antonio Borges	1061	1,00	0,70	0,62	37 BB
K106	Bento Manoel	151	1,73	0,85	0,73	37 AB
K107	Jorge Nonato	511	1,90	1,60	1,30	37 AB
K108	CAMPIB-Coqueiros	-	1,90	1,65	0,85	37 AA
K109	Manoel Nunez	74	2,00	1,20	0,74	37 AA
K110	Fiel	641	1,90	1,05	0,63	-
K111	Antonio Rodrigues	811	1,80	1,36	3,45	37 AB
K112	Julio Soares	871	1,70	0,99	1,02	-
K115	Ivanildo	-	1,50	0,78	5,00	-
K116	João da França	-	1,00	0,70	0,96	-
K117	Otavio Bernardo	-	1,80	1,10	0,92	-
K118	Jorge Luiz	-	1,50	0,69	5,40	-
K119	Sebastião Caetano	-	1,80	1,28	3,74	-
K120	Gonçalo J. da Silva	-	1,80	0,80	1,36	-
K121	João Maximiano	-	0,60	0,30	2,19	-

TABELA 3. Condutividade hidráulica (m/d). Média por classe de solo.

Solo	n	K	S	1	2	diff.
37 AA	11	3,41	7,65	0,185	0,20	-0,015
27 BB-BA	15	2,28	2,82	0,151	-	-
37 BB	21	2,09	2,81	0,145	0,14	+0,005
37 BC	8	1,50	1,81	0,122	0,15	-0,028
37 AB	22	1,14	1,04	0,107	0,19	-0,083
20A-20B	2	0,80	0,93	0,089	-	-
Média	79	1,87	0,94	0,133	-	-

n = número de testes

K = média da condutividade hidráulica

S = desvio padrão

μ1 = k/100

μ2 = sat - cap camp.

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.11

Observa-se, na Figura 3, predominância de áreas com condutividade hidráulica entre 1,0 e 5,0 m/d, aproximadamente 25% da área; de 0,1 a 0,5 m/d, aproximadamente 23%, de 0,5 a 1,0 m/d em torno de 14%, sendo que mais de 20% da área carece de informação.

A condutividade hidráulica, determinada em testes de furo de trado, é função de características físicas do solo, não obstante na correlação simples os coeficientes de determinação, r^2 , obtidos, variaram de 0,45 a 0,64. As melhores correlações obtidas foram com a percentagem de argila natural e com a fração silte, seguidos, em ordem decrescente, dos parâmetros percentagem de saturação de umidade, percentagem de umidade a 15 atm de sucção e percentagem de argila (Fig. 4, 5, 6, 7 e 8). A percentagem de areia e a densidade aparente do solo renderam coeficientes negativos que indicam a inexistência de uma relação entre estes parâmetros e a condutividade hidráulica determinada "in loco", pelo menos nos casos analisados.

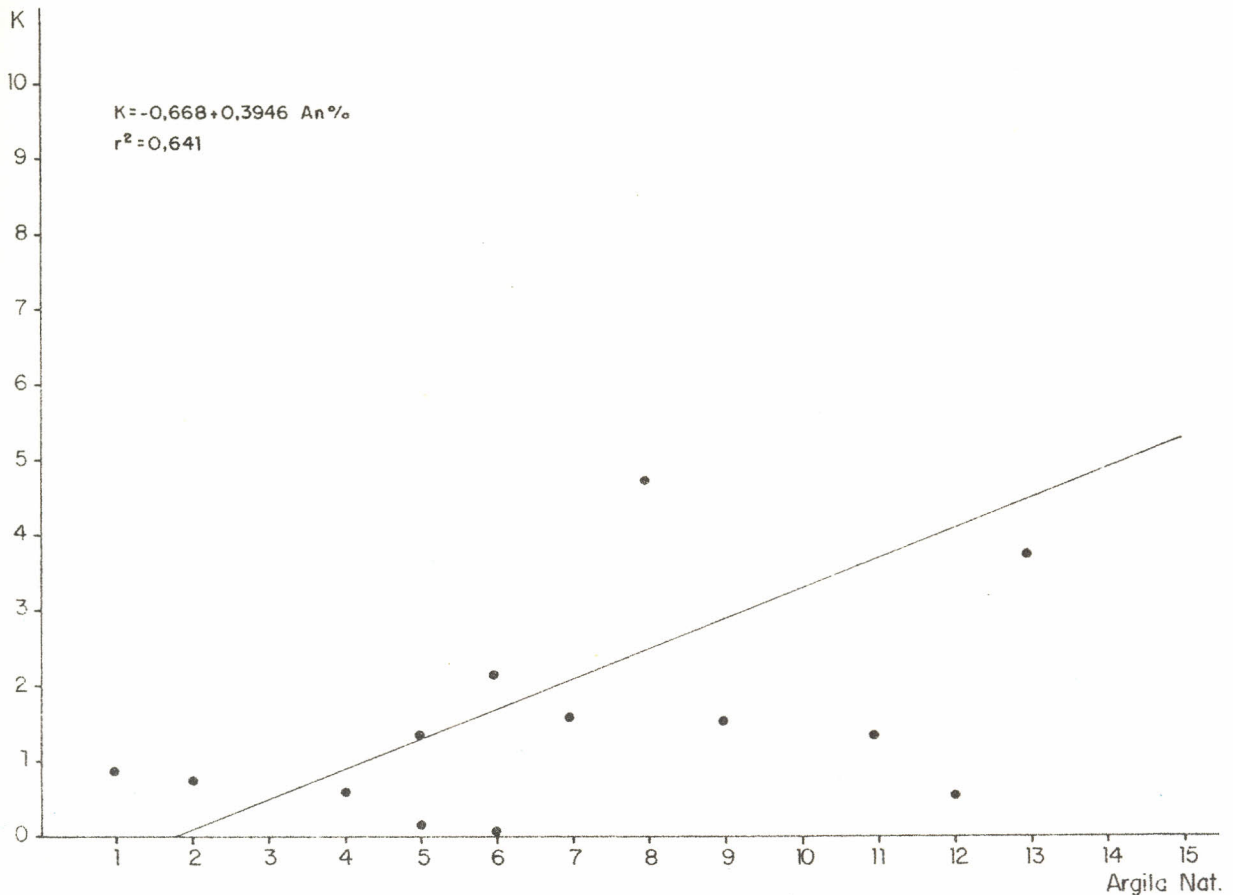


FIG. 4. K vs. Argila Natural - %.

DOC/73, CPATSA, fev/92, p.12

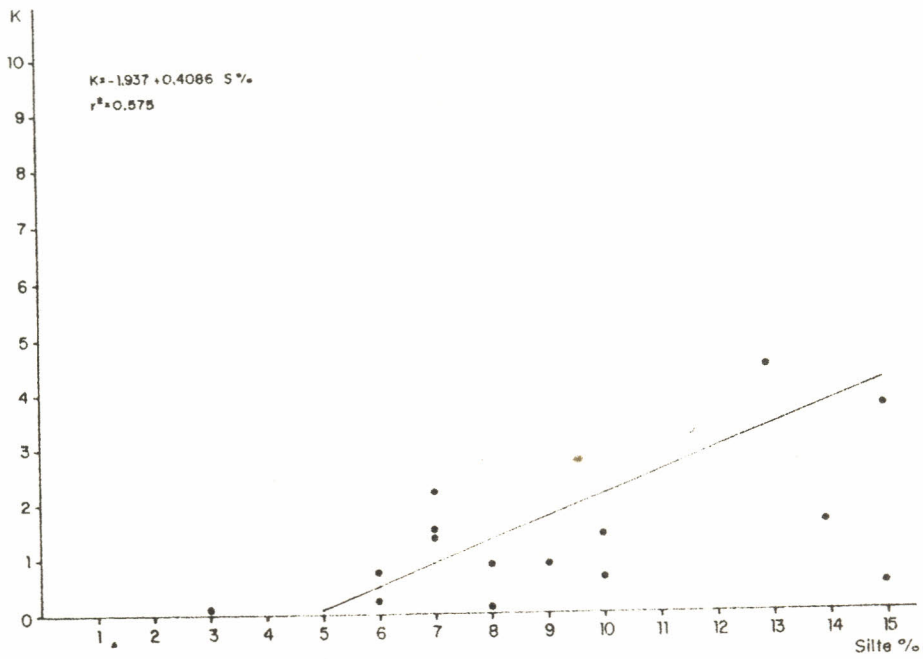


FIG. 5. K vs. Silte - %.

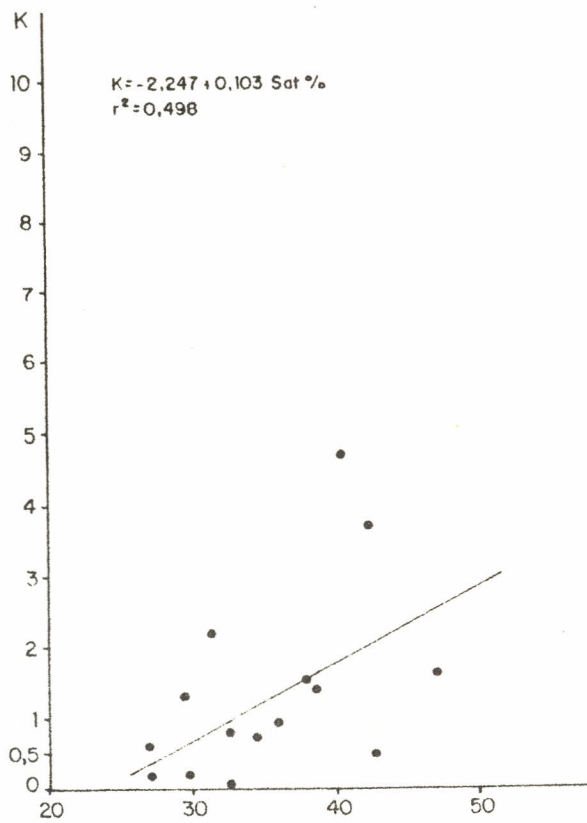


FIG. 6. K vs. Saturação Umidade - %.

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.13

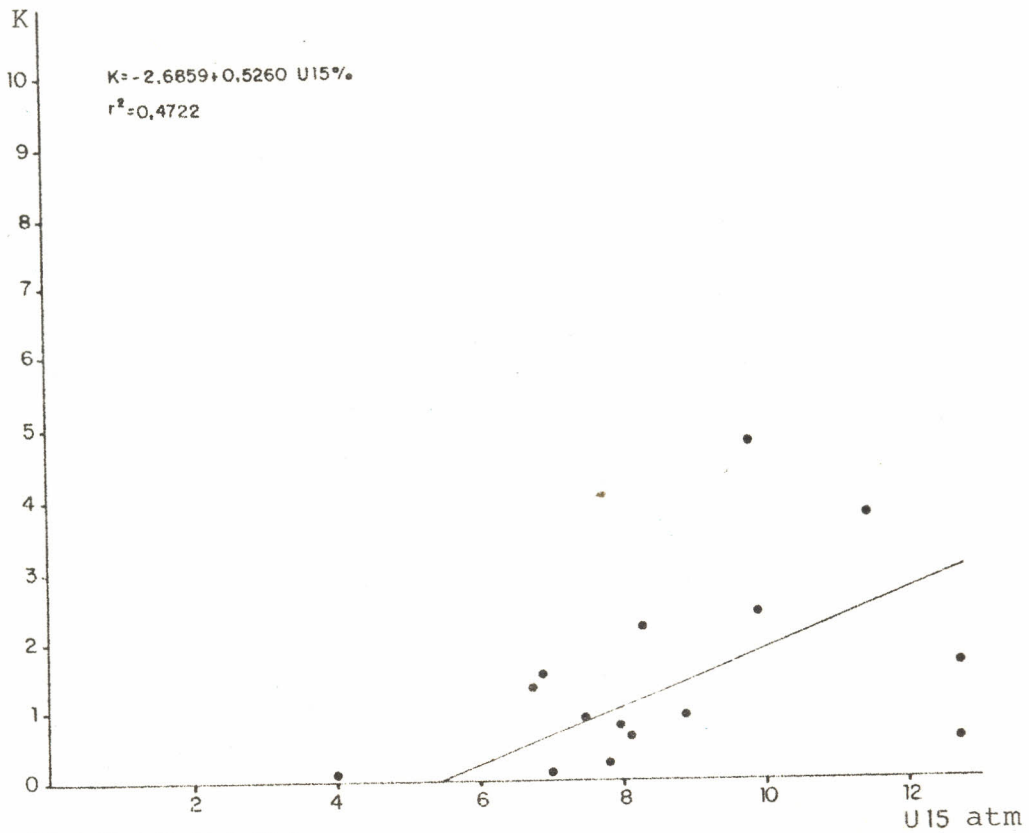


FIG. 7. K vs. Umidade 15 atm.

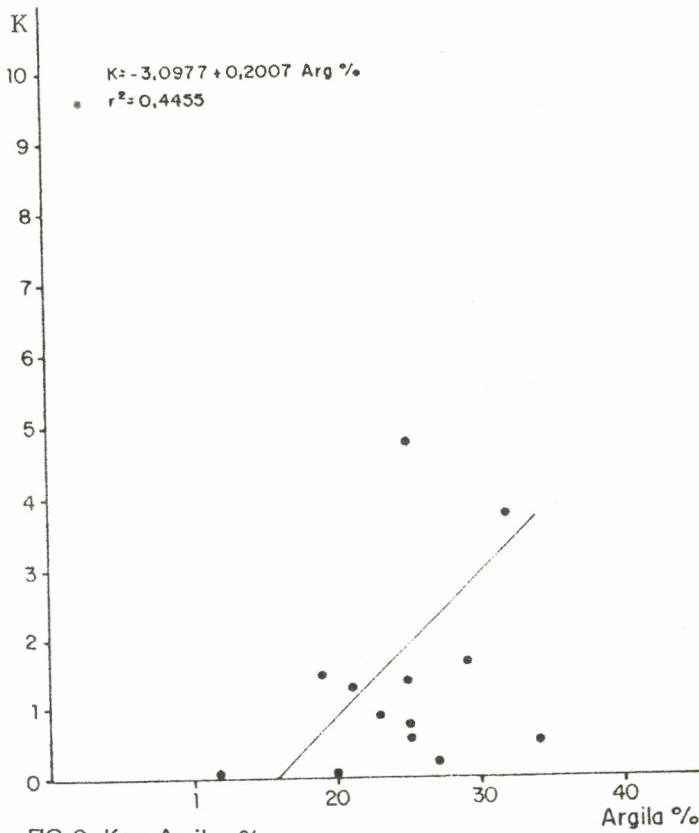


FIG. 8. K vs. Argila - %

DOC/73, CPATSA, fev/92, p.14

Condutividade hidráulica não saturada ou também condutividade capilar, parâmetro determinado a partir da relação de umidade com tensão (característica de umidade, Fig. 9, 10, 11 e 12 e Tabelas 4 a 7) na profundidade 60 - 90 assinala valores de K entre 0,01 e 1×10^{-9} cm/s., sendo que desde saturação há uma queda linear de K até teores de umidade de 27,5% vol. A partir de tal ponto, a queda é mais pronunciada, aproximando uma relação logarítmica (Fig. 13). A níveis de umidades médias, próximas de capacidade de campo, a condutividade capilar está em torno de 10^{-6} a 10^{-9} cm/s. . Na Fig. 13 observa-se também que os solos 37 AA apresentam melhores condições de capilaridade, seguidos de 37 AB, 37 BC e 37 BB.

As relações entre $K(\theta)$ e tensão matricial são:

para $h > -50$ cm:

$$37 \text{ AA} \quad K = 1217,8 e^{-0,081h} \quad r^2 = 0,966$$

$$37 \text{ AB} \quad K = 188,4 e^{-0,056h} \quad r^2 = 0,995$$

$$37 \text{ BC} \quad K = 78,0 e^{-0,03h} \quad r^2 = 0,93$$

$$37 \text{ BB} \quad K = 350,7 e \quad r^2 = 0,9998$$

para $h < -50$ cm:

$$37 \text{ AA} \quad K = 86,24 \times 10^5 h^{-3,41} \quad r^2 = 0,9983$$

$$37 \text{ AB} \quad K = 39,2 \times 10^7 h^{-4,28} \quad r^2 = 0,999$$

$$37 \text{ BC} \quad K = 11,6 \times 10^6 h^{-3,27} \quad r^2 = 0,976$$

$$37 \text{ BB} \quad K = 18,6 \times 10^6 h^{-3,18} \quad r^2 = 0,996$$

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.15

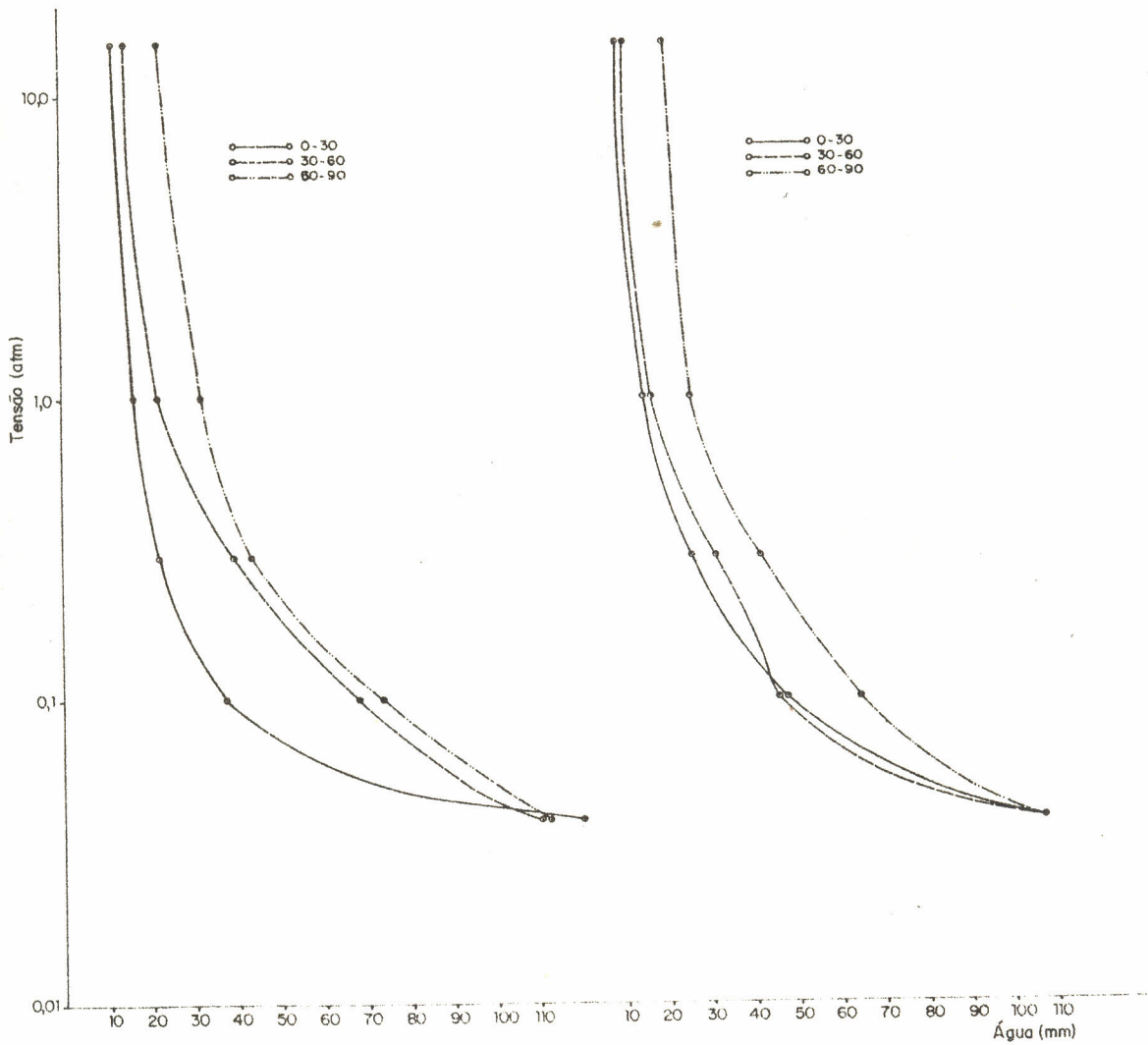


FIG. 9. Curva Característica de Umidade: Solo 37 AB
(P.J. Bebedouro).

FIG. 10. Curva Característica de Umidade: Solo 37 AB
(P.J. Bebedouro).

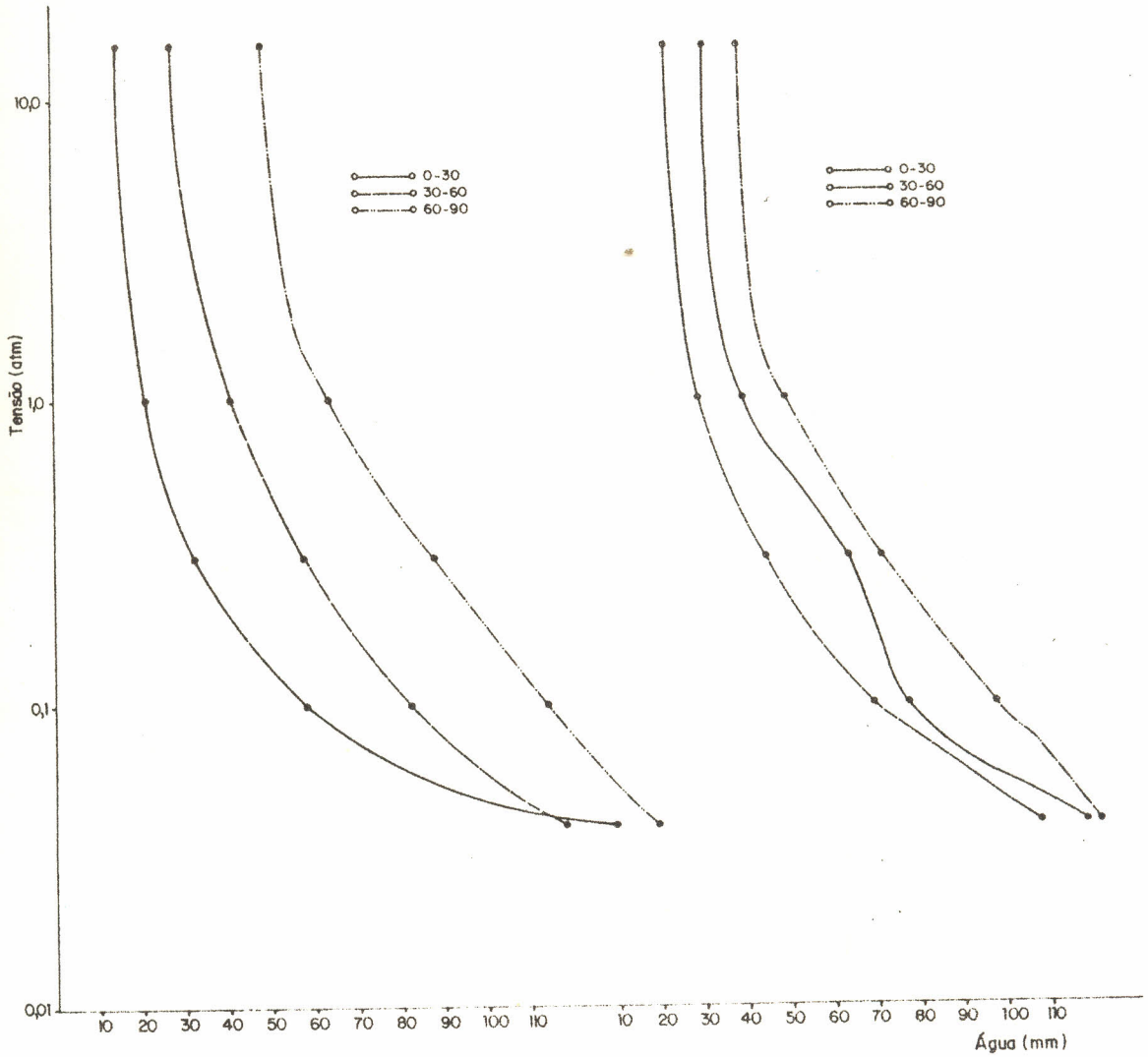


FIG. 11. Curva Característica de Umidade: Solo 37 BB
(P.I. Bebedouro).

FIG. 12. Curva Característica de Umidade: Solo 37 BC
(P.I. Bebedouro).

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.17

TABELA 4. Determinação da condutividade hidráulica não saturada. Solo 37 AA. (camada 60-90).

Unidade Volumétrica	Sucção Matricial	Poros Classe	Index Denominador	K cm/s.	Log K
0,46	10	1	1	$3,95 \times 10^{-3}$	-2,4
0,44	21	2	3	2,76815	-2,56
0,42	26	3	5	2,02094	-2,69
0,40	30	4	7	1,45544	-2,84
0,38	37	5	9	1,02831	-2,99
0,36	40	6	11	0,70815	-3,15
0,34	43	7	13	0,47324	-3,32
0,32	46	8	15	0,30580	-3,51
0,30	50	9	17	0,19048	-3,72
0,28	57	10	19	0,11395	-3,94
0,26	66	11	21	0,06508	-4,19
0,24	78	12	23	0,03519	-4,45
0,22	92	13	25	0,01785	-4,75
0,20	115	14	27	0,00843	-5,07
0,18	150	15	29	0,00365	5,44
0,16	200	16	31	0,001416	-5,85
0,14	290	17	33	0,000469	-6,33
0,12	410	18	35	0,000116	-6,94
0,10	600	19	37	0,000015	-7,82
0,08	2000	20	39	0,000001	-9,0

 $k_s = 3,41 \text{ m/d} = 3,95 \times 10^{-3} \text{ cm/s.}$

ID = 1,084048

TABELA 5. Determinação da condutividade hidráulica não saturada. Solo 37 AB. (camada 60-90).

Umidade Volumétrica	Sucção Matricial	Poros Classe	Index Denominador	K cm/s.	Log K
0,46	10	1	1	$1,32 \times 10^{-3}$	-2,88
0,44	18	2	3	0,87155	-3,06
0,42	24	3	5	0,69737	-3,22
0,40	30	4	7	0,42148	-3,38
0,38	37	5	9	0,28921	-3,54
0,36	42	6	11	0,17454	-3,76
0,34	49	7	13	0,12906	-3,89
0,32	57	8	15	0,08327	-4,08
0,30	67	9	17	0,05209	-4,28
0,28	77	10	19	0,03134	-4,50
0,26	89	11	21	0,01797	-4,75
0,24	105	12	23	0,00971	-5,01
0,22	125	13	25	0,00486	-5,31
0,20	152	14	27	0,00219	-5,66
0,18	190	15	29	0,00086	-6,07
0,16	240	16	31	0,00027	-6,67
0,14	350	17	33	0,00006	-7,22
0,12	600	18	35	0,000008	-8,10
0,10	2000	19	37	$4,3 \times 10^{-10}$	-12,37
0,08	14000	20	39	$7,1 \times 10^{-12}$	-14,15

 $k_s = 1,14 \text{ m/d} = 1,32 \times 10^{-3} \text{ cm/s.}$

ID = 0,7561252

TABELA 6. Determinação da condutividade hidráulica não saturada. Solo 37 BC. (camada 60-90).

Umidade Volumétrica	Sucção Matricial	Poros Classe	Index Denominador	K cm/s.	Log K
0,48	10	1	1	$1,7 \times 10^{-3}$	-2,77
0,46	15	2	3	0,9385	-3,03
0,44	24	3	5	0,5609	-3,25
0,42	30	4	7	0,3389	-3,47
0,40	42	5	9	0,2057	-3,69
0,38	55	6	11	0,1237	-3,91
0,36	70	7	13	0,0729	-4,14
0,34	85	8	15	0,0417	-4,38
0,32	105	9	17	0,0230	-4,64
0,30	130	10	19	0,0122	-4,91
0,28	165	11	21	0,0062	-5,21
0,26	220	12	23	0,0030	-5,52
0,24	290	13	25	0,0014	-5,85
0,22	380	14	27	0,00038	-6,42
0,20	540	15	29	0,00020	-6,70
0,18	760	16	31	0,00005	-7,30
0,16	1050	17	33	0,000006	-8,22
0,14	2500	18	35	0,000001	-9,0

$k_s = 1,5 \text{ m/d} = 1,7 \times 10^{-3} \text{ cm/s.}$

ID = 0,3923112

TABELA 7. Determinação da condutividade hidráulica não saturada. Solo 37 BB. (camada 60-90).

Umidade Volumétrica	Sucção Matricial	Poros Classe	Index Denominador	K cm/s.	Log K
0,52	10	1	1	$2,419 \times 10^{-3}$	-2,62
0,50	21	2	3	1,36434	-2,87
0,48	30	3	5	0,82789	-3,08
0,46	40	4	7	0,501265	-3,30
0,44	50	5	9	0,299762	-3,52
0,42	60	6	11	0,176772	-3,75
0,40	80	7	13	0,103062	-3,99
0,38	100	8	15	0,059003	-4,23
0,36	130	9	17	0,032989	-4,48
0,34	165	10	19	0,017840	-4,75
0,32	210	11	21	0,009229	-5,03
0,30	270	12	23	0,004503	-5,35
0,28	350	13	25	0,002030	-5,69
0,26	450	14	27	0,000820	-6,09
0,24	630	15	29	0,000286	-6,54
0,22	900	16	31	0,000078	-7,11
0,20	1300	17	33	0,000013	-7,89
0,18	3000	18	35	0,000001	-9,0

$k_s = 2,09 \text{ m/d} = 2,419 \times 10^{-3} \text{ cm/s.}$

ID = 0,264133

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.19

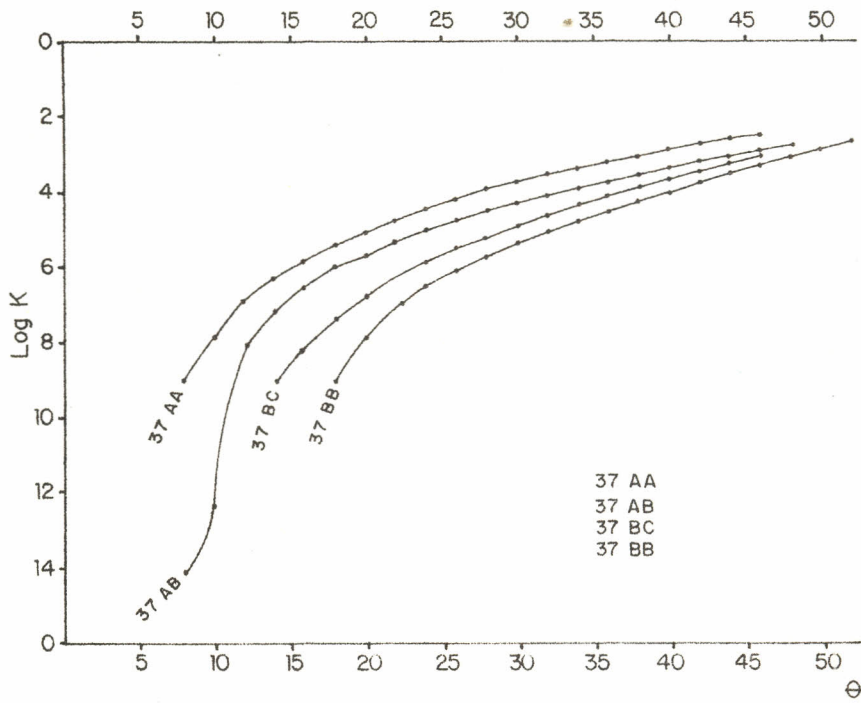


FIG. 13. Relação entre condutividade capilar vs. Umidade do solo.

Porosidade Drenável

Calculados a partir da condutividade hidráulica, os valores variam de 9% a 19% (Tabela 3), sendo o valor médio em torno de 13%. Estes valores são conferidos usando as curvas características de umidade dos solos (Fig. 9, 10, 11 e 12). Considerando a porosidade drenável como o espaço poroso entre capacidade de campo e saturação, os valores obtidos variam de 14 a 20% para os solos 37 AA, 37 AB, 37 BC, 37 BB, em seqüência do maior para o menor.

Capilaridade

Da relação tensão de umidade com diâmetro equivalente de poros, obtida por Stakman (1980), obtém-se que em condições de equilíbrio de umidade, a franja capilar considerada como a zona acima do nível do lençol com umidade próxima de saturação ou tensão entre 10 e 40 cm, terá poros de 30 e 70 μ ou menos, cheios de água portanto e, usando a equação (8), obtém-se que a franja capilar atingirá uma altura menor que 40 cm.

A equação (9) foi usada para calcular o fluxo capilar, tomando como referência o nível do lençol, quando a tensão matricial na superfície do solo é de 16 bar (16000 cm) e tomando em consideração a condutividade hidráulica de camadas imediatamente inferiores pouco mais úmidas; observa-se, assim, que o solo 37 AA transmite água capilar com maior facilidade.

Com lençol freático acima de 50 cm, o fluxo capilar até a superfície é maior do que 2,0 mm/d no solo 37 AA e maior do que 1,0 mm/d nos solos 37 AB e 37 BC. Com lençol freático abaixo de 1,0 m, o fluxo capilar até a superfície é sempre menor que 1,0 mm/d (Fig. 14). Rijtema (1965) obteve curvas de fluxo capilar para diferentes tipos de solo, que podem ser usadas para fins de comparação ou na ausência de informação local.

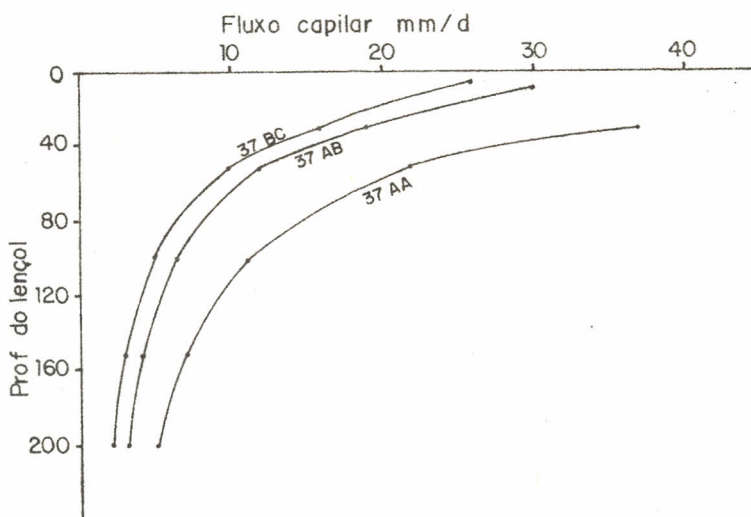


FIG. 14. Fluxo capilar desde o lençol.

DOC/73, CPATSA, fev/92, p.21

Profundidade da Rocha

Este parâmetro é de muita importância para determinar a máxima profundidade nos drenos. A sua determinação é baseada apenas na profundidade da camada de seixo, determinada nas tradagens que, presume-se, ocorrem próximos da rocha. A distribuição é representada no mapa, onde se observa que a área com presença de cascalho a menos de 1,0 m, áreas menos econômicas de serem drenadas, cobre uma área não maior que 10% e está localizada principalmente nas partes altas, coincidindo com a transição entre solos 37 SBC e os demais da série 37. Aproximadamente 35% da área apresentam o cascalho a mais de 2m de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM NETO, M. da S. **Informações meteorológicas dos campos experimentais de Bebedouro e Mandacaru.** Petrolina, PE : EMBRAPA-CPATSA, 1989. 65p.
- BEERS, W.F.J. van. **Some nomographs for the calculation of drain spacings.** Wageningen : ILRI, 1965. 48p. (ILRI. Bulletin, 8).
- BOWER, H.; JACKSON, R.D. Determining soil properties. In : SCHILFGAARDE, J. van. **Drainage for agriculture.** Madison, Wisconsin : American Society of Agronomy. 1974. p.611-672. (ASA. Agronomy, 17).
- DILEMAN, P.J. **Drainage design factors. 28 questions and answers.** Rome : FAO, 1980. 52p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 38).
- ESTADOS UNIDOS. Soil Conservation Service. **Drainage of agricultural land; a practical handbook for the planning, design, construction and maintenance of agricultural drainage systems.** Port Washington : Water Information Center, 1973. 430p. il.
- ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. **Drainage Manual: a water resources technical publication; a guide to integrating plant, soil and water relationships for drainage of irrigated lands.** Washington, DC, 1978. 286p. il.
- FAO (Roma, Itália). **Survey of the San Francisco river basin-Brasil; semi-detailed and surveys.** Rome, 1966. v.2, Part 2, 11 mapas, il.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics.** New York, 1980, 413p. il.
- KESSLER, J.; OOSTERBAAN, R.J. Determining hydraulic conductivity of soils. In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT (Wageningen, Netherlands). **Drainage principles and applications.** Wageningen, 1980. p. 253-296.
- MEER, W. van der. Pre-drainage research in land consolidation areas. In : INTERNATIONAL DRAINAGE WORKSHOP, 1978, Wageningen, Netherlands. **Proceedings.** Wageningen : ILRI, 1979. p. 136-149. (ILRI. Publication, 25).
- MEER, L. van der; GRAAFT, R.H.M. van der. Hydropedological survey. In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT (Wageningen, Netherlands). **Drainage principles and applications.** Wageningen : ILRI, 1980. v.3, p.113-152. (ILRI. Publication, 16).

DOC/73, CPATSA, fev./92, p.22

PEREIRA, J.M. de A.; SOUZA, R.A. de. **Mapeamento detalhado da área de Bebedouro, Petrolina, PE : relatório.** Recife, PE : SUDENE, 1967. 57p. (Brasil. SUDENE. Irrigação, 21).

RIJTEMA, P.E. **An analysis of actual evapotranspiration.** Wageningen: Institute for Land Water Management Research, 1965. 107p. (ICW Agricultural Research Report, 659).

SMEDEMA, L.K.; RYCROFT, D.W. **Land Drainage; planning and design of agricultural drainage systems.** Ithaca, N.Y : Cornell University Press, 1983. p.376p. il.

STAKMAN, W.P. Measuring soil moisture. In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT (Wageningen, Netherland). **Drainage principles and applications; surveys and investigations.** 2.ed. Wageningen, 1980. v.3, p.221-251. (ILRI. Publications, 16).

VALDIVIESO SALAZAR, C.R.; CORDEIRO, G.G.; PONTES, P.D. Drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Bebedouro. I: Estudo do lençol freático. In : CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., 1986, Brasília, DF. **Anais.** Brasília : ABID, 1986. v.2, p.621-643. E em (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 62).

Tiragem: 1.000 exemplares

Impressão: CPATSA

Petrolina, 1992