

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PARAMETRIZAÇÃO DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR SULCO

Por

MARCELO RANGEL MOTA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL

FEVEREIRO - 1979



M917p Mota, Marcelo Rangel.
Parametrização do método de irrigação por sulco /
Marcelo Rangel Mota. - Campina Grande, 1979.
82 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade
Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1979.
"Orientação : Prof. Hamilton Medeiros de Azevedo, Prof.
M.Sc. Maurício Bernardes Coelho".
Referências.

1. Métodos de Irrigação. 2. Irrigação por Sulcos. 3.
Irrigação - Manejo. 4. Dissertação - Ciências. I. Azevedo,
Hamilton Medeiros de. II. Coelho, Maurício Bernardes. III.
Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV.
Título

CDU 626.84(043)

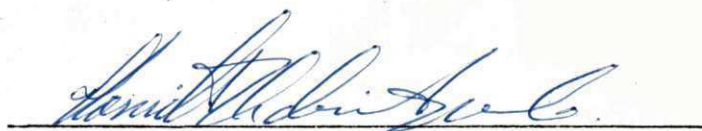
PARAMETRIZAÇÃO DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR SULCO

MARCELO RANGEL MOTA

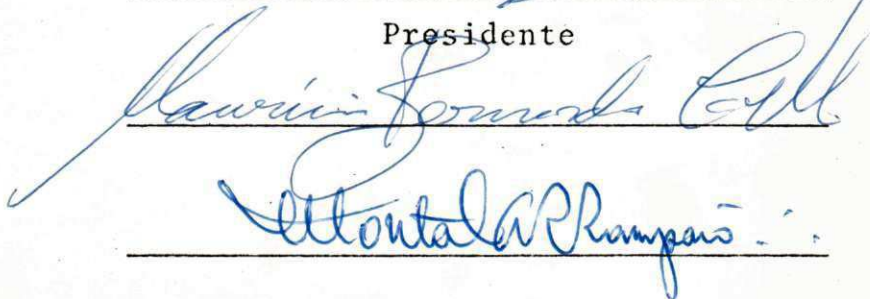
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRA
MAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MES
TRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovado por:

COMISSÃO



Presidente



CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL

FEVEREIRO - 1979

PARA

VILMA LÚCIA DE VASCONCELOS LIMA

A G R A D E C I M E N T O S

O autor agradece:

Ao Professor Hamilton Medeiros de Azevedo, Coordenador do Curso de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, e ao M.Sc. Maurício Bernardes Coelho do Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Semi-Árido, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATSA/EMBRAPA), pela orientação, estímulo e colaboração, sem os quais a realização deste trabalho seria impossível.

Ao Chefe do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Professor Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio, por sua valiosa ajuda na redação e correção da dissertação.

Ao Dr. Agustin A. Millar da FAO/PNUD, pela idealização e sugestões deste trabalho.

Ao Diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPTSA/EMBRAPA), Renival Alves de Souza, pelo apoio e incentivo dado ao autor para elaboração de sua tese.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Hércules Hercuergus Sobreira de Almeida e Jeconias Dantas Costa, pela eficiente datilografia deste trabalho, como também à Sra. Rivanilda Diniz Sobreira de Almeida, pela colaboração de correção deste trabalho.

Finalmente aos professores, colegas de turma, funcionários do Centro e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

R E S U M O

O presente trabalho teve como objetivo principal promover uma metodologia de análise e representação de dados de pesquisa sobre os parâmetros do método de irrigação por sulcos, o qual permite definir de maneira rápida no campo os dados básicos para o manejo da irrigação a nível de parcela.

Os trabalhos foram desenvolvidos em um latosol 37 BB oxisol da Estação Experimental do Projeto de Irrigação de Bebedouro, pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA/EMBRAPA) em Petrolina, Estado de Pernambuco.

Para a realização desta metodologia descreveu-se: a Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente, Densidade Aparente, Curva de Retenção de Umidade, Curva de Infiltração do Solo a 50% de Água Disponível, Perfil de Ume

decimento do Solo, Curvas de Avanço para as Declividades de 0,23%; 0,43% e 0,66% com as vazões de 0,5; 1,0; 2,0 e 2,8 l/s, 0,5; 0,75; 1,0 e 1,5 l/s e 0,5; 0,75; 1,0 e 1,3 l/s respectivamente.

A análise dos resultados demonstrou que a maior eficiência para a vazão-declividade para este solo é de 1,0 l/s para 0,23%; 0,75 l/s para 0,43% e 0,5 l/s para 0,66%. A Capacidade de Campo e Ponto de Murcha permanente foi analisada para responder à pergunta: qual a quantidade de água a aplicar. Os gráficos feitos para o uso do extensionista nos informam qual a quantidade a ser aplicada e como será feita esta aplicação. O uso dos nomogramas sequencialmente tomou como base a profundidade efetiva do sistema radicular em função do ciclo fenológico, a lâmina líquida de água no solo a uma determinada profundidade, a vazão mais eficiente em função da declividade, a eficiência de aplicação para diferentes combinações de vazão-declividade em função do comprimento dos sulcos e o tempo de irrigação em função da lâmina bruta e comprimento dos sulcos. Esta metodologia pode ser extrapolada e pode ser usada também em outros solos.

A B S T R A C T

The present study had as its main purpose to promote analytical methodology and research data representation over the parameters of furrow irrigation which allow us to define in a quick way in the field, the basic data for the handling of the irrigation to the level of fractions.

The work was developed in an oxisol of the Experimental Station of the Irrigation Project in Bebedouro, belonging to the Research Center in Agriculture and Cattle Raising in the Semi-Arid Tropic, (CPATSA/EMBRAPA) in Petrolina, State of Pernambuco.

In developing this methodology we described: The Field Capacity, Permanent Wilting Point, Apparent Density, Water Retention Curve, Soil Infiltration Curve at 50% of Available Water, Outline of Soil Humidity, Advance Curves for the slopes of 0,23%; 0,43 and 0,66% with the outflow of 0,5, 1,0, 2,0 and 2,8 litres/sec, 0,5 0,75, 1,0 and 1,5 litres/sec, and 0,5 0,75, 1,0 and 1,3 litres/sec respectively.

The analysis of the results has shown that the greater efficiency for the outflow slope for this soil is 1,0 l/sec for, 0,23%; 0,75 l/sec for 0,43% and 0,5 l/sec for 0,66%. The field capacity and the permanent wilting point were analysed to answer the question, what's the amount of water to be used. The graphs have been drawn for the use of extension workers in order to find out amount of water to be applied and its application. The use of nomograms, had as basis, the effective depth of the root system as a function of the phenological cycle the liquid blade of water in the soil at certain depth, the most efficient outflow in relations to the slope, the efficiency of the applications for different combinations of outflow slope in relation to the length of the furrows and the irrigation time as a function of the brute blade and the length of the furrows, respectively.

This methodology may extended and used in other soils.

Í N D I C E

	Página
	DEDICATÓRIA i
	AGRADECIMENTO ii
	RESUMO iv
	ABSTRACT vi
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO 1
CAPÍTULO II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
	Irrigação por sulcos 3
	Declividade 4
	Vazão 6
	Comprimento do sulco 9
	Curva de avanço 11
	Curva de recessão 15
	Curva de infiltração 16
	Espaçamento 22
	Eficiência 23
	Profundidade de irrigação 27
	Efeitos da umidade do solo sobre os cultivos em geral 29
CAPÍTULO III	MATERIAIS E MÉTODOS 32
	Descrição do local 32
	Preparo da área 33
	Vazões utilizadas 34

	Página
Curva de avanço	35
Curva de infiltração	36
Profundidade de irrigação	37
Infiltração lateral no solo	38
Propriedades físico-hídricas do solo	38
Eficiência	39
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
Profundidade de irrigação	42
Lâmina líquida de irrigação	42
Vazões e eficiência de aplicação	45
Testes de avanço	47
Eficiência de aplicação e lâmina bruta de irrigação	49
Tempo de irrigação	51
Exemplo de uso da informação	55
CAPÍTULO V	
CONCLUSÕES	57
BIBLIOGRAFIA	59
APÊNDICE	69

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Considerando a preocupação da humanidade em produzir alimentos em grande escala para atender a demanda populacional sempre crescente, tem sido realizada nesses últimos anos verdadeira corrida mundial com o fim de melhorar o rendimento dos ecossistemas agrícolas.

O desenvolvimento e progresso alcançado sobre o manejo do complexo solo-água-planta vem oferecendo ao homem subsídios técnicos altamente eficientes no sentido de conservar ou aumentar o potencial produtivo dos recursos naturais.

Cerca de 18% da área terrestre do planeta são constituídos de regiões áridas ou semi-áridas, que através da irrigação e drenagem podem conduzir a bons índices de pro

atividade. Convém não esquecer, todavia, que a utilização inadequada da irrigação pode redundar em reveses sérios, como a lixiviação de nutrientes, salinização proveniente da elevação do lençol freático, déficit hídrico para as culturas e muitos outros problemas.

Inegavelmente, a irrigação é uma das técnicas agrícolas de maior importância nas regiões de baixas precipitações pluviométricas, que, quando utilizada com as práticas mais adequadas, traz grandes benefícios à agricultura; uma vez que se pode contar com adequadas disponibilidades de água para os cultivos, o que se transforma em uma garantia de rendimentos e rentabilidade às atividades rurais.

Nas regiões áridas e semi-áridas do Nordeste do Brasil, onde a água é fator limitante, para o incremento da produtividade, o conhecimento e a facilidade no uso dos parâmetros de irrigação serão de grande utilidade na aplicação eficiente de água às culturas.

Considerando que o método de irrigação por sulcos constitui sem dúvida o processo de aplicação de água mais usado no país, procurou-se no presente trabalho proporcionar à assistência técnica um meio rápido, simples e seguro para responder às perguntas do agricultor sobre o manejo da irrigação por sulco.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A irrigação se define como a aplicação artificial de água ao solo com a finalidade de suprir as espécies vegetais de umidade necessária para o seu desenvolvimento. (Israelsen e Hansen, 1965).

Para Canales (1976), os métodos de irrigação são classificados de acordo com a maneira de aplicar a água, em superficiais, subterrâneos e aéreos. A irrigação por sulcos é a mais utilizada nos projetos de irrigação do Nordeste, Millar et alii (s.d.) e em todo o mundo em geral. (Daker, 1970).

Os parâmetros mais importantes que caracterizam o método de irrigação por sulco são: declividade, vazão,

comprimento do sulco, curva de avanço, curva de recessão, taxa de infiltração, tempo de irrigação, espaçamento, eficiência, profundidade de irrigação e teor de umidade no solo.

01. DECLIVIDADE

Segundo Daker (1970) a declividade está associada com a natureza do solo, com o comprimento do sulco e a quantidade de água a ser aplicada em cada sulco. Até certos limites, quanto mais argiloso for o solo, menor o sulco e quanto maior a quantidade de água aplicada, menor deve ser a declividade.

De acordo com Zimmerman (1975), um declive constante ou que aumente gradualmente, seria a forma ideal para uma distribuição uniforme da água.

Canales (1976) concluiu que, quanto menor o declive no sulco, mais eficiente é a irrigação produzindo uma infiltração mais uniforme.

Israelsen e Hansen (1965) afirmam que em solos nos quais os sulcos têm declividade de 10 a 15%, se utiliza com êxito a irrigação, permitindo somente pequenos volumes e observando atentamente a erosão que se produz. Entretanto, declives de 0,5 a 3% são os melhores. Ainda em alguns tipos de solo se irriga com bastante eficiência com declives nos sulcos de 3 a 6%.

Daker (1970) indica que para sulcos limpos de vegetação, para se poder aplicar maiores vazões em cada sulco, sua declividade deve ir somente de 0,1 a 0,3%. Aplicando-se menores vazões e tendo-se o cuidado de evitar a erosão, os sulcos podem ter a declividade de até 1,5%.

Conforme Hill (1974), o declive máximo que se pode usar satisfatoriamente, deve ser menor que o mínimo de declive capaz de produzir arrastos que prejudiquem os sulcos.

Ayres (1960) explica que o declive afeta o movimento da água, imprimindo-lhe velocidade de acordo com a lei da queda dos corpos, que é modificada segundo as condições do meio ambiente. Segundo a lei da queda dos corpos a velocidade varia com a raiz quadrada da altura. Em declive se calcula a velocidade medindo a diferença do nível de 2 pontos considerados ou diferença total dividida pela distância entre eles; o resultado sai em m/m. Deste modo, se o declive é 4 vezes maior, a velocidade é o dobro, se a velocidade é dobrada, a capacidade de erosão ou desgastes que é representada pela energia cinética, fica quadruplicada. Já a quantidade de material arrastado é 32 vezes maior enquanto o tamanho das partículas que podem ser conduzidas por empuxe ou rolamento, é 64 vezes maior.

Segundo Neal, citado por Rocha (1977), solos com pendentes menores que 10% têm demonstrado que, quando se duplica o grau de inclinação, duplicam-se as perdas de solo por erosão.

O aumento de declividade diminui a infiltração, conforme Mech (1960) citado por Azevedo (1975), em suas experiências aumentou a declividade do solo de 2% para 7%, o que produziu uma redução na infiltração acumulada de 32%. Por outro lado, não foi encontrada influência na infiltração, quando a inclinação do sulco foi aumentada de 0,5 para 1,5% nos trabalhos realizados por Collins e Campbell (1967).

02. VAZÃO

Segundo Daker (1970), de modo geral, é sempre conveniente aplicar inicialmente em cada sulco (vazão inicial) a vazão máxima que não cause erosão, a fim de que a água atinja o mais depressa possível o final do sulco, umedecendo-o todo. Feito isso, deve-se reduzir a corrente líquida (vazão reduzida) o suficiente para que o sulco se mantenha coberto por uma lâmina de água em toda a sua extensão, e com o mínimo de perda na parte final, até que o solo esteja convenientemente suprido de água.

Já que a velocidade de infiltração decresce exponencialmente em função do tempo, o ideal seria utilizar vazões decrescentes para evitar perdas excessivas no final do sulco. Entretanto, constatou-se na prática que a simples redução em 1/3 ou 2/3 da vazão máxima não erosiva reduz

suficientemente as perdas no final do sulco, obtendo-se eficiências aceitáveis (Ollita, 1977).

Criddle et alii citados por Grassi (1968) nos fornecem uma equação para calcular o caudal máximo não erosivo (Q_{\max}) em l/s, em função da declividade em percentagem (S).

$$Q_{\max} = \frac{0,632}{S}$$

Millar et alii (s.d.) acharam para declividades de 0,15 a 0,45% uma boa aceitação da fórmula, sendo que para o declive de 0,25% encontraram a coincidência entre a máxima vazão calculada e a observada.

A vazão para fins de irrigação por sulcos depende da velocidade da água, e sendo:

$$Q = V.A.$$

sendo: Q a vazão,
V a velocidade
A a área

Analisando-se V (velocidade), na equação de Manning citada por Neves (1974),

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} I^{1/2}$$

onde: n é o coeficiente de rugosidade
 R o raio hidráulico
 V a velocidade d'água no sulco

Observa-se que, à medida que diminui o declive, menor é a velocidade da água. Com relação ao raio hidráulico ocorre o mesmo critério ou seja, num sulco mais largo a velocidade é menor, já que $R = A/P$. Quando se aumenta de "P" (perímetro) ou diminui "A" (área) tem-se então um decréscimo de "R". Relativo à rugosidade representada pela letra "n", tem-se que, quanto maior "n", menor será a relação $\frac{1}{n}$, o que resultará em uma velocidade também menor.

Em síntese, a vazão que um sulco pode conduzir, dependerá da seção transversal e suas características hidráulicas, levando-se em conta a velocidade da água determinada pela pendente do sulco.

A fórmula de Manning pode ser usada quando a declividade do canal, sulco ou rio não for maior que 10%, condições em que o comprimento real não difere substancialmente da distância horizontal. (Linsley, 1978).

Outro parâmetro que deve ser analisado é a força erosiva que é expressa pela seguinte equação (Grassi, 1975):

$$Fe = \gamma . H . S.$$

onde: Fe = força erosiva da água em kg/cm^3

γ = peso específico da água em kg/cm^3

H = altura da água dentro do sulco em m

S = declividade (adimensional).

03. COMPRIMENTO DO SULCO

O comprimento a ser dado aos sulcos de rega depende da natureza do solo, incluindo sua resistência à erosão, a capacidade de drenagem, de sua declividade e do volume de água a ser aplicado (Daker, 1970).

Montenegro (1970) define comprimento de sulco como a maior distância na qual a velocidade máxima permissível favoreça a distribuição uniforme de água no solo.

De acordo com Israelsen e Hansen (1965), o comprimento dos sulcos varia desde 30 m ou menos até 400 m em cultivos extensivos. Os comprimentos mais frequentes estão compreendidos entre 90 e 150 m. Quando se usam sulcos demasiadamente longos, produzem-se perdas excessivas por percolação profunda e erosão nas cabeceiras.

Em fortes declives, segundo Zimmerman (1975), deve-se permitir sulcos de grande comprimento, porque se perde muita água por escoamento superficial em um sulco de pouco comprimento e muito inclinado.

De um modo geral, para se ter uma boa distribuição de água aconselha-se a ter sulcos menores em solos arenosos (com alta capacidade de infiltração) e sulcos maio

res em solos pesados, de baixa capacidade de infiltração e de drenagem livre. (Daker, 1970). Este pesquisador ainda a apresenta uma maneira de se determinar o comprimento do sulco que consiste em fornecer a vazão máxima não erosiva na cabeceira e verificar a distância alcançada após 1/4 de tempo requerido para a aplicação do volume de água necessária à irrigação. Esta distância alcançada seria o comprimento ideal de sulco

Criddle et alii (1956) citados por Grassi (1975) elaboraram uma fórmula usando uma vazão máxima não erosiva:

$$L = P \left(\frac{T_2}{4} \right)^r$$

onde: L = comprimento do sulco
P e r = parâmetro da curva de avanço
T₂ = tempo de infiltração

Palacios (s.d.) deduziu outra equação para obter o comprimento dos sulcos.

$$L = \frac{F \cdot Fn \cdot 0,5}{S^{0,555}}$$

onde: Log K = 2,52 - 0,2 I 1
L = comprimento do sulco em pés

F_n = lâmina de aplicação líquida em polegadas

S = declive do sulco

K = constante que depende da infiltração básica

I_1 = infiltração básica em polegadas por hora.

04. CURVA DE AVANÇO

A representação gráfica da distância percorrida pela água em função do tempo denomina-se curva de avanço. O decréscimo da velocidade de avanço que se observa, é independente dos fatores hidráulicos e deve-se à diminuição da vazão com a distância.

Segundo Hoces (1971) citado por Azevedo (1975), os fatores que exercem influência sobre o avanço da água são: rugosidade do sulco, declividade, raio hidráulico, vazão e profundidade do fluxo.

Criddle et alii (1956) citados por Azevedo (1975) indicam que as características de infiltração do solo e da água de infiltração também exercem influência sobre o avanço da frente de água.

Vários autores estão de acordo em que o avanço da frente de água é uma função exponencial da variável tempo. (Grassi, 1975):

$$x = p t^r$$

onde: x = é a distância percorrida
 p = é uma função específica da curva de avanço
 t = é o tempo de avanço
 r = é um expoente específico da função
 $(0 < r < 1)$.

Analisando o significado físico de p e de r , Nugtereng (1969), citado por Grassi (1975), encontrou que "p" é uma constante empírica que depende do declive, da vazão, das características hidráulicas do fluxo e da aspereza da superfície, enquanto que "r" está relacionado com as características físicas do solo e é expresso em função da infiltração.

Com dados obtidos por Criddle, Wanji e Nugtereng, citados por Grassi (1971) encontraram que para vazões praticamente aceitáveis, "x" é proporcional a Q.

$$X = u Q t^r$$

Em uma expressão mais geral

$$X = u Q^s t^r$$

onde o s varia provavelmente entre 0,8 e 1,0 de acordo com Viermont (1971), e r na equação depende principalmente do declive e outros fatores como aspereza e características hidráulicas do fluxo.

Hall e Davis, citados por Azevedo (1975), apresentaram a seguinte equação:

$$x_i = \frac{Q \cdot \Delta t - 1/2 F \cdot a (\Delta t)^n \cdot g_i \Delta x_i + g_i - 1 \Delta x_2 + \dots + g_2 \Delta x_{i-1}}{F \cdot a (\Delta t)^n K + C d_0^2 + e}$$

onde: Q é a vazão (m^3/min); t é o tempo em minutos, F é o fator de correlação, a é uma constante obtida da equação de infiltração, d_0^2 é a profundidade da água no sulco (m), " K " e " C " são constantes empíricas, $g_i = i^n - (i - 2)^n$, para $i = 2$ e " e " a água retida na superfície.

Grassi et alii, citados por Azevedo (1975), deduziram uma equação racional através de análise dimensional.

$$D = \frac{K}{I p} \cdot Q^{1,722} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot t e^{0,722}$$

onde: D é o comprimento do sulco percorrido pela água no tempo t
 K um coeficiente.

Q a vazão

R o raio hidráulico

S_o a declividade do sulco

t_e é o tempo de escoamento

I_p a infiltração.

Grassi et alii (1975) correlacionaram o processo de avanço da frente de água com a infiltração,

$$X = \frac{Q t}{(\bar{D} + \bar{I}_{\text{acum}})^W}$$

sendo: X a distância percorrida pela frente de água no tempo t

W a unidade de largura da melga ou espaçamento entre os sulcos

\bar{D} a lâmina média de água que flui na superfície no tempo t

\bar{I} é a lâmina média de água infiltrada ao longo do comprimento molhado no tempo t

Q é a vazão gasta

t tempo de aplicação de água.

Vários pesquisadores têm desenvolvido métodos relativamente fáceis para medir a velocidade de avanço da água no sulco. Todos os métodos empregam a lei da conserva

ção das massas ou o princípio do balanço de volume. Fok e Bishop (1965) citados por Azevedo (1975).

Linderman (1968) acrescenta que o volume total de água escoado em sulcos durante um período dado de tempo, deve ser igual ao volume de infiltração mais a variação do volume no armazenamento superficial.

05. CURVA DE RECESSÃO

De toda a bibliografia consultada, nota-se que os autores fazem pequenas considerações ou nenhuma sobre este fenômeno.

Gray citado por Azevedo (1975), trabalhando em condições de campo, encontrou que a curva de recessão tem a forma de "S". A forma aplainada da curva no final do sulco, quando a vazão é cortada, é devida a maior velocidade de infiltração no final do sulco, do que no início desta.

Chen, também citado por Azevedo (1975), expressa a velocidade de recessão mediante um método de integração numérica similar ao método desenvolvido por Hall para a velocidade de avanço. Entretanto, o método de Chen não se ajusta aos resultados de campo.

A curva de recessão é o oposto da curva de avanço e portanto tende a favorecer o tempo de contato no fim da parcela (Grassi, 1975).

Palacios (s.d.) determina a curva de recessão

da seguinte maneira: no campo toma-se um sulco estaqueado de 10 em 10 metros, depois de feita a curva de avanço, e logo que a água é cortada anotam-se os tempos em que a mesma deixa de escorrer em cada estaca, traçando-se assim a curva de recessão.

Michael (1972) afirmou que a função de recessão pode ser expressa da seguinte forma: $x = st^c$ onde x é a distância ao longo do sulco, s e c constantes empíricas e t é o tempo.

06. CURVA DE INFILTRAÇÃO

Segundo Richards (1952), a velocidade ou capacidade de infiltração de um solo foi definida como sendo a velocidade máxima na qual um solo em determinado tempo e condições pode absorver a água.

Quantitativamente, a velocidade de infiltração é definida como a lâmina d'água que penetra no solo por unidade de tempo.

Hillel (1970) enumerou diversos fatores que afetam o regime de infiltração:

a) Umidade inicial do solo.

b) Condutividade hidráulica. Quanto mais alto for a condutividade hidráulica do solo em condições de saturação

ração, tanto mais elevada deverá ser o regime de infiltração.

c) Condições da superfície do solo. Quando a superfície do solo é muito porosa e com estrutura aberta, a infiltração inicial é maior do que a observada em um solo uniforme, mas a infiltração final permanece inalterada, pois ela é determinada pela condutividade mais baixa da zona de transição. Por outro lado se a superfície do solo se encontra compactada, estando o perfil coberto por uma crosta de baixa condutividade, o regime de infiltração é menor do que o do solo uniforme e sem crosta, isto porque a crosta atua como uma barreira hidráulica ou gargalo, dificultando a infiltração. Este efeito é tão mais pronunciado quanto mais espessa for a camada compactada, e exerce efeito tanto sobre o regime inicial como sobre o regime final de infiltração.

d) Presença de camadas impermeáveis dentro do perfil. Se estiverem presentes no seio do perfil camadas de textura ou de estrutura diversas no solo que está acima delas, pode o movimento da água ser retardado durante a infiltração.

Jorge (1969) menciona a importância de um solo que possui elevada porosidade e que possibilita fácil

penetração de água, e, portanto alta velocidade de infiltração.

Gardner (1960) afirma que a condutividade hidráulica decresce com a diminuição da sucção matricial.

Browning citado por Montenegro (1976) admite a grande importância da expansibilidade dos solos na velocidade de infiltração, dada a relação que estas características têm com a distribuição do tamanho dos poros.

Ainda citado por Montenegro (1976), Bearson et alii estudaram os efeitos do pisoteio sobre a velocidade de infiltração de um solo cultivado com pastagem e verificaram uma redução na velocidade de infiltração de 2 cm por hora para 0,3 cm/hora após 6 meses de pisoteio.

Gavande (1972) encontrou que normalmente os solos arenosos são mais permeáveis que os argilosos e limosos, mas se os últimos são bem agregados, a água pode penetrar com maior facilidade que nas areias. Os solos bem estruturados, com um tamanho apropriado de agregados têm uma boa velocidade de infiltração inicial e não se reduzem a um valor muito baixo quando se molham. As unidades estruturais são granulosas e duras e não se incham nem se des~~troem~~ troem quando molhadas.

Inúmeras fórmulas foram desenvolvidas para expressarem este fenômeno físico, como a de Horton (1939) citado por Baver et alii (1972):

$$i = i_f + (i_0 - i_f) \exp(-\beta t)$$

$$I = i_f \cdot t + \left(\frac{i_0 - i_f}{\beta} \right) (1 - \exp(-\beta t))$$

onde: i - velocidade de infiltração
 I - infiltração acumulado

i_f - infiltração básica ou final

i_0 - infiltração inicial no tempo $t = 0$

β - parâmetro do solo em função da diminuição da velocidade de infiltração

t - tempo

A equação de Green e Ampt (1911) citados por Baver et alii (1972) é a seguinte:

$$L = -L \ln \left(\frac{1 + L}{\phi L} \right) = \frac{K T}{f}$$

onde: L - profundidade da frente de molhamento

ϕL - potencial matricial na frente de molhamento

K - é a permeabilidade do solo

T - tempo

f - a porosidade do solo

Equação de Philip (1959) citado por Gavande (1972).

$$I = 1/2 C t^m + A$$

Encontrou $m = \frac{1}{2}$ para solos uniformes e homogêneos com temperaturas constantes.

I - a velocidade de infiltração

t - tempo

C - parâmetro do solo em função da sucção inicial

A - chamou de transmissibilidade

Equação de Kostiaikov (1932) citado por Baver et alii (1972).

$$D = K T^a$$

onde: D - infiltração acumulada depois do tempo T

K e a, são constante características do solo.

De acordo com Phillip (1956) citado por Azevedo (1975), para fins de projeto, a equação de Kostiaikov é razoavelmente exata para o período de tempo da maioria das irrigações. Nas irrigações demoradas a velocidade de infil

tração aproxima-se de um valor constante conhecido como velocidade de infiltração básica. Para esta condição Cristiansen citado por Azevedo (1975), sugere o uso da seguinte equação:

$$I = K' + KT^{-n},$$

onde: K' é a velocidade de infiltração quando T cresce infinitamente, ou infiltração básica

K e n - constantes características do solo
 T tempo

Millar (1975), realizando testes com cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro e sulco (entrada e saída) verificou que a equação de infiltração acumulada apresentou maior coeficiência de correlação que a equação instantânea. No caso do uso do cilindro infiltrômetro é o que dá resultados mais semelhantes à informação de campo, quando da equação acumulada se tira a equação instantânea.

Marshall e Stirk, citados por Montenegro (1975), estudaram a velocidade de infiltração com cilindros variando de 30 a 300 cm de diâmetro e um infiltrômetro de aspersão para comparar os dados coletados. Os dados obtidos, tauto pelo infiltrômetro de aspersão como pelos cilindros, de

ram resultados que caracterizavam bem o fenômeno no campo.

07. TEMPO DE IRRIGAÇÃO

Para Grassi (1975), quando se faz a irrigação de superfície em terrenos com declives, a operação total deve ser dividida em três períodos: 1º) período de avanço de água ou período de molhamento; 2º) um período durante o qual o total comprimento do sulco está coberto com água e sujeito à infiltração; 3º) um período de recesso durante o qual um decrescente comprimento de sulco está coberto de água.

Para Criddle et alii (1956), Bishop (1961), Grassi et alii (1965), citados por Millar (s.d.), o tempo de irrigação, quando se irriga por sulcos, é igual ao somatório do tempo de infiltração (T_i) e o tempo de avanço que é o tempo que leva a água para atingir o final do sulco (T_a).

08. ESPAÇAMENTO

Booher (1974) menciona a importância da cultura, do tipo de maquinaria usada para tratos culturais e do modelo de distribuição lateral da água no solo, para se estimar o espaçamento.

Para Ollita (1977), o valor do espaçamento dos sulcos pode ser a largura do movimento lateral da água

no sulco, o perímetro molhado, a largura da água no sulco ou o espaçamento dos sulcos, dependendo do processo utilizado na determinação da equação de infiltração.

O movimento lateral da água, em solos de perfil uniforme depende principalmente da textura. Com base puramente em critérios edáficos, o espaçamento dos sulcos deve ser menor em solos arenosos do que em solos de textura mais fina (Ollita, 1977).

Booher (1974) cita que em solos com perfil não uniforme, a água tem em geral grande movimento lateral.

Millar e Boers (1975), encontraram que a infiltração lateral dos vertissolos é aproximadamente 1,8 vezes a infiltração vertical.

Ainda Boers e Millar em (1974) mostram que a infiltração lateral para solo aluvião não chegou a 20 cm.

09. EFICIÊNCIA

Quando se planeja, desenha ou opera um sistema de irrigação, constitui um problema fundamental decidir que eficiência de uso de água deve utilizar-se para os cálculos (Bos, 1976).

Para Daker (1970), a eficiência de irrigação é a relação entre o volume de água realmente utilizado pela planta e o volume extraído da fonte de suprimento. Ela pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$E_i = \frac{W_c}{W_r} \times 100$$

onde: E_i é eficiência de irrigação
 W_c é a quantidade de água de irrigação realmente consumida pela planta e
 W_r é a quantidade de água retirada da fonte de suprimento.

A eficiência de irrigação de um projeto é dividida em várias fases, sendo que em cada uma delas existe uma eficiência correspondente. Assim sendo, pode-se expressar a eficiência de irrigação através da seguinte expressão (Oliver citado por Nogueira, 1976):

$$E_i = E_c \times E_a$$

onde: E_i é a eficiência total
 E_c é a eficiência de condução
 E_a é a eficiência de aplicação.

Rocha (1977) estimou que a eficiência de irrigação na maioria dos projetos varia de 10 a 50% numa média de 30%.

Observou Montenegro (1970) que esta eficiência representa, até certo ponto, a habilidade do irrigante

distribuir a água no momento da irrigação para uma melhor absorção das raízes.

De acordo com Israelsen e Hansen (1965), o conceito de rendimento de aplicação de água surgiu da necessidade de fixar a atenção e medir o rendimento com que a água aplicada era armazenada na zona radicular, de maneira que possa ser utilizada pelas plantas, o que pode ser medido pela seguinte equação:

$$E a = 100 \times \frac{W s}{W T}$$

onde: E a é o rendimento da água aplicada
 W s é a água armazenada na zona radicular durante a irrigação
 W T é a água de irrigação entregue à parcela.

Segundo Israelsen e Hansen (1965), baixas eficiências de aplicação são comuns, encontrando-se com bastante frequência eficiências de aplicações menores que 20%.

Os processos que influem nestes resultados são: evaporação, percolação profunda e escoamento superficial.

A - Evaporação

Poirce e Olliver, citados por Nogueira (1976),

afirmam que a perda por evaporação tem em geral pouca importância em relação à perda por infiltração. Eles estimam que, no máximo, a perda por evaporação é 10% da perda por infiltração, em termo médio 2 a 5%, por isso ela é frequentemente desprezível.

Grassi, citado por Nogueira (1976), afirma que a perda por evaporação tem pouca importância em virtude da reduzida área de exposição nos sistemas de condução e da relação área e volume conduzido.

B - Perda por percolação profunda

De acordo com Tsutsui (1972), a percolação varia com a textura do solo e o nível do lençol freático.

Herrera (1955) menciona o efeito prejudicial da percolação no esgotamento do solo por lavagem dos elementos nutritivos.

Segundo Lopes (1955), a perda por percolação profunda seria eliminada, se a irrigação fosse insuficiente. Isto traria o inconveniente de não satisfazer a condição básica de reter ao solo toda a água utilizada nas zonas das raízes.

Criddle, citado por Lopes (1970), afirma que se o tempo de avanço é $1/4$ do tempo total de irrigação, a percolação pode ser reduzida a um valor mínimo.

C - Perda por escoamento superficial

A perda de água no final do sulco denomina-se escoamento superficial e foi estimada por Vieira (1972) em 31%.

Segundo Grassi (1975), a perda por escoamento superficial pode ser atenuada com a redução da vazão inicial após a água atingir o final do sulco.

10. PROFUNDIDADE DE IRRIGAÇÃO

Ao se planejar uma irrigação, mister se faz determinar o volume de água que o solo pode reter. A quantidade de água no solo disponível ao crescimento da planta em um dado momento, é a diferença entre o seu conteúdo de água nesse momento, considerando até a profundidade do sistema radicular, e a sua umidade de murchamento (Daker, 1970).

Grassi (1975) sugere que um procedimento recomendável é dividir a profundidade de enraizamento em faixas que coincidam com a quantidade das amostras de raízes retiradas do solo e expressar a água extraída em cada faixa em porcentagem.

De acordo com Janick (1966), a taxa de extração da água do solo depende da concentração das raízes e, conseqüentemente diminui com a profundidade das zonas radiculares. Cerca de 40% da água total é extraída do quarto su

perior da zona de raízes, 30% do segundo quarto, 20% do terceiro e 10% do quarto inferior. Conseqüentemente sob condições de plena transpiração, a quantidade de água será insuficiente para o crescimento máximo, quando a parte superior da zona de raízes se encontra esgotada.

Sob o ponto de vista de extração de água pelas raízes, Thorne (1975) afirma que esta é sem dúvida maior nas primeiras camadas.

Grassi (1975) observou que as espécies vegetais de regiões secas apresentam um grau de desenvolvimento radicular muito mais profundo que as de regiões úmidas.

De acordo com Gavande (1972), as raízes penetram facilmente em solos bem granulados e de forma lenta e com dificuldade em solos finos e compostos.

Demelon (1972) acrescenta que a massa do sistema radicular se desenvolve à medida que cresce a umidade, até um ponto ótimo, para depois regredir devido provavelmente à insuficiência de aeração.

Taylor e Gardner em 1963, citados por Forsythe (s.d.), relacionaram a densidade aparente versus penetração das raízes e observaram uma correlação de 0,56, o que demonstra que 56% da penetração das raízes é influenciada pela densidade aparente.

Ede (1964) verificou que em alguns cultivos a aplicação repetida de pequenas quantidades de água pode estimular a produção do sistema radicular.

Israelsen e Hansen (1965) indicam que os cultivos de sistema radicular superficial requerem irrigações frequentes e, portanto, menos profundos que aqueles cujas raízes são mais desenvolvidas.

Para Bear (1965), em geral um conteúdo relativamente baixo de umidade na camada superficial do solo durante as primeiras fases de crescimento favorece a formação de um sistema radicular bem desenvolvido. Observou também que a alfafa, com sua raiz pivotante, resiste à seca muito melhor que os trevos com raízes superficiais.

As raízes necessitam de espaços para crescer Veihmeyer e Handrickson (1948). citados por Thorne (1975), observaram que a compactação do solo até que todos os poros se tornassem muito pequenos, diminuiu o desenvolvimento das raízes.

Millar (s.d.) acrescenta que também a profundidade do sistema radicular varia com o ciclo fenológico da cultura.

11. EFEITOS DA UMIDADE DO SOLO SOBRE OS CULTIVOS EM GERAL

A influência da umidade no desenvolvimento dos cultivos é um ponto de natureza contraditória, pelo fato de entrarem em jogo inúmeras variáveis do solo e da planta.

Monis et alii (1972) citam que a maioria das evidências recaem sobre a proposição que indica que os pro

cessos de crescimento são afetados tão logo ocorra uma diminuição de conteúdo de água disponível para a planta.

Millar (1974) diz que a maioria dos cultivos requerem irrigação antes de alcançar -0,7 bar de potencial matricial.

Para Demelon (1972), o conteúdo ótimo de água no solo para a maioria das culturas varia de 60 a 80% da água disponível. Já para Gros (1971), deve-se irrigar quando os cultivos em geral atingirem 70% da quantidade de água retida no solo.

A sucção máxima que devem apresentar os cultivos de hortaliças em geral, é de -1 bar, isto em experiências realizadas por Forsythe (s.d.).

Hagan, Vaadia e Russel (1959) constataram que a maioria dos cultivos sofrem uma redução sensível na velocidade de crescimento, quando a umidade do solo vai abaixo de 50% da água disponível.

De acordo com Monis et alii (1972), um déficit hídrico relativo corresponde geralmente a uma taxa de crescimento e rendimento máximo que pode ser obtido quando se regam os cultivos com um potencial de umidade antes do correspondente ponto de murcha.

Millar et alii (1975) verificaram que a tensão de 15 atmosferas como ponto de murcha permanente não é um valor preciso.

Denneade e Law (1962) citados por Grassi (1975)

demonstraram que as plantas de maior transpiração acusam dé
ficit hídrico mais facilmente que as de menor transpira
ção.

Demelon (1972) estima que em plantas de este
pes nos sucos celulares das raízes encontram-se tensões de
-19 a -22 atm o que corresponde aproximadamente ao ponto de
murcha permanente.

Vittum (1963), citado por Millar (1974), Tay
lor (1975), citado por Gavande (1972), chegaram à conclusão
de que a tensão de umidade no solo ideal para o tomate é de
0,8 a 1,5 bar.

Millar (1976) encontrou que o potencial ma
tricial para se manejar a irrigação para o máximo rendimen
to para o tomateiro é em torno de 0-0,5 bar.

Furtado (1972) menciona que o melhor nível de
umidade para o tomateiro, quando se analisam os aspectos eco
nomia de água, aumento de produção e qualidade de fruto, é
de 50% da água disponível no solo.

Segundo Grassi et alii (1967), em um solo fran
co arenoso, o melhor regime de irrigação é quando o solo es
tiver em torno de 24%, isto para os primeiros 40 centímetros,
o que corresponde à sucção de 1 bar, e para o solo franco ar
giloso o melhor regime de água é aquele em que dá um nível
mínimo de 53% da água disponível, isto também nos primeiros
40 cms.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

01. DESCRIÇÃO DO LOCAL

O presente trabalho foi realizado na Estação Experimental de Bebedouro, pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido - EMBRAPA, localizado a uma distância de 40 km do Município de Petrolina - Pe. Sua situação geográfica corresponde à latitude 9° 09' Sul e longitude 40° 22' a Oeste de Greenwich a uma altitude de 365,5m acima do nível do mar. O clima da região é classificado segundo Koeppen (1948) como estépico quente, com precipitação geralmente inferior a 750 mm/ano (B S h'W). A temperatura varia em média de 18°C a 39 °C, sendo os meses mais

frios de junho a setembro (FOOD AND AGRICULTURE, 1967). A precipitação média anual com base em 56 anos é de 400mm/ano (Hargreaves citado por Azevedo 1975) com distribuição irregular durante o ano, sendo meses mais chuvosos os primeiros e últimos do ano.

O solo onde foi realizado o trabalho, é um oxisol (latossolo 37 BB) FAO/PNUD (1971), de relevo suave, com micro-relevos característicos e depressões.

02. PREPARO DA ÁREA

A área foi submetida a uma aradura profunda e aplainamento com pranchão. O intuito desta prática foi deixar o solo o mais uniforme possível. O sulcamento foi feito em função da declividade desejada. Figura 7. As declividades foram determinadas em intervalos de 20 metros ao longo dos sulcos e foram obtidos os seguintes valores médios 0,23, 0,43 e 0,66%.

Foram feitos 4 sulcos para cada declividade, sendo dois centrais utilizados para testes e os outros, como bordadura. Com base em dados da FAO (1967) o espaçamento entre sulcos foi de 80 cm e o comprimento ficou limitado em 60 metros, devido à desuniformidade do terreno.

Os sulcos recém-preparados apresentaram a forma triangular com dimensões médias de 20 cm de altura e 63

cm de largura provenientes de 10 leituras ao acaso.

Os sulcos de testes tiveram a forma triangular com as dimensões de 61,2 cm de largura e 20,2 cm de altura, cujo desvio padrão para largura foi de 9,4 cm e para a profundidade de 2,66 cm.

As declividades dos sulcos de testes apresentaram uma boa uniformidade, conforme se pode ver pela figura 7 do apêndice.

03. VAZÕES UTILIZADAS

A água foi aplicada nos sulcos através de uma motobomba e as vazões foram reguladas através de um registro acoplado à bomba. Nos sulcos de bordadura foram usados sifões.

As vazões nos sulcos de testes foram usadas arbitrariamente, baseando-se na vazão máxima não erosiva determinada pela equação sugerida por Criddle et alii (1956) citados por Grassi (1975).

$$Q_{\max} = \frac{0,632}{S}$$

sendo: Q_{\max} - vazão máxima não erosiva em l/s

S - declividade em porcentagem.

04. CURVA DE AVANÇO

Após uma irrigação de assentamento e quando a umidade do solo estava em torno de 50% da água disponível, iniciaram-se os testes.

Foram colocadas estacas em intervalos de 10 metros ao longo do sulco e foi cronometrado o tempo gasto para a água atingir cada estaca. A primeira foi colocada a 3 metros de distância da saída da água para evitar a influência da velocidade pela força da bomba, método descrito por Queiróz et alii (1975).

Foram feitos testes nas declividades 0,23; 0,43 e 0,66% utilizando as seguintes vazões:

Declividade %	Vazões l/s
0,23	0,5 - 1,0 - 2,0 - 2,8
0,43	0,5 - 0,75 - 1,0 - 1,5
0,66	0,5 - 0,75 - 1,0 - 1,3

Os valores encontrados para as vazões de maior eficiência e máxima vazão não erosiva observada foram plotados em papel log-log. Figuras 8 e 9 do apêndice.

Os parâmetros da equação da reta foram determinados usando-se o método dos mínimos quadrados segundo Toranzos (1969).

Adotou-se a curva de avanço proposta por Grasi et alii (1975)

$$x = pT^r$$

onde x é a distância de avanço em metros no tempo T dado em minuto, p e r são parâmetros empíricos da função de avanço.

05. CURVA DE INFILTRAÇÃO

Os testes de infiltração foram feitos com cilindros infiltrômetro de acordo com procedimento de Haise et alii (1956), recomendado por Millar (1975) e Berthonde, citado por Gavande (1972). O cilindro externo não foi usado a fim de que o fluxo de água através do solo se aproximasse mais da infiltração de um sulco de irrigação (Griddle et alii, 1956).

Utilizou-se a equação empírica de infiltração acumulada apresentada por Kostiaikov citado por Baver et alii (1965):

$$D = cT^m$$

onde D é a infiltração acumulada em centímetros, c e m são parâmetros empíricos e T é o tempo transcorrido em minutos.

Derivando a equação $D = cT^m$ em função do tempo, obteve-se a equação da velocidade de infiltração.

$$I = k T^{-n}$$

I = velocidade de infiltração (cm/min)

k = m.c

n = m - 1

T = tempo em minutos

$$I = mc T^{m-1}$$

$$I = k T^{-n}$$

Os testes foram feitos dentro do sulco, com 6 repetições, quando a umidade no solo estava em torno de 50% da água disponível, a fim de que os parâmetros representassem as condições normais de manejo da irrigação.

Os dados colhidos foram plotados em papel log-log, sendo o tempo na abscissa e a infiltração acumulada na ordenada. Figura 3, do apêndice. Os parâmetros da equação da reta foram determinados estatisticamente também através do método dos mínimos quadrados, segundo Toranzos (1969).

06. PROFUNDIDADE DE IRRIGAÇÃO

A profundidade do sistema radicular do tomate industrial, usado como exemplo, foi obtido no mesmo solo em estudo realizado por Choudhury et alii (1977).

Os dados registrados foram colocados em papel

milimetrado, tendo na abscissa o tempo e na ordenada a profundidade efetiva. Figura 1.

07. INFILTRAÇÃO LATERAL NO SOLO

Irrigou-se um sulco de 10 m de comprimento com as mesmas características dos sulcos de teste com uma lâmina de 90 mm e cobriu-se com plástico de 5 x 10 metros. Coletaram-se amostras do solo para determinação da umidade 18 horas após a irrigação com espaçamento de 15, 30, 45 e 60 cm na horizontal para ambos os lados do sulco, e de 20, 40, 60, 80 e 100 cm na vertical. Figura 5 do apêndice.

Antes da irrigação coletou-se amostra de solo em cada lado do sulco espaçada de 30 cm e no centro do mesmo, a profundidades de 20, 40, 80 e 100 cm. Todas essas amostragens foram feitas com duas repetições Figura 4 do apêndice.

08. PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SULCO

A tabela 1 do apêndice apresenta a distribuição do tamanho das partículas para intervalos de 30 cm até a profundidade de 150 cm. A análise granulométrica foi feita através do método da Pipeta descrito por Day (1965).

A tabela 2 do apêndice apresenta valores do

Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Densidade Aparente.

A Capacidade de Campo foi determinada "in situ". O método consistiu em saturar o solo em condições naturais até uma dada profundidade e deixá-lo coberto com plástico para evitar evaporação. O conteúdo de água do solo foi determinado todos os dias mediante o método gravimétrico. Quando o conteúdo de água das amostras coletadas se manteve aproximadamente constante durante 3 determinações consecutivas, a média destas unidades foi considerada Capacidade de Campo.

Para se obter a Densidade Aparente e o Ponto de Murcha Permanente, foram feitas 3 repetições para cada profundidade que correspondiam, a 3 trincheiras cavadas na área. Figura 6 do apêndice.

A Densidade Aparente foi determinada pelo método do cilindro de volume conhecido, (Blake, 1965).

O Ponto de Murcha Permanente foi retirado da curva de retenção de umidade, (figuras 1 e 2 do apêndice) obtido pelo método descrito por Richards (1947) no ponto correspondente à pressão positiva de 15 atmosferas.

10. EFICIÊNCIA

A eficiência foi calculada para cada vazão e

declividade (tabela 3 do apêndice), da seguinte maneira:

$$E = \frac{V. \text{ armazenado}}{V. \text{ gasto}}$$

onde: $V. \text{ armazenado (m}^3\text{)} = L.\text{inf.} \times \text{Larg.} \times \text{Camp.}$

$L.\text{inf.} = 0,0296; 0,0545 \text{ e } 0,0811 \text{ m}$ (correspondente
às profundidades de 0-0,30, 0-0,60 e 0-0,90m

$\text{Larg.} = 0,60\text{m}$ (figura 6 do apêndice)

$V.\text{gasto (m}^3\text{)} = 0,06 (T_i + T_a)q$

$T_i =$ tempo de irrigação

$T_a =$ tempo de avanço

$q =$ vazão (l/s)

0,06 = fator de converção de l/s para l/min e litros
para metro cúbico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dados obtidos no campo foram feitas em função de responder às seguintes perguntas:

Qual a quantidade de água a aplicar em uma irrigação por sulco e como aplicar tal volume?

Para obtenção de tais respostas é necessário o estudo dos dados físico-hídricos do solo e dos parâmetros de irrigação.

Com o intuito de sistematizar o método de irrigação por sulcos, desenvolveu-se uma metodologia de análise, cálculos e apresentação de informações através de gráficos para o manejo da irrigação.

Através deste processo a assistência técnica poderá, seguindo os passos pré-determinados, responder às perguntas acima formuladas.

01. PROFUNDIDADE DE IRRIGAÇÃO

A figura 1 apresenta a profundidade efetiva do sistema radicular do tomate industrial em oxisol em função do tempo após transplante. Desta figura se pode inferir rapidamente a profundidade de solo a irrigar, conhecendo-se apenas a idade da cultura após o transplante.

02. LÂMINA LÍQUIDA DE IRRIGAÇÃO

Normalmente, a disponibilidade hídrica dos solos é apresentada considerando-se a relação entre conteúdo de umidade e potencial matricial, conhecida como curva de retenção de umidade do solo, a qual pode ser facilmente usada a nível operacional no manejo da irrigação.

Na figura 2, apresenta-se a informação de retenção de água no solo, parametrizada para uso imediato em condições de campo a qual permite definir a lâmina em função de nível de água disponível de reposição e da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, definida através da figura 1. O nível de água disponível de reposição, em termos de produção, varia para cada cultura. Normalmente, o nível de uso de água pelas plantas, que define a reposição, está em torno de 50%, (Hagan, 1959) o que corresponde, aproximadamente, ao valor de potencial matricial do nosso solo de -0,5 bar.

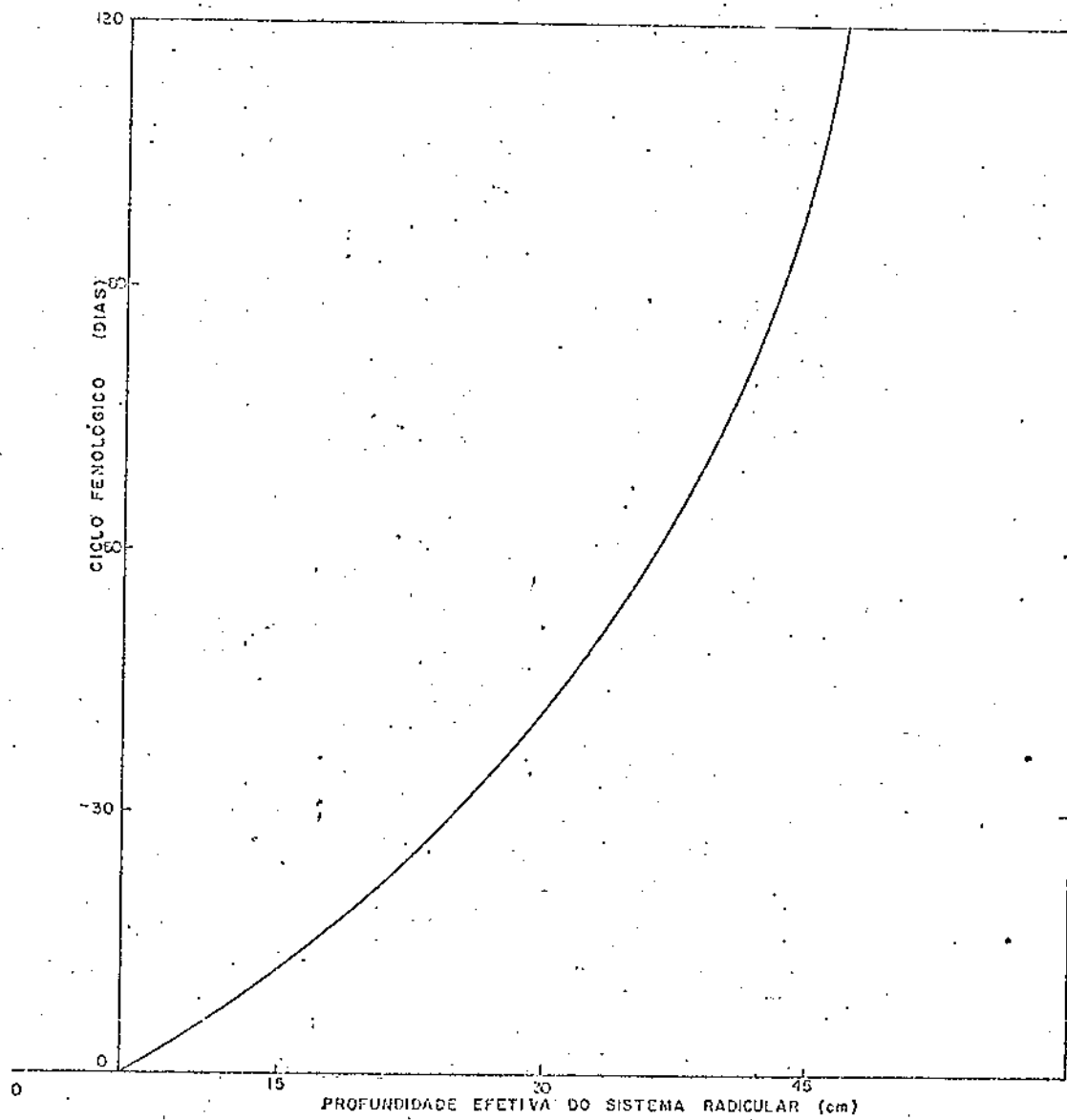


FIGURA.1 - Profundidade efetiva do sistema radicular do tomate industrial em um oxissol em função do ciclo fenológico.

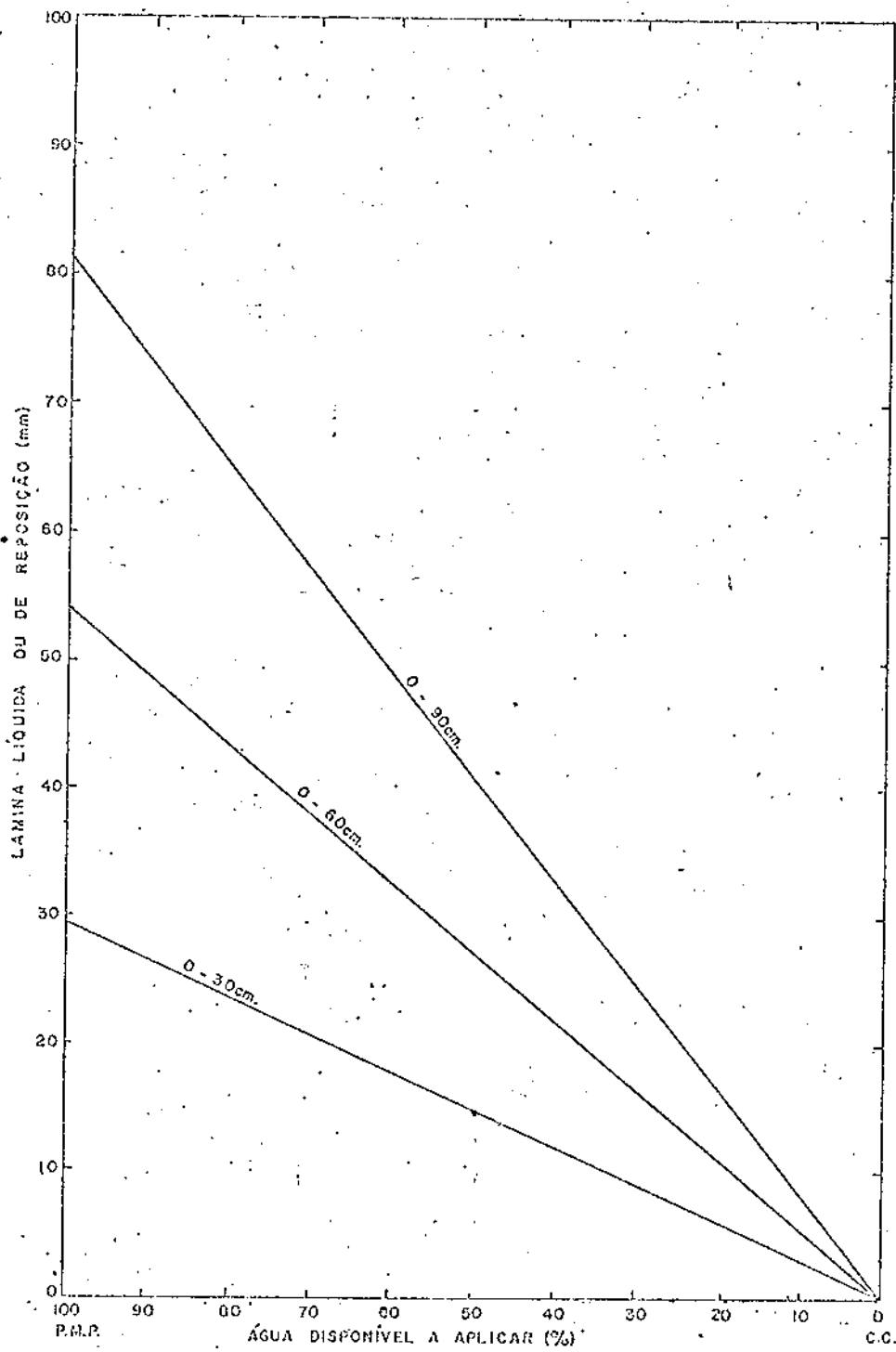


FIGURA 2 - lâmina líquida de irrigação em função do nível de reposição da água disponível a profundidade efetiva.

03. VAZÕES E EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

A figura 3 mostra a relação entre vazão e declividade dos sulcos.

Obtiveram-se teoricamente vazões máximas não erosivas para as declividades de 0,23; 0,43 e 0,66% os valores de 2,75; 1,47 e 0,96 l/s respectivamente. As vazões observadas foram de 2,6; 1,6 e 1,3 l/s para os mesmos declives.

Numa comparação entre os dois resultados, notamos que para os declives de 0,23 e 0,43% os resultados foram bem aproximados, enquanto para o declive de 0,66% a vazão observada deu resultado um pouco mais elevado.

A tabela 1 apresenta as equações de avanço para as diversas declividades bem como para diversas vazões e os coeficientes de correlação calculados estaticamente através da regressão linear. Uma análise dos dados permitiu definir que as vazões máximas observadas não foram as mais eficientes na aplicação da irrigação, sendo necessário diminuir as vazões nas diferentes declividades para níveis de maior eficiências de aplicação. A Vazão de maior eficiência também é incluída na figura 3, sendo que essa deve ser usada no manejo da irrigação. Nesse caso, é bastante determinar a declividade da parcela do produtor, mediante um procedimento simples, com o uso de um nível ou teodolito, para definir a vazão com que se deve operar.

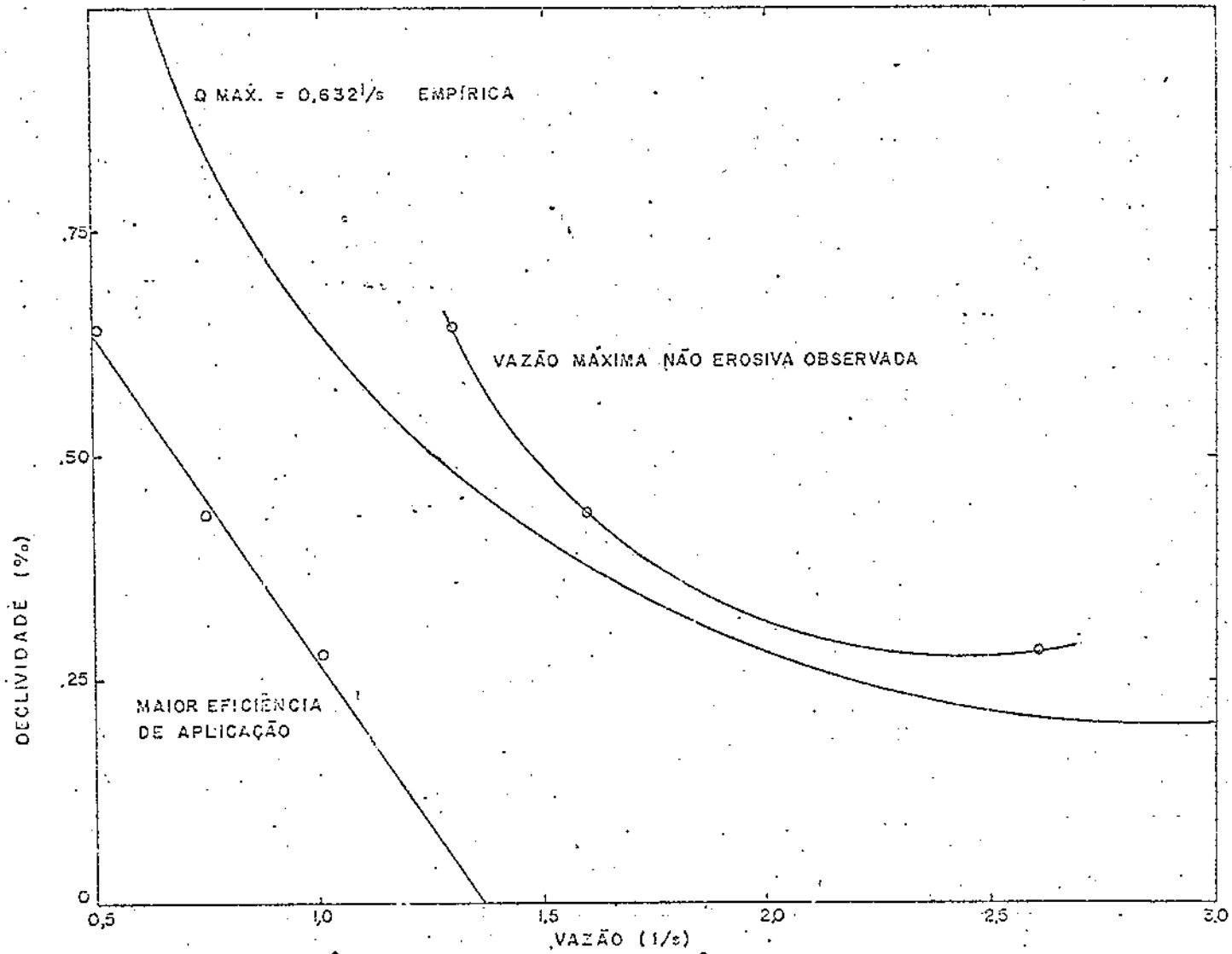


FIGURA 3 - Vazões máximas não erosivas e vazões não erosivas mais eficientes em função das declividades dos sulcos.

04. TESTES DE AVANÇO

As figuras 8 e 9 do apêndice mostram as curvas de avanço para a vazão máxima não erosiva e para a vazão mais eficiente respectivamente.

Numa análise da figura 8 do apêndice para o tempo de um minuto, temos que a velocidade de avanço usando a vazão máxima não erosiva para a declividade de 0,23% é de 15,38 m/min para 0,43, de 20,42 m/min e para 0,66% é de 16,29 m/min. Estas diferenças são pequenas e diminuem com o tempo, pois transcorrido o tempo de 6 minutos temos para o declive de 0,23% a distância de 63,3 m, para 0,43% de 63,1 m e para 0,66% de 63,6 m. Para todos os três casos a distância de 100 metros foi atingida sem ter sido ultrapassado o tempo de 10 minutos.

Para as vazões de máxima eficiência não se encontrou tanta coerência nos dados. Para o tempo de um minuto a velocidade de avanço para a declividade de 0,23% é de 10,49 m/min, para 0,43% de 11,16 m/min e para 0,66% de 7,81 m/min. Apesar destas diferenças não serem muito grandes, elas têm a tendência de aumentar com o tempo. Para o tempo de 10 minutos tiveram-se nas declividades de 0,23; 0,43 e 0,66% as seguintes distâncias percorridas, 41,9 m, 45,5 m e 29,0 m respectivamente.

Os valores de R^2 indicam que mais de 81% da variação do avanço de água dependem do tempo e que a equação

TABELA 1 - Equações de Avanço para Vazões Máximas não Erosivas e Coeficientes de Correlação

Vazão l/s	Equação de Avanço $x = P t^r$	Coefficiente de Correlação (R^2)
Declividade 0,23%		
0,5	5,21 $t^{0,59}$	0,86
1,0	10,49 $t^{0,67}$	0,82
2,0	13,54 $t^{0,72}$	0,95
2,8	15,38 $t^{0,78}$	0,81
Declividade 0,43%		
0,5	6,06 $t^{0,58}$	0,91
0,75	11,16 $t^{0,57}$	0,90
1,0	12,85 $t^{0,61}$	0,95
1,5	20,42 $t^{0,63}$	0,95
Declividade 0,66%		
0,5	7,81 $t^{0,57}$	0,87
0,75	10,45 $t^{0,60}$	0,89
1,0	12,16 $t^{0,65}$	0,89
1,3	16,29 $t^{0,76}$	0,88

$x = pT^r$ representa adequadamente o fenômeno.

05. EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO E LÂMINA BRUTA DE IRRIGAÇÃO

Com os dados de campo testaram-se várias formas de apresentação da informação, com o objetivo de elaborar um procedimento operativo para definir a eficiência de aplicação. Em geral, os projetos de irrigação têm parcelas com comprimento de sulcos que variam de 60 a 120 m, devido a variações das características de solos e topografia. Para levar todas essas variáveis em consideração, optou-se por colocar a eficiência de aplicação em função do comprimento dos sulcos para diferentes combinações de vazão-declividade (figura 4 e tabela 3 do apêndice). Desse modo, a informação obtida da figura 3 deve ser inserida na figura 4 para se obter a eficiência em função do comprimento ^{com, percent} do sulco.

Com os dados de comprimento de sulcos determina-se a eficiência de aplicação.

A lâmina bruta de irrigação fica definida pela razão entre lâmina líquida determinada na figura 2, e a eficiência de aplicação determinada na figura 4 ou seja:

$$\text{LÂMINA BRUTA} = \frac{\text{LÂMINA LÍQUIDA}}{\text{EFICIÊNCIA}}$$

Este é o único cálculo numérico que a assistência técnica deverá fazer.

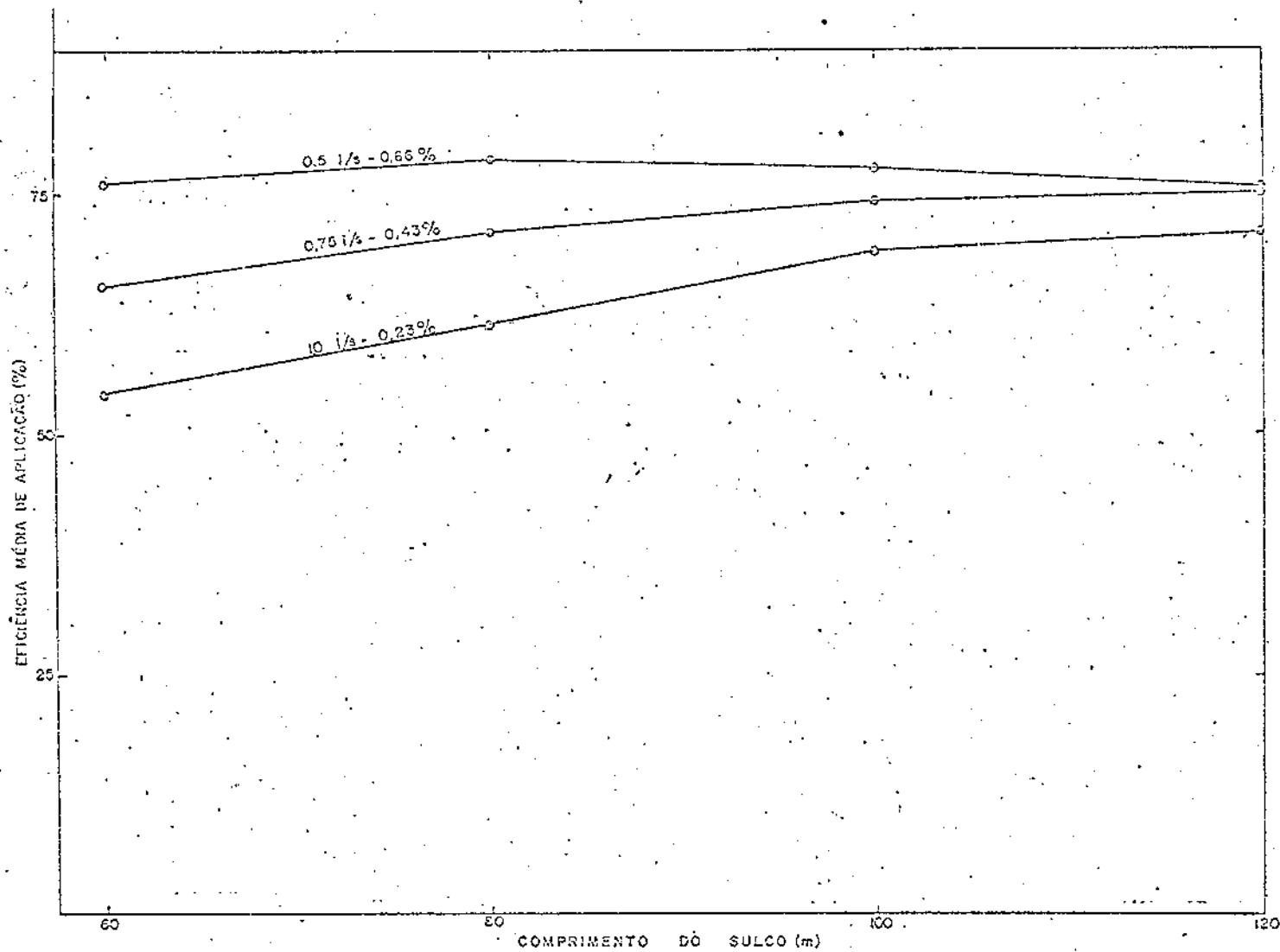


FIGURA 4 - Eficiência de aplicação para diferentes combinações de vazão-declividade em função do comprimento de sulcos.

06. TEMPO DE IRRIGAÇÃO

O tempo de irrigação, quando se irriga por sulcos, é igual ao somatório do tempo de infiltração, que é o tempo gasto para infiltrar no solo a lâmina estipulada, mais o tempo de avanço que é o tempo que leva a água para atingir o final do sulco, Criddle et alii (1956) Bishop (1961); Grassi et alii (1965) citados por Millar et alii (s.d.).

Os testes de infiltração feitos mediante o método do cilindro-infiltrômetro, em solos com teor de umidade corresponde a 50% de água disponível, tiveram o intuito de representar o melhor possível o fenômeno no momento da irrigação.

A equação média dos testes foi plotada em papel log-log e os parâmetros da curva de infiltração acumulada e velocidade de infiltração são apresentados na figura 3 do apêndice.

Calculou-se o tempo de irrigação para diferentes lâminas brutas de irrigação e comprimentos de sulcos para as mesmas combinações de vazão declividade definidas na figura 4.

Estes dados são apresentados nas figuras 5, 6 e 7, para as combinações vazão-declividade em 1,0 l/s para 0,23%; 0,75 l/s para 0,43% e 0,5 l/s para 0,66% tiradas da tabela 3 do apêndice. O gráfico a ser usado fica definido pela combinação vazão-declividade e o tempo de irrigação é

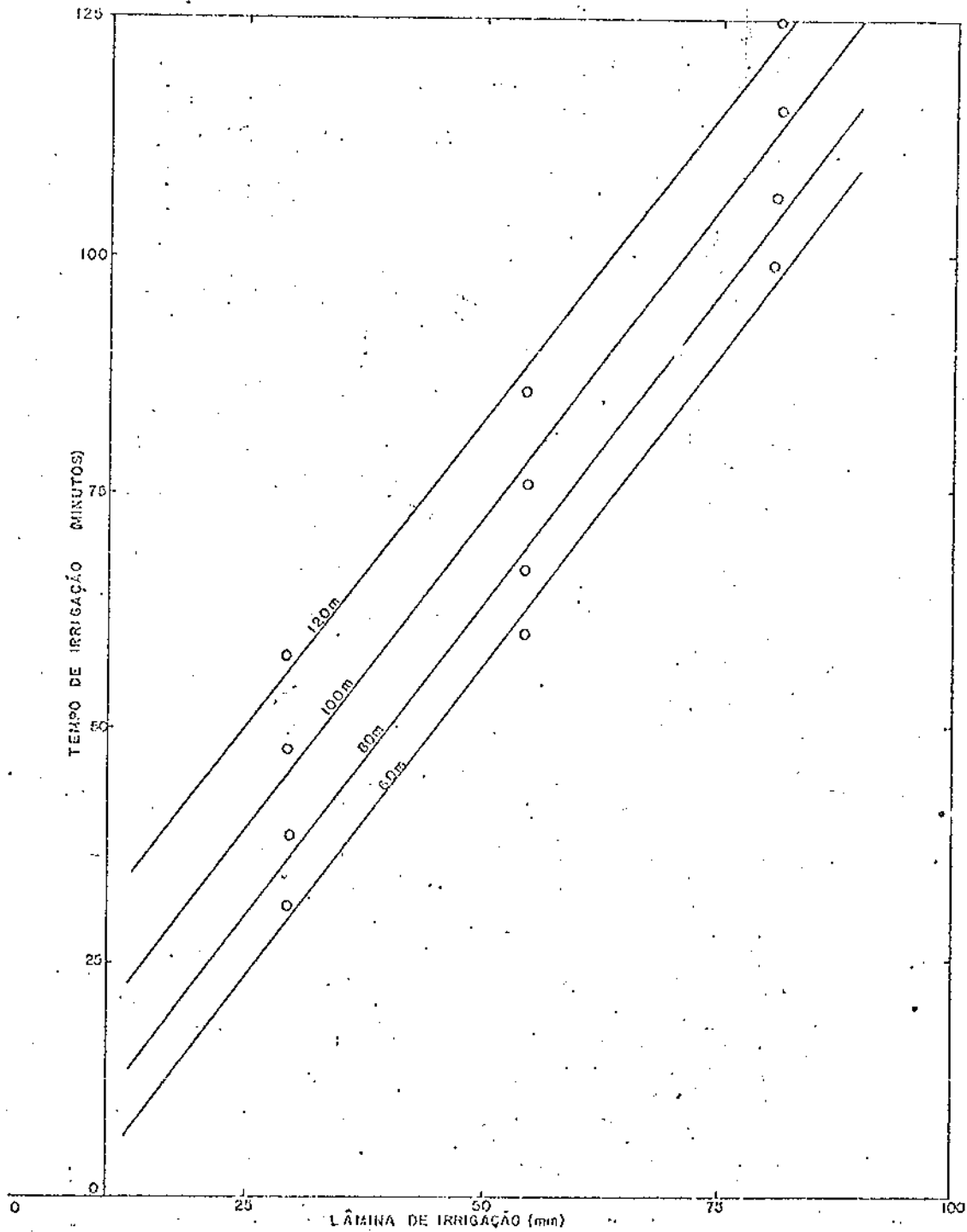


FIGURA 5 - Tempo de irrigação em função da lâmina bruta e comprimento dos sulcos para a combinação vazão-declividade.

1,0 l/s - 0,23%

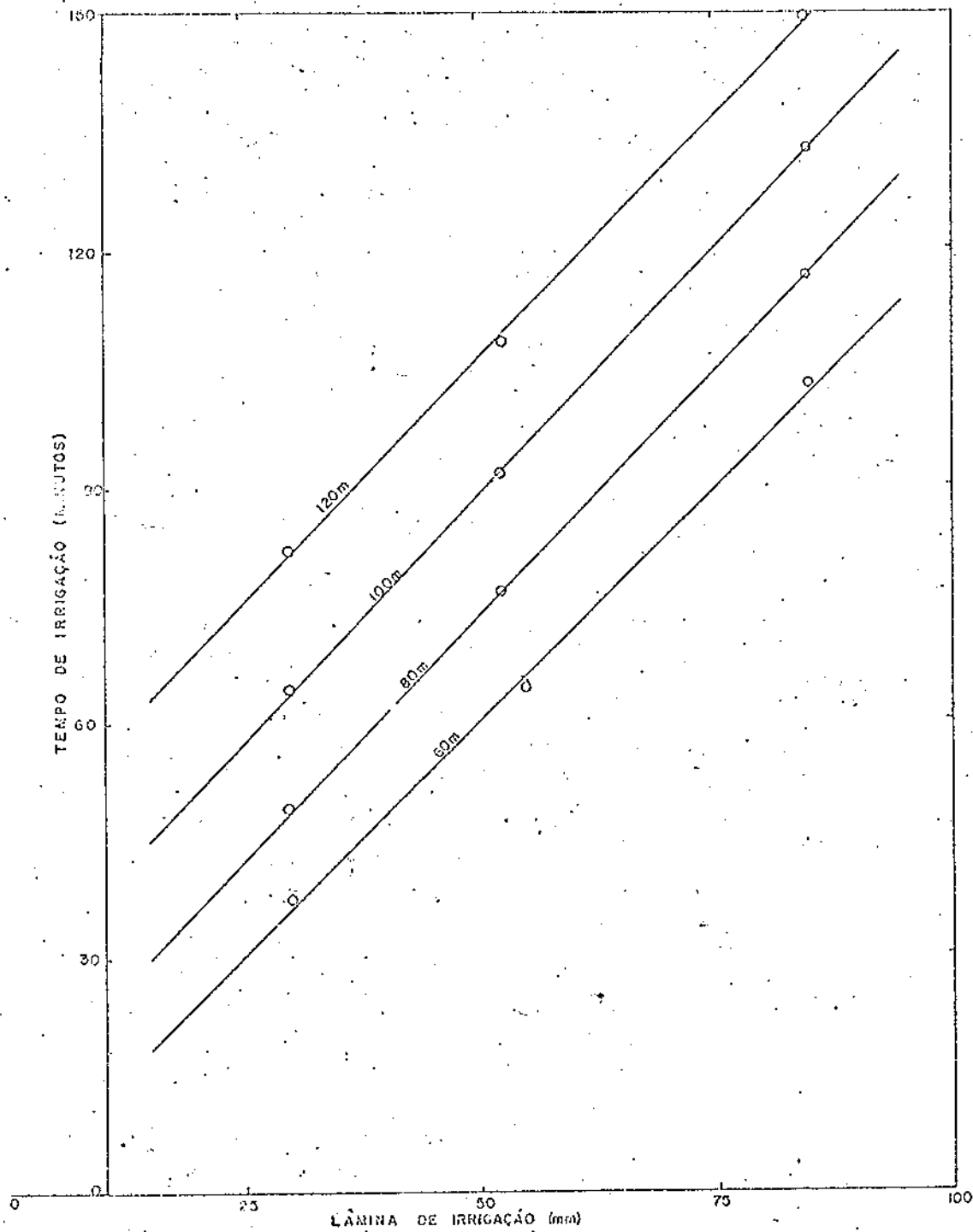


FIGURA 6 - Tempo de irrigação em função da lâmina bruta e comprimento dos sulcos para a combinação vazão-declividade

0,75 l/s - 0,43%

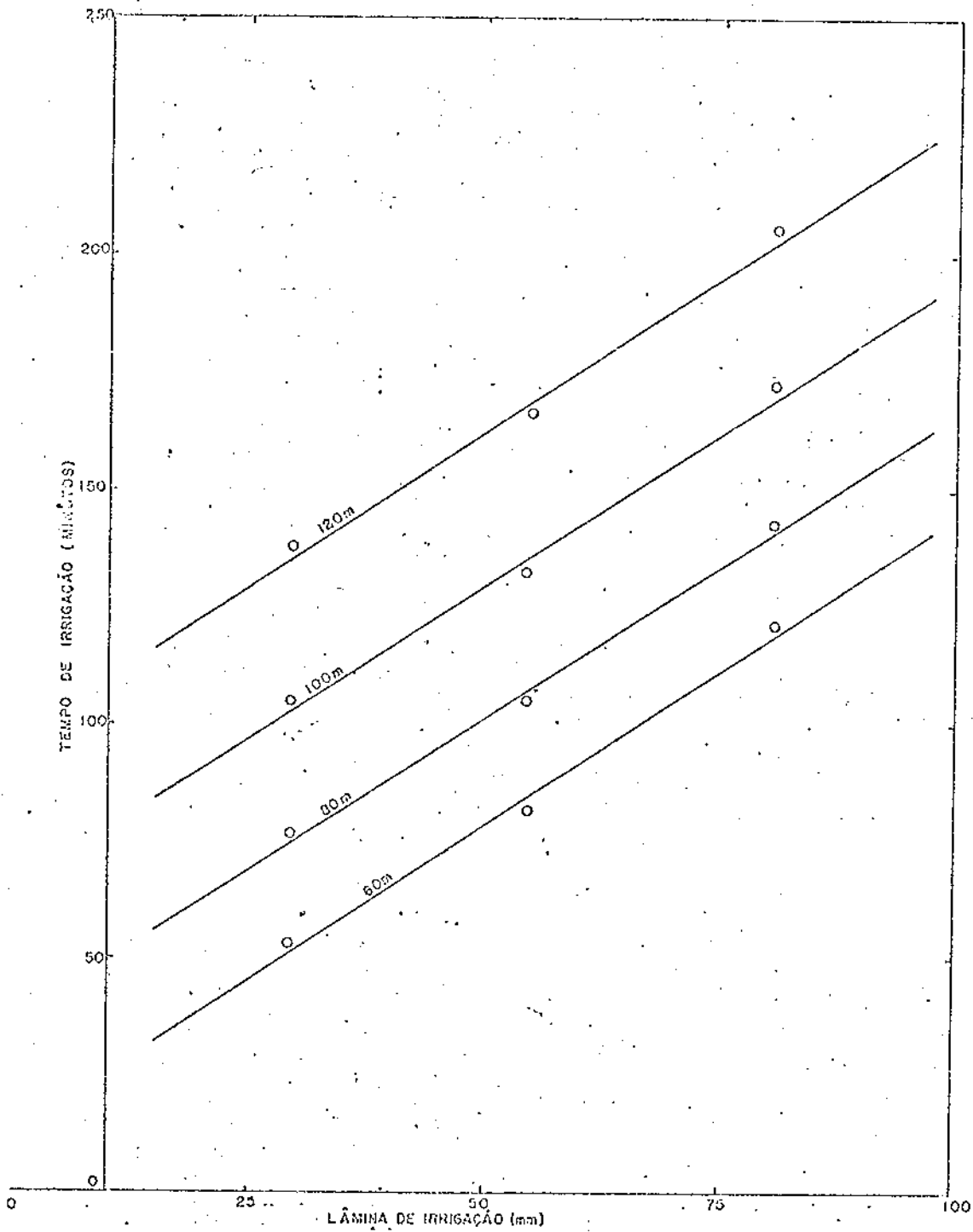


FIGURA 7 - Tempo de irrigação em função da lâmina bruta e comprimento dos sulcos para a combinação vazão-declividade

0,5 l/s - 0,23%

obtido usando a lâmina bruta calculada e a informação de comprimento de sulcos.

Desta forma se definem rapidamente os parâmetros de irrigação aplicáveis à situação da parcela do produtor.

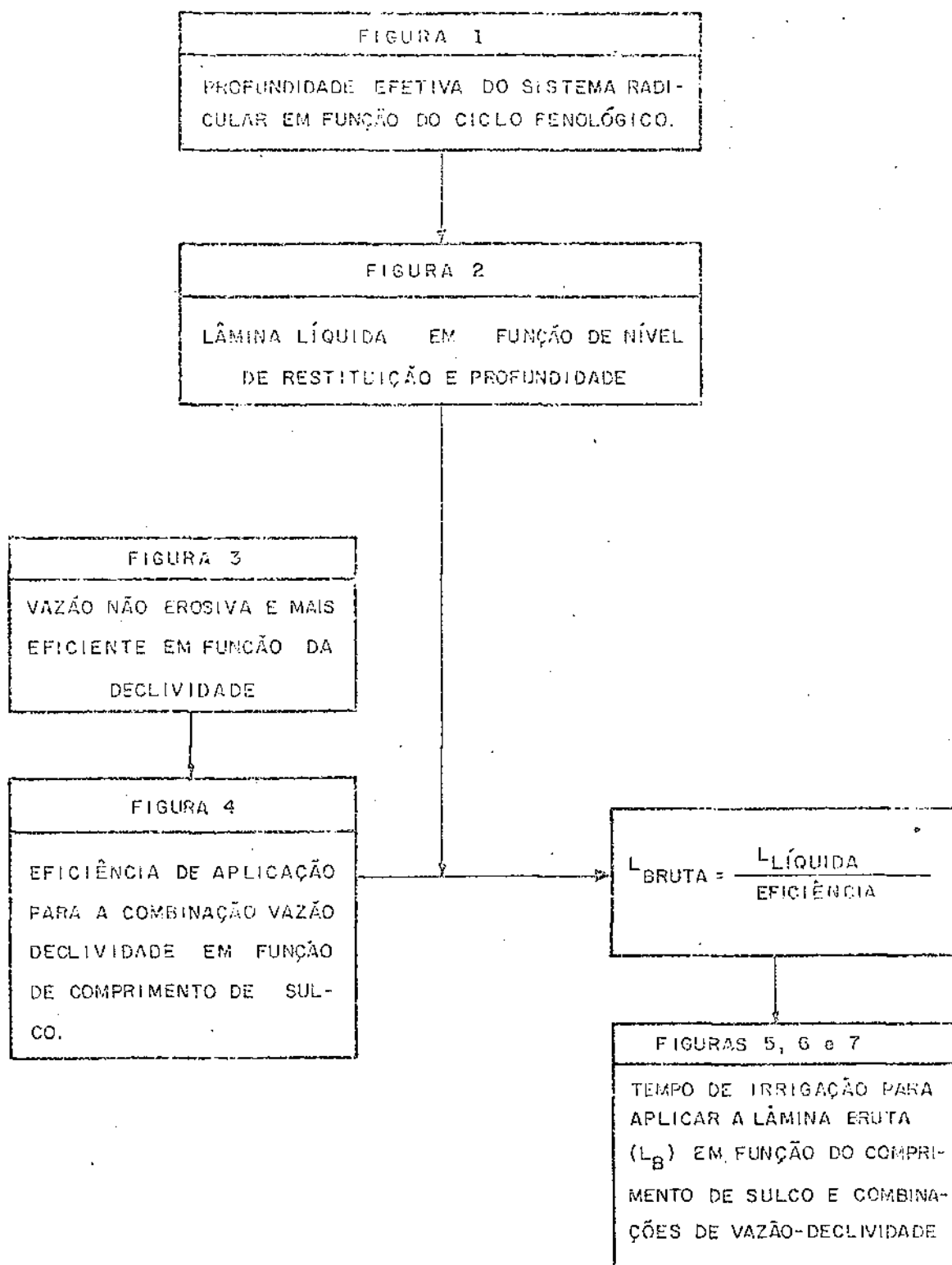
07. EXEMPLO DE USO DA INFORMAÇÃO

A sequência de uso dos nomogramas e dados obtidos está definida no fluxograma 1.

Como exemplo suponha-se que um produtor tenha um plantio de tomates com 60 dias após transplante, irrigado por sulcos com declividade de 0,37% e comprimento de 80 m e o solo com 40% de água disponível.

Da figura 1 se obtém a profundidade efetiva do sistema radicular que é de 36 cm. Na figura 2, usando uma interpolação entre as retas 0 - 30 e 0 - 60, obtém-se uma lâmina de 23 mm para um nível de reposição de 60% de água. Da figura 3 obtém-se que, para uma declividade dos sulcos de 0,37, pode-se usar uma vazão de 0,85 l/s. A combinação vazão declividade mais próxima é de 0,75 l/s para 0,43 de declividade, que nos dá uma eficiência de 72,5% em sulcos de 80 m de comprimento. (Figura 4). A lâmina bruta é $23/0,725 = 31,7$ mm. Para aplicar esta lâmina deve-se irrigar durante 37 minutos. (Figura 6).

FLUXOGRAMA 1 - SEQUÊNCIA DE USO DOS NOMOGRAMAS EM IRRIGAÇÃO POR SULCO.



CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos através das condições locais e métodos empregados permitiu estabelecer as seguintes conclusões:

01. O fator que mais contribuiu para aumentar o tempo de irrigação, foi a baixa velocidade de infiltração contribuindo em média para as declividades de 0,23; 0,43 e 0,66% com 64,81; 54,67 e 39,19% respectivamente do tempo total de irrigação.
02. O movimento lateral da água no sulco não ultrapassou a 30 cm, quando foi aplicada uma lâmina de 90 mm.
03. As eficiências médias de aplicação da água foram de

64,00; 71,13 e 76,75% para os declives de 0,23; 0,43 e 0,66% respectivamente. A eficiência média para as três declividades foi de 70,63%.

04. As vazões que possibilitaram maiores eficiências para as declividades de 0,23; 0,43 e 0,66%, foram de 1,0; 0,75 e 0,5 l/s respectivamente.
05. As maiores eficiências 78,3; 75,6 e 71,2% foram encontradas nos comprimentos de 80; 120 e 120 metros, nas declividades de 0,66; 0,43 e 0,23% respectivamente.

B I B L I O G R A F I A

1. ARIAS, E. & MILLAR, A.A. Relaciones hidricas de três solos regados de la zona central de Chile. Turrialba, 23(3): 275-83, 1973.
2. AYRES, Q.C. - La erosion del suelo y su control. Barcelona, Omega, 1960. p. 55-69.
3. AZEVEDO, H.M. - Características da infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências e Tecnologia, 1975. 56 p.
4. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. - Soil Physics. 4. ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498 p.
5. BEAR, F.E. - Soils in relation to crop growth. New York, Reinbold Chapman & Hall, 1965. 291 p.
6. BLAKE, C.R. - Bulk density, In: BLACK, C.A. et alii - Methods of soil analysis: lote 1. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 374-390. (Agronomy Series, 9).

7. BLACK, C.A. - Soil-plant relations. New York, John Wiley & Sons, 1967. p. 70-153.
8. BOERS, M. & MILLAR, A.A. - Algumas culturas irrigadas por sulcos em contornos no aluvião do médio São Francisco. Petrolina, IICA, 1974. p. 26-45 (Publicação Miscelânea, 122).
9. BOLETIM TÉCNICO DO DNOCS. Fortaleza, v. 31, n.2, Jul./Dez, 1973. p. 159-197.
10. BOOBBE, L.J. - Surface irrigation. Rome, FAO, 1974. 100 p.
11. BOS, M.Q. & NUGTEREN, J. - Sobre las eficiencias de riego. Mexico, Subsecretaria de operacion, 1976. s.p. (Memorandum Técnico, 350).
12. CRIDDLE, W.; S.; PAIR, C.H. and SHOCKLEY, D.G. - Methods for evaluating irrigation systems. Soil Conservation Service Agriculture Handbook. s.n.t. 82: 1-13.
13. DAKER, A. - Irrigation e Drenagem. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. V.3.

14. DAY, P.R. - Particle fractionation and particle-size analysis, In: Black, C.A. - Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p. 545-567.
15. DEMELON, A. - Principios de agronomia: crecimiento de los vegetales cultivados. Barcelona, Omega, 1973. s.p.
16. EDE, R. et alii - Sistemas de riego. Zaragoza, Acribia. 1964. 168 p.
17. FAO - Survey of the São Francisco river basin Brazil. Roma, 1967 V.5. s.d.
18. FAO/PNUD - Estudios de irrigacion e ingenieria: estudios de la cuenca del Rio São Francisco. (segunda etapa). Roma, FAO/PNUD. 301 p. (Informe Técnico 4, AGL. SF/BRAI).
19. FORSYTHE, W. - Las condiciones físicas del suelo y la production. s.n.t. 12 p.
20. GAVANDE, S.A. - Física de suelos; principios y aplicaciones. Mexico, Limusa-Wiley, 1972. 351 p.

21. GRASSI, C.J. - Manual de drenaje agrícola. Merida, CIDIAT, 1975. s.p.
22. GRASSI, C.J.; MIHAYLOVICK, D.L.E. and HYENSOLM, L. - Resposta do tomate (C v - Roma) a diferentes regimes hídricos. Revista de investigaciones agropecuarias, Serie Biología). Produccion Vegetal, 4/15): 269 - 303, 1967.
23. GROS, A. - Abonos: guía práctico de la fertilización. 5. ed. Madrid, Mundi Prensa, 1971. s.p.
24. HAGAN, R.M.; VAADIA, Y. and RUSSEL, H.D. - Interpretation to plant response to soil moisture regimes. Advances in Agronomy 11: 77-98, 1959.
25. HANSEN, I. - Principios y aplicaciones del riego. Madrid, Renerte, 1975. 396 p.
26. HARGREAVES, G.H. - Manthly precipitation probabilities for northeast Brazil. Logan, Utah State University, 1973. 423 p. (Contract AID/CSD 2167).
27. HELMUTROHNR. Soil physics. New York, McGraw-Hill Book, 1968. p. 6-79.

28. HERRERA, J.M.A. & CASTRO, A.F. - Edafologia. MADRID, Talleres graficos, 1955. p. 116-38.
29. HILLEL, D. - Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, Departamento de Solos da UFRGS, 1970. p. 114-180.
30. HULL, W.X. - Manual de Conservação de Solo. Mexico, Lima, 1974. 305 p.
31. JANICK, J. - A Ciência da horticultura. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1966. p. 86-127.
32. JORGE, J.A. - Solo, Manejo e Adubação. São Paulo, Melhoramento, 1969. 225 p.
33. KOEPPEN, W.H. - Climatologia con un studio de los climas de terra. Mexico, Fondo de Cultura Economica, 1948. s.p.
34. LINSLEY, R.K. & FRANZINI, J.B. - Engenharia de recursos hídricos. São Paulo, McGraw-Hill, 1978. p. 301-343.
35. LOPES, X.E. - Riegos por sulcos. Petrolina (Pe); CIDIAT/OEA, 1972. s.p.

36. MICHAEL, A.M.; MOHAN, S. and SWAMINATHA, K.R. - Design and evaluation of irrigation methods. New Delhi, Water Technology Center Indian Agricultural Research Institute, 1972. 495 p.
37. MILLAR, A.A. - Efecto del deficit de agua en diversos periodos do ciclo de crescimento sobre os rendimentos de alguns cultivos. s.l., MINTER/FECA, s.d. s.p.
38. _____ . Seminario de manejo de agua para riego de la cuenca Atlantica. Conferencia apresentada no Seminario sobre Manejo de Agua, Brasilia, 1976. p. 3-5.
39. MILLAR, A.A.; AZEVEDO, H.M. and POSSIDIO, E.L. - Metodologia para adequação de parâmetro de método de irrigação por sulcos para uso pela assistência técnica. Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileira. (Fase de publicação) s.n.t.
40. MILLAR, C.E.; TURK, L.M. and FOTH, H.D. - Fundamentos de la ciencia del suelo. Mexico, Continental, 1975. p. 83-111.
41. MOJICA, I.H. - Efectos de la renacion de la cobertura vegetal en la contenido de humedad del suelo. Turrial

- ba. Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza - Departamento de Ciências Forestales, s.d. 15p.
42. MONIZ, A. et alii - Elementos de pedologia. São Paulo, USP - Polígono, 1972. 459 p.
43. MONTENEGRO, H.S. - Determinação da velocidade de infiltração básica (VID) em solos de terraço na Bacia do Rio Turvo Sujo. Viçosa, 1975. s.p. (Tese de Mestrado).
44. MONTENEGRO, J.O. Características físicas e fatos de erodibilidade de solo da depressão central do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 1976. s.p. (Tese de Mestrado).
45. MONTENEGRO, N.H. - Irrigação: relações água-solo - planta-atmosfera-homem. Campina Grande, 1970. s.p.
46. NEVES, E.T. - Curso de hidráulica. Porto Alegre, Globo 1974. 577 p.
47. NOGUEIRA, F.C. - Determinação da eficiência de aplicação de água em sulcos nos perímetros irrigados do Estado da Paraíba. Campina Grande, 1976. 79 p. (Tese de Mestrado).

48. OLLITA, A.F.L. - Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1977. 267 p.
49. OTTONI NETTO, T.B. Subsídios de interesses para definição de política agrícola. A política agrícola no Nordeste. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. Anais. Fortaleza. MINTER/DNOCS - ABID, 1975 v.1. p. 114-24.
50. PHILIP; J.R. - The theory of infiltration: the influence of the initial moisture contents. Soil Science, 34 (4): 329-339, 1957.
51. QUEIROZ FILHO, S.C. de & MILLAR, A.A. Parâmetro para irrigação por sulco de vertissolo do sub-médio São Francisco. III SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 4: 18-29, 1975.
52. QUEIROZ FILHO, S.C. - Oferta, programa e treinamento em irrigação. Petrolina, MINTER/IICA, 1975, s.p.
53. QUEIROZ FILHO, S.C.; MILLAR, A.A. and BOERS, M. - Características da infiltração dos vertissolos do sub-médio São Francisco. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo XV: 64-74.

54. RICHARDS, L.A. - Pressure-membrane apparatus, construction and use. Agronomy Engineering, 28: 451-454, 1947.
55. _____ Report of the subcommittee on permeability and infiltration committee on terminology soil science society of America. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison 16(1): 68-3, 1952.
56. FOCHE, S.A.N. - Exposición de suelos de pendientes cultivadas con café y café de diferentes grados de cobertura viva de una plantación forestal. Turrialba, Universidad de Costa Rica, 1977. s.p. (Tese Maestrado).
57. SANCHEZ CANALES, J.B. & ESCOBAR DOMINGUEZ, J.A. - Condiciones sobre el sistema de riego por surco. s.l., Departamento de Estudio y Proyectos - Ministerio de Agricultura e Ganadería, 1961 p. 6-11.
58. SILVA, J.F. - Influencia de irrigación no crescimento e produção de tomateiro. Ilhéus, ESALQ, 1972. s.p. (Tese Maestrado).
59. THORNTON, D.W. & PETERSON, M.C. - Irrigated soils: their fertility and management. 2. ed. New Delhi, McGraw-Hill, 1954. s.p.

60. _____ . _____ . Técnica del riego; fertilidad y explotación de los suelos. s.l., Continental, 1975. 486 p.
61. TOBANZOS, F.I. - Estatística: São Paulo, Mestre Jon, 1969. 381 p.
62. TSUFSUI, H. - Manejo da água para produção de arroz: 2ª parte. Lavoura Arrozeira. 25(268); 36-41, set./out. 1972.
63. VELES, E.P. - Cuanto, cuando y como regar. Ingeniería Hidráulica en Mexico: s.d. 95-138.
64. VIEIRA, D.B. - Nocções de irrigação e drenagem. 2, ed. Limeira, Departamento de Hidráulicas e Saneamento, 1972, 289 p.
65. WINTER, E.J. - A água, o solo e a planta. São Paulo, EPU/EDUSP, 1976. p. 137-154.
66. ZIMMERMAN, J.P. - El riego, Mexico, Continental, 1975, s.p.

A P Ê N D I C E

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS

PROFUNDIDADE DO SOLO (CM)	AREIA %	SILTE %	ARGILA %	CLASSIFICA- ÇÃO(TEXTURAL)*
0-30	85	5	10	AREIA
30-60	74	7	19	FRANCO ARENOSO
60-90	72	8	20	FRANCO ARENOSO
90-120	69	8	23	FRANCO ARENOSO
120-150	72	8	20	FRANCO ARENOSO

* De acordo com Soil Survey Staff e de acordo com a Comissão permanente de Métodos de Trabalho de Campo da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, MONIZ (1972).

TABELA 2 - DENSIDADE APARENTE, CAPACIDADE DE CAMPO E PONTO DE MURCHA PERMANENTE DO LATOSSOLO 37BB

PROFUNDIDADE cm	DENSIDADE APARENTE g/cm ³	CAPACIDADE DE CAMPO %	PONTO DE MUR CHA PERMANENTE %
0 - 30	1,60	9,42	3,26
30 - 60	1,63	10,12	5,03
60 - 90	1,59	10,64	5,06
90 - 120	1,62	10,94	5,80
120 - 150	1,60	10,35	5,33

TAB. 3 - ANÁLISE DA EFICIÊNCIA PARA A RELAÇÃO VAZÃO/TEMPO DE IRRIGAÇÃO/DE
CLIVIDADE 0,23%

COMP. SULCO m	TEMPO DE AVANÇO min	TEMPO TOTAL (TEMPO DE INFILTRAÇÃO+TEMPO DE AVANÇO)			EFICIÊNCIA %
		LÂMINA 29,6 mm TEMPO 17,1 min	LÂMINA 54,5 mm TEMPO 45,0 min	LÂMINA 81,1 mm TEMPO 84,0 min	
VAZÃO 0,5 l/s					
60	58,9	76	103,9	143,5	58,84
80	95,2	112,3	140,2	179,8	58,84
100	138,0	155,1	183,0	222,6	56,87
120	187,0	204,1	232,0	271,6	54,28
VAZÃO 1,0 l/s					
60	13,9	31,0	58,9	98,5	54,08
80	21,6	38,7	66,6	106,2	62,59
100	30,4	47,5	75,4	115,0	68,37
120	40,3	57,4	85,3	124,9	72,12
VAZÃO 2,0 l/s					
60	7,9	25,0	52,9	92,5	30,91
80	11,8	28,9	56,8	96,4	37,67
100	16,1	33,2	61,1	100,7	43,15
120	00,7	37,8	65,7	105,3	47,65
VAZÃO 2,8 l/s					
60	5,6	22,7	50,6	90,2	25,43
80	8,1	25,2	53,1	92,7	29,29
100	10,7	27,8	55,7	95,3	34,45
120	13,5	30,6	58,5	98,1	38,94

TABELA 3 (Continuação)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA PARA A RELAÇÃO VAZÃO/TEMPO DE IRRIGAÇÃO/DECLIVIDADE 0,45

COMP. SULCO m	TEMPO DE AVANÇO min	TEMPO TOTAL (TEMPO DE INFILTRAÇÃO+T. DE AVANÇO)			EFICIÊNCIA %
		LAMINA 29,6mm TEMPO 17,1min	LAMINA 54,5mm TEMPO 45,9min	LAMINA 81,1mm TEMPO 84,0min	
60	52,1	69,2	97,1	136,7	63,3
80	85,5	102,6	130,5	170,1	63,1
100	125,6	142,7	170,6	210,2	60,8
120	192,0	189,1	217,0	256,6	58,27
VAZÃO 0,75 1/s					
60	19,1	36,2	64,1	103,7	67,34
80	31,7	48,8	76,7	117,3	71,62
100	46,9	64,0	91,9	131,5	74,32
120	64,5	81,6	109,5	149,1	74,89
VAZÃO 1,0 1/s					
60	12,5	29,6	57,5	97,1	55,67%
80	20,0	37,1	65,0	104,6	64,32
100	28,9	46,0	73,9	113,5	69,85
120	38,9	56,0	83,9	123,5	73,39
VAZÃO 1,5 1/s					
60	5,5	22,6	50,5	90,1	43,86
80	8,7	25,8	53,7	93,3	53,90
100	12,4	29,5	57,4	97,0	61,98
120	16,6	33,7	61,6	101,2	68,38

TABELA 3 (Continuação)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA PARA A RELAÇÃO VAZÃO/TEMPO DE IRRIGAÇÃO/DECLIVIDADE 0,66%

COMP. SULCO m	TEMPO DE AVANÇO min	TEMPO TOTAL (TEMPO DE INFILTRAÇÃO+T. DE AVANÇO)			EFICIÊNCIA %
		LAMINA 29,6mm TEMPO 13,1min	LAMINA 54,5mm TEMPO 45,0min	LAMINA 81,1mm TEMPO 84,0min	
60	55,8	52,9	80,8	120,4	76,32
80	59,3	76,4	104,3	143,9	78,60
100	87,6	104,7	132,6	172,2	77,64
120	120,8	157,9	165,8	205,4	75,05
VAZÃO 0,75 1/s					
60	18,4	35,5	73,4	103,0	66,16
80	29,8	46,9	74,8	114,4	71,61
100	43,2	60,3	88,2	127,8	77,47
120	58,5	75,6	103,5	143,1	78,67
VAZÃO 1 1/s					
60	11,7	28,8	65,7	96,3	56,64
80	18,2	35,3	63,2	102,8	64,78
100	35,7	42,8	70,7	110,3	73,26
120	34,0	51,1	79,0	118,6	78,11
VAZÃO 1,3 1/s					
60	5,6	22,7	50,6	90,2	50,47
80	8,2	25,3	53,2	92,8	61,57
100	11,0	28,1	56,0	95,6	73,71
120	14,0	31,1	59,0	98,6	82,83

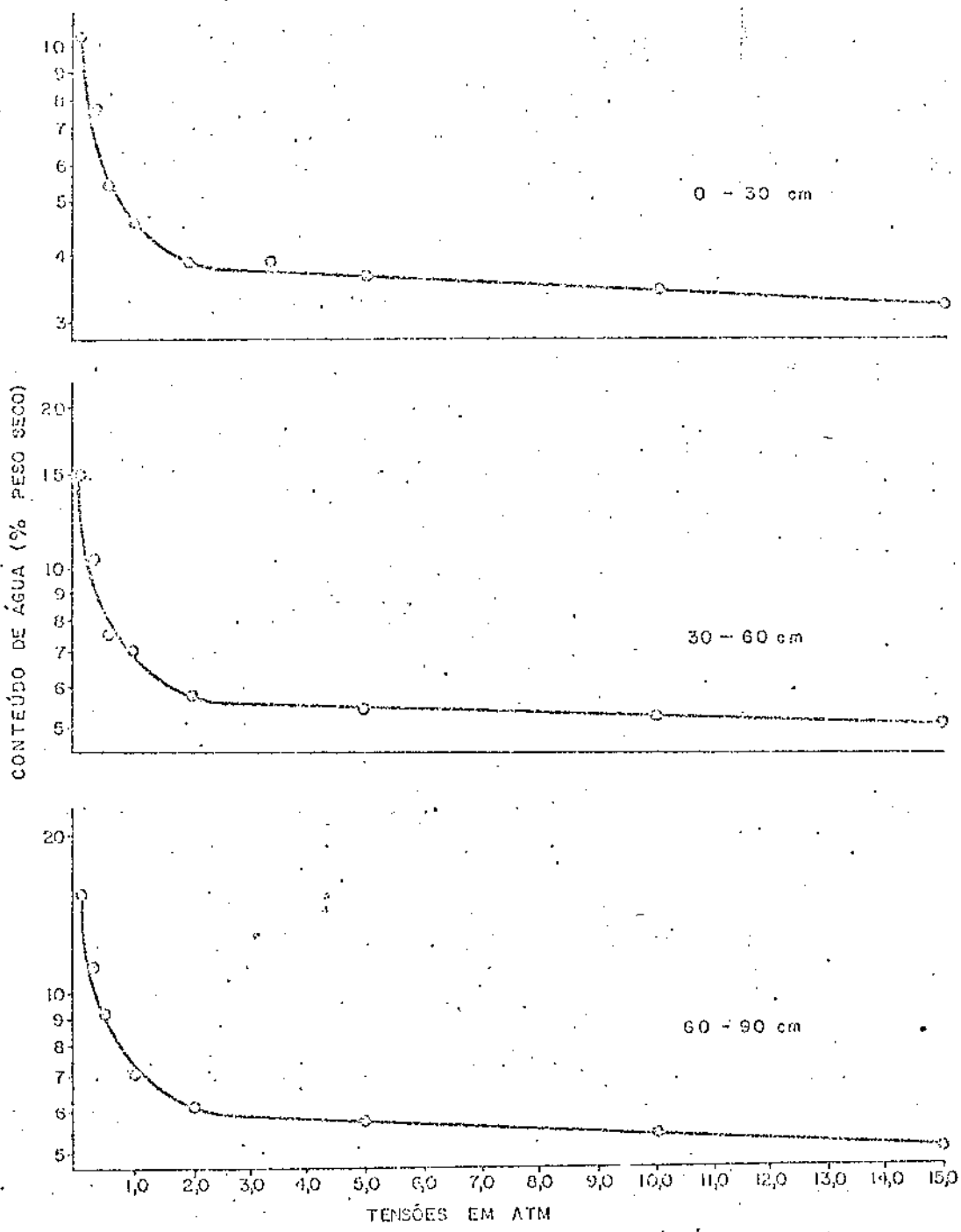


FIGURA 1 - Curvas de retenção de umidade para as profundidades de 0-30, 30-60 e 60-90 cm.

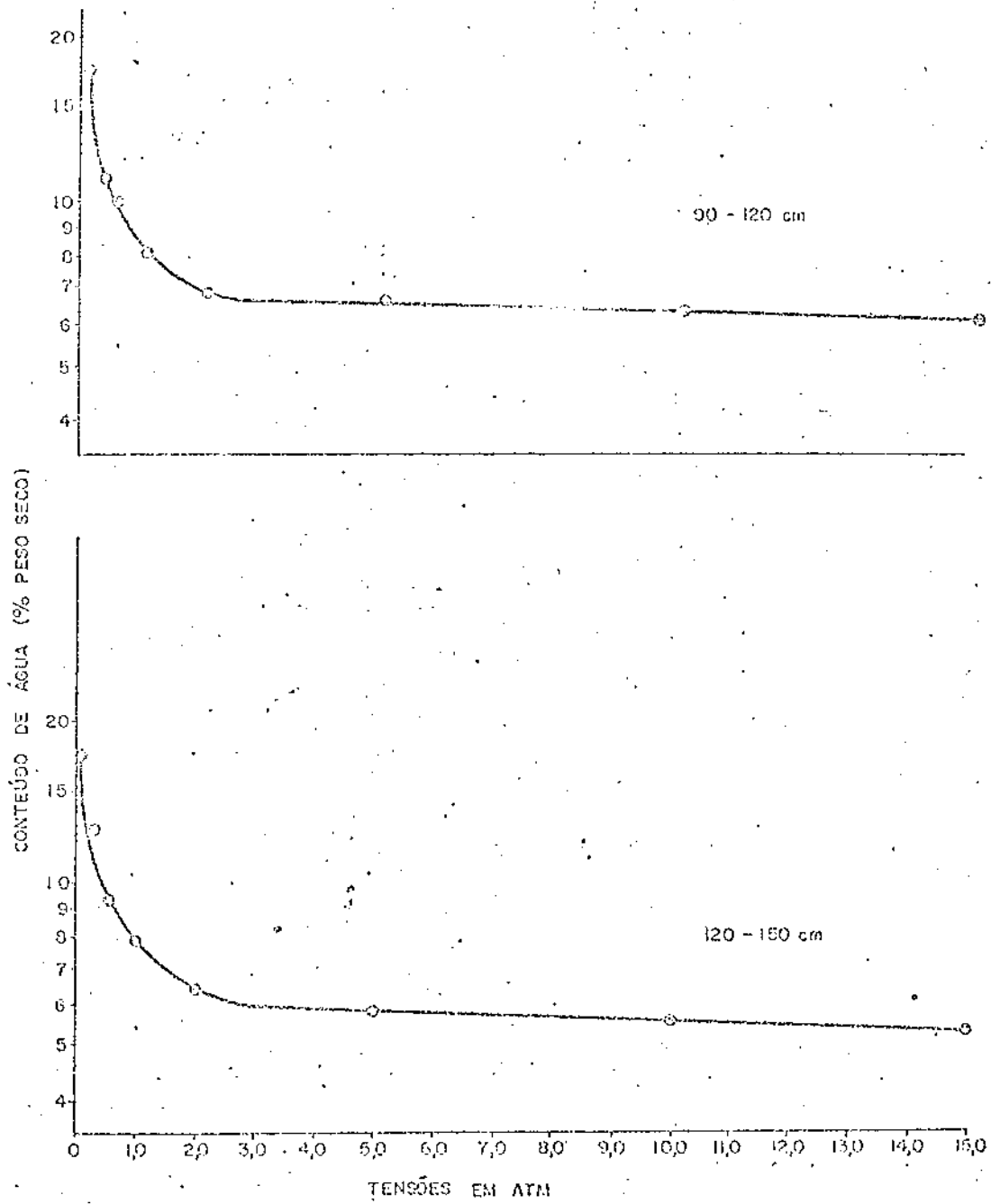


FIGURA 2 - Curvas de retenção de umidade para as profundidades de 90-120, 120-150 cm.

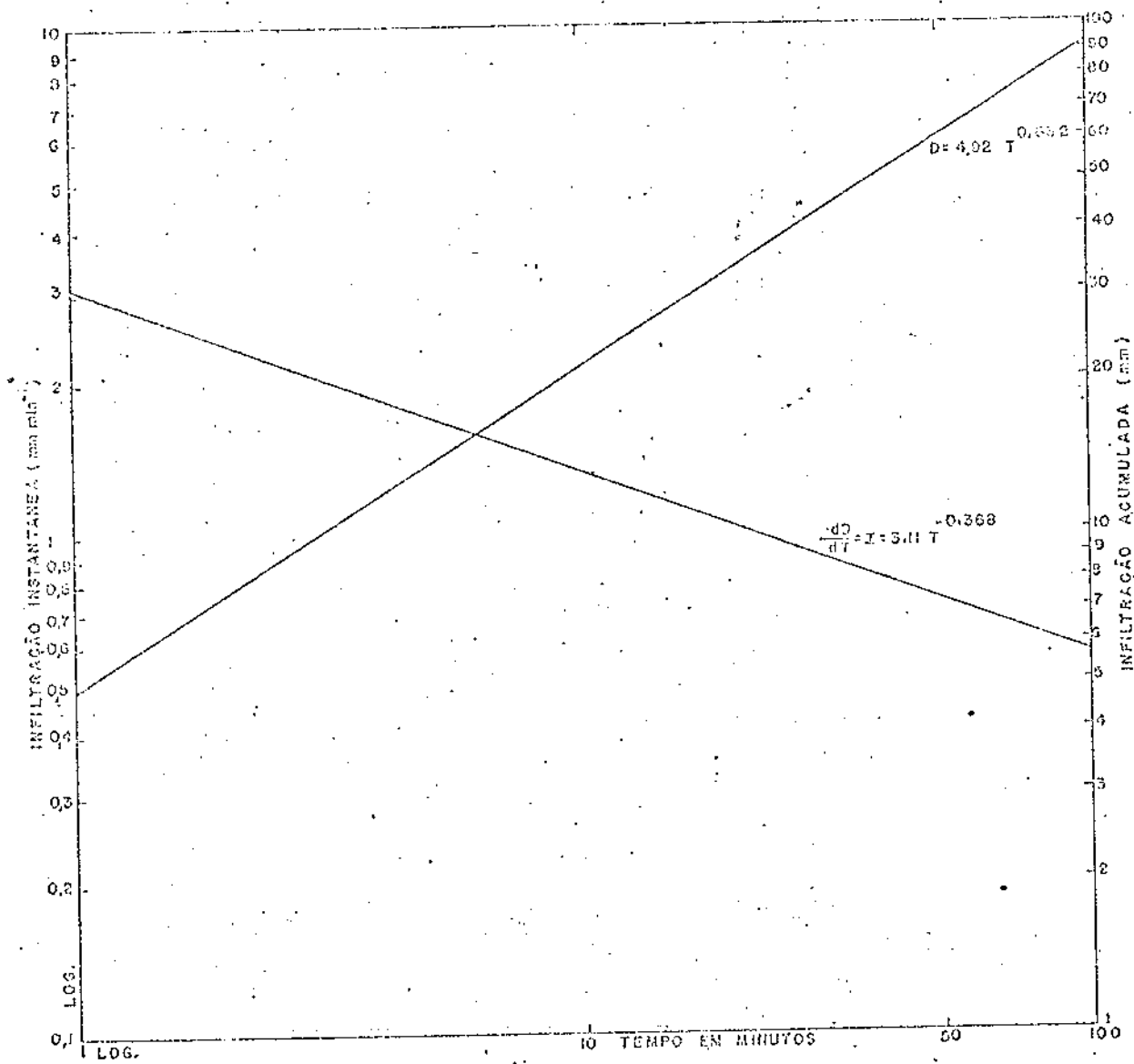


FIGURA 3 - Curvas de infiltração acumulada e instantânea (média de 6 repetições).

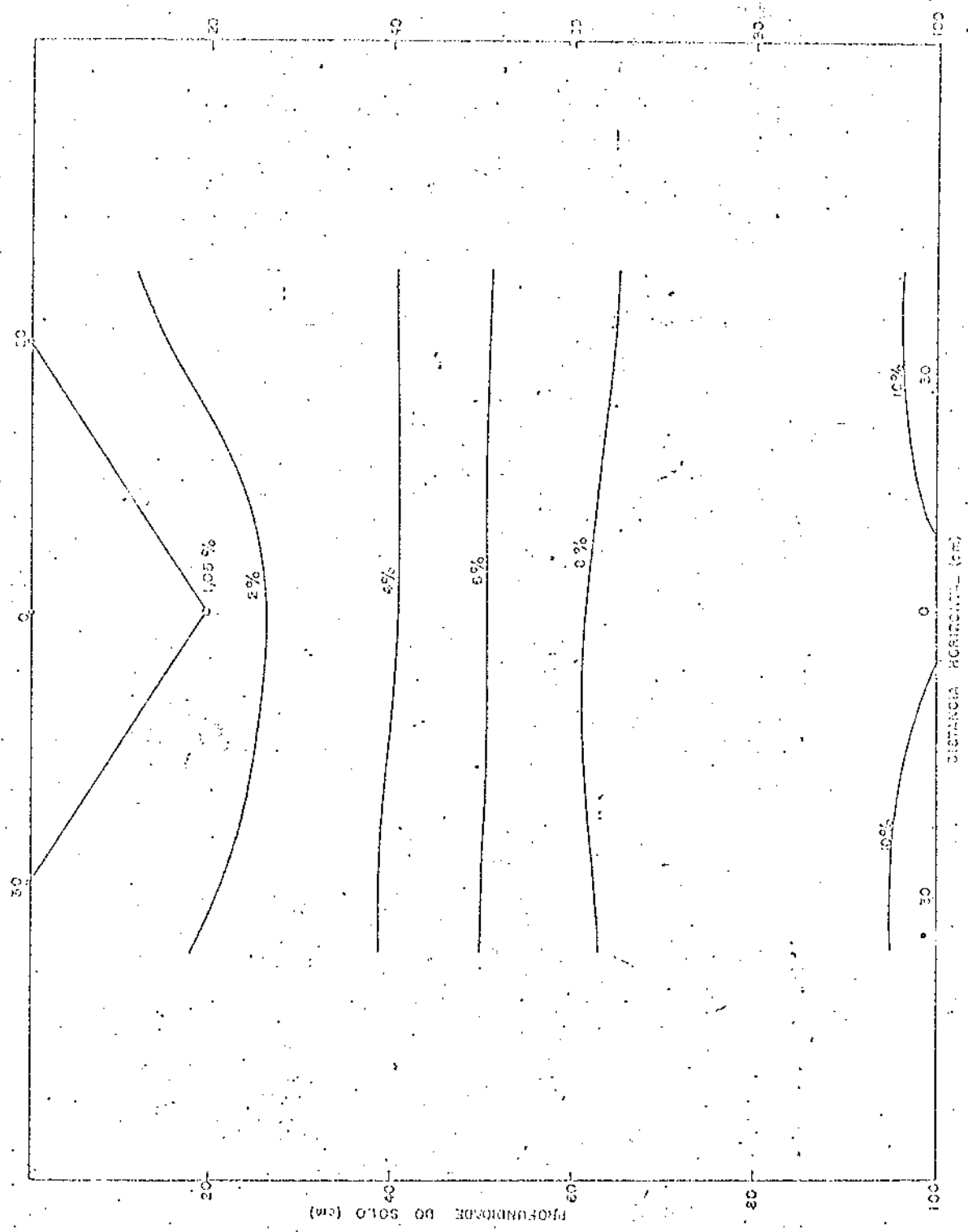


FIGURA 4 - Perfil de distribuição do conteúdo de água no interior de um solo em perfil de irrigação.

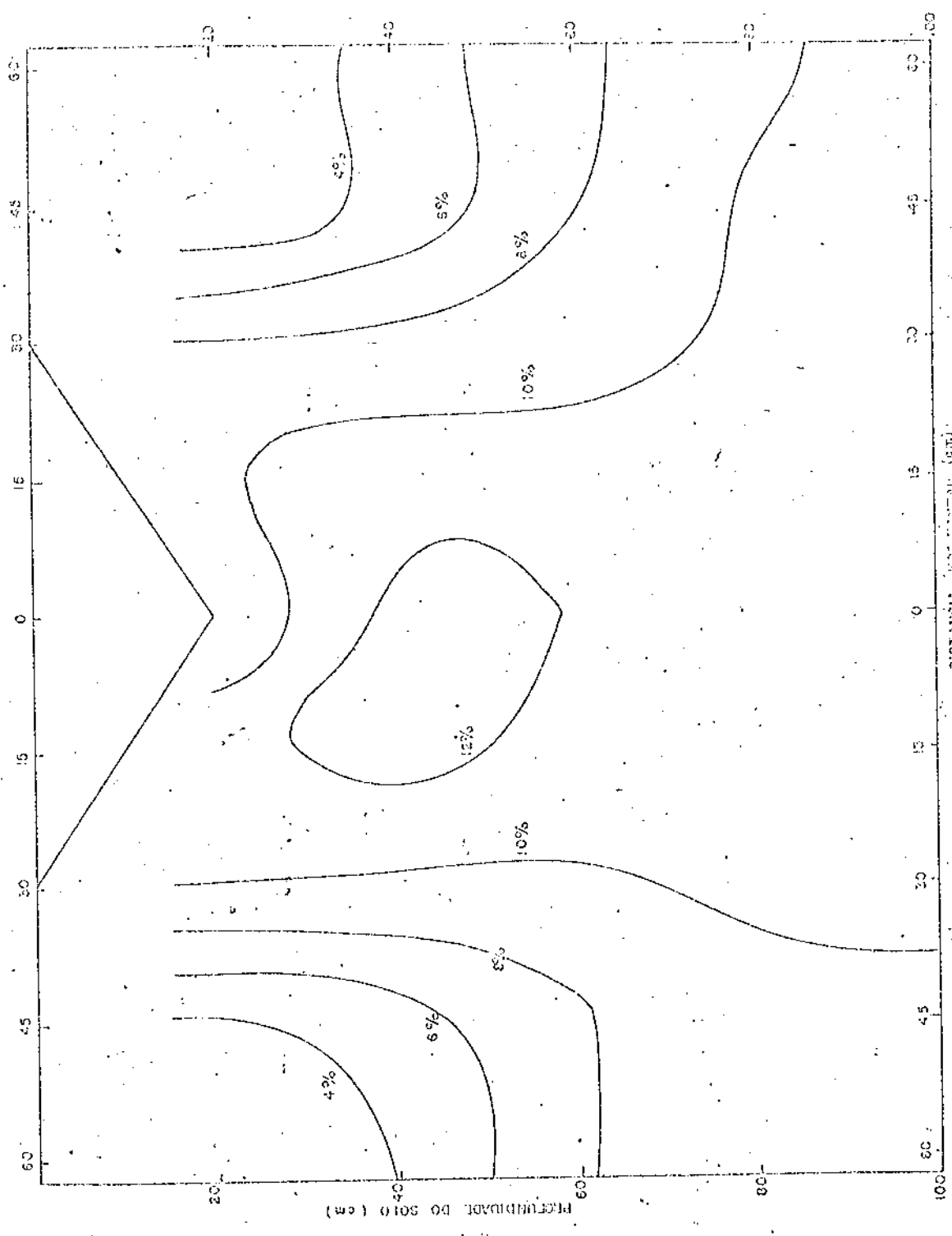


FIGURA 5 - Perfil de distribuição de água no interior do solo em porcentagem, 18 h após a aplicação de uma lâmina de 90 mm.

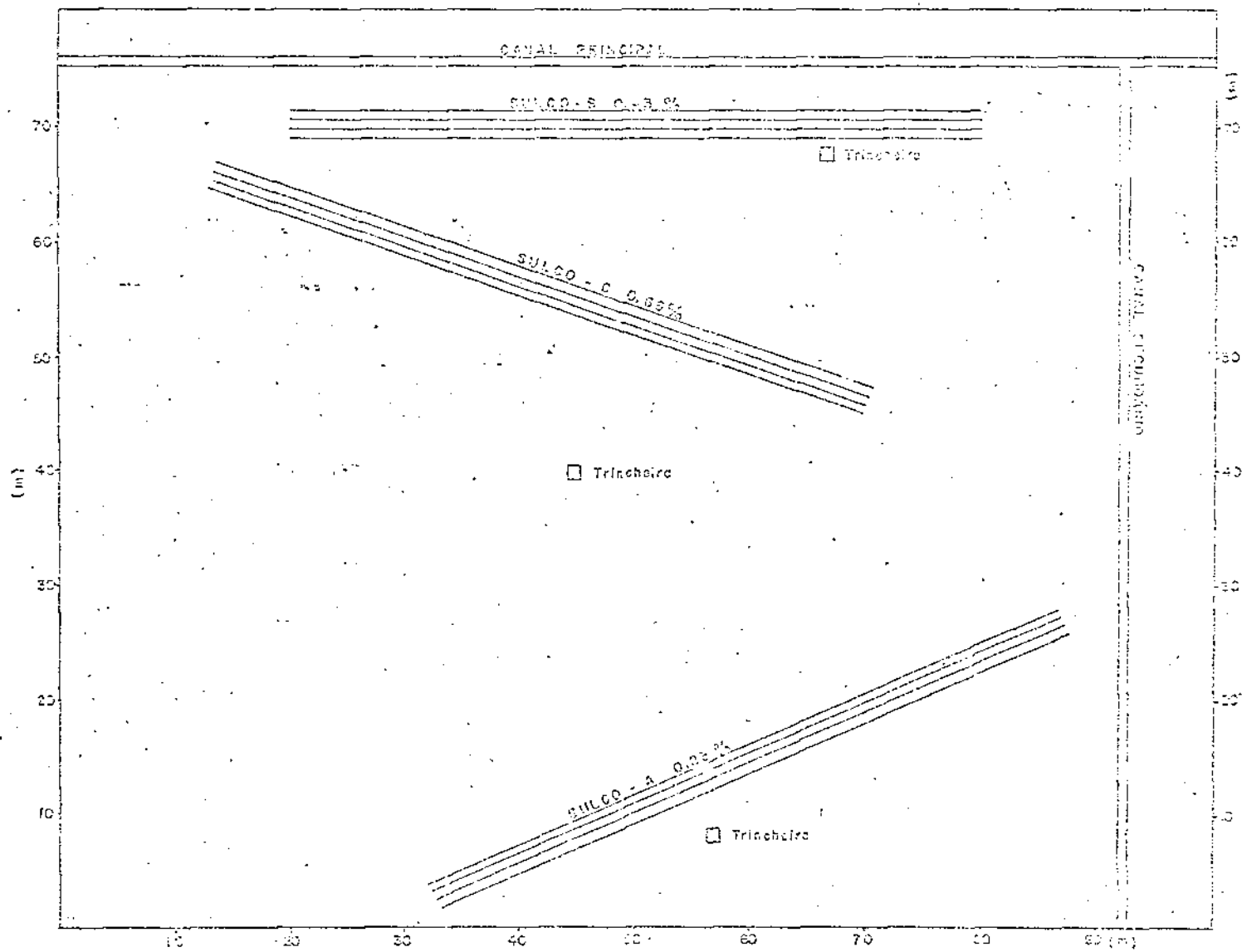


FIGURA 6 - Esquema de distribuição dos sulcos de diferentes declividades e localização das trincheiras no campo.

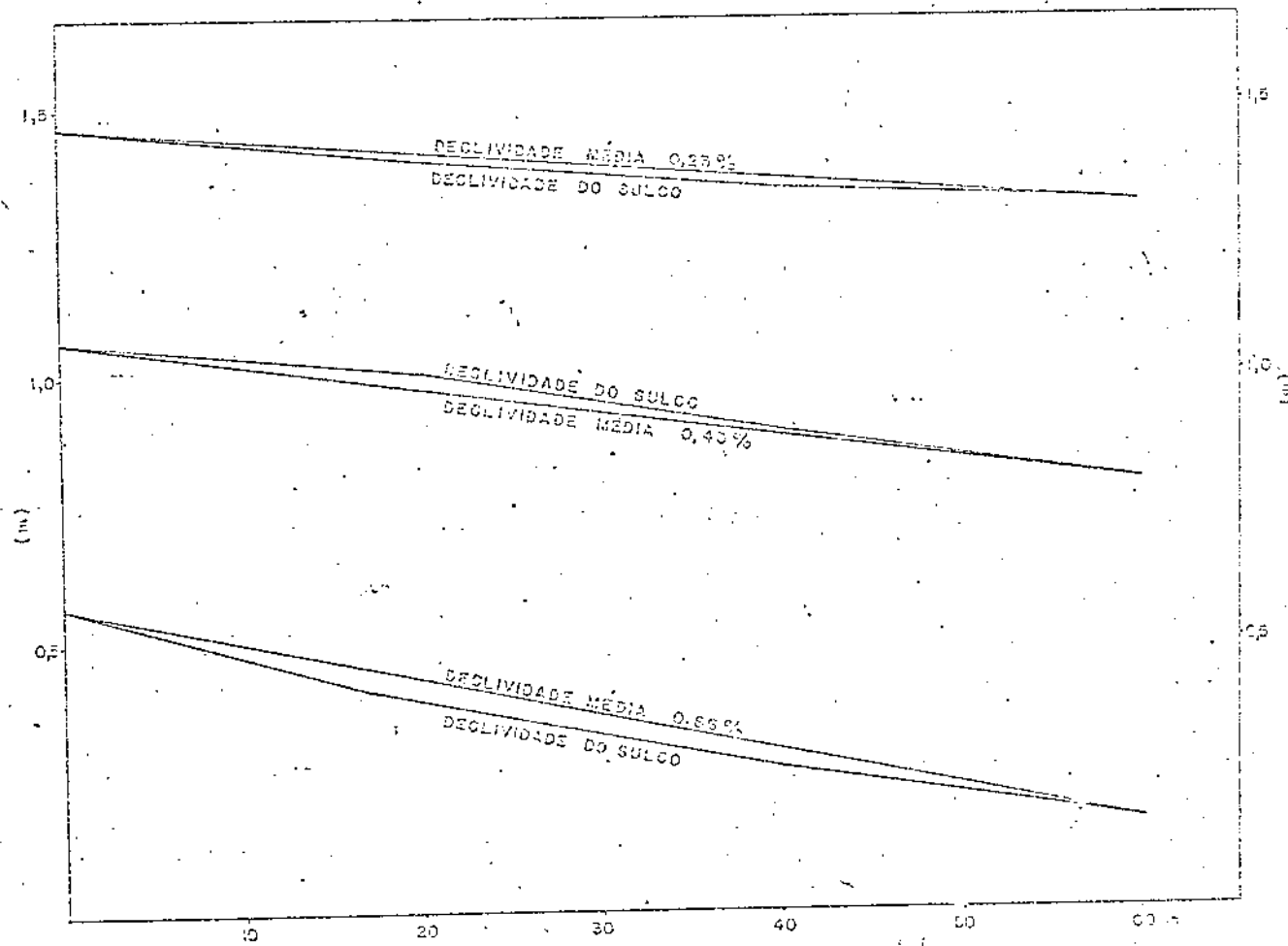


FIGURA 7 - Declividade média e do fundo do sulco.

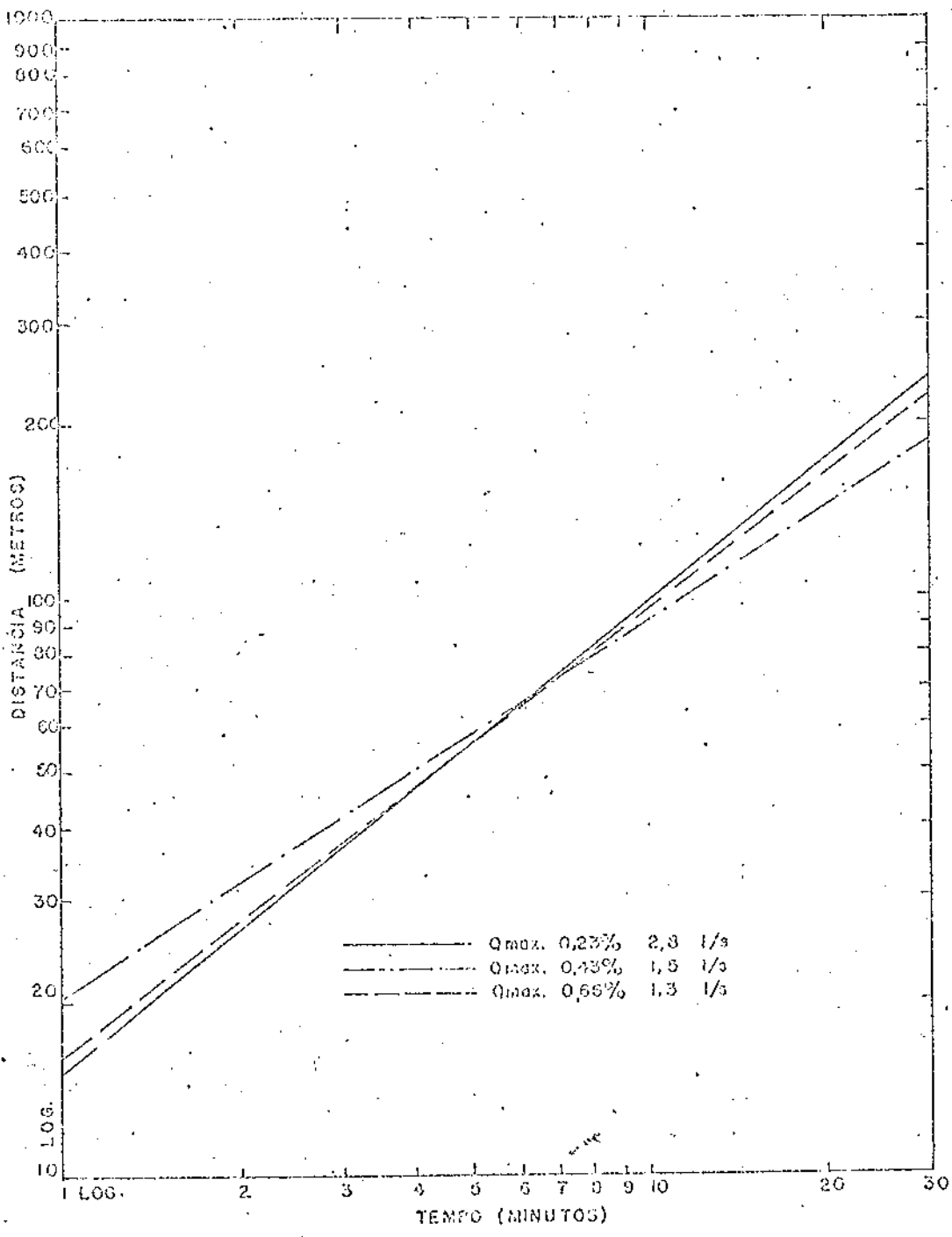


FIGURA 3 - Curvas de avanço para as declividades de 0,23; 0,43 e 0,66% com o uso da vazão máxima não erosiva.

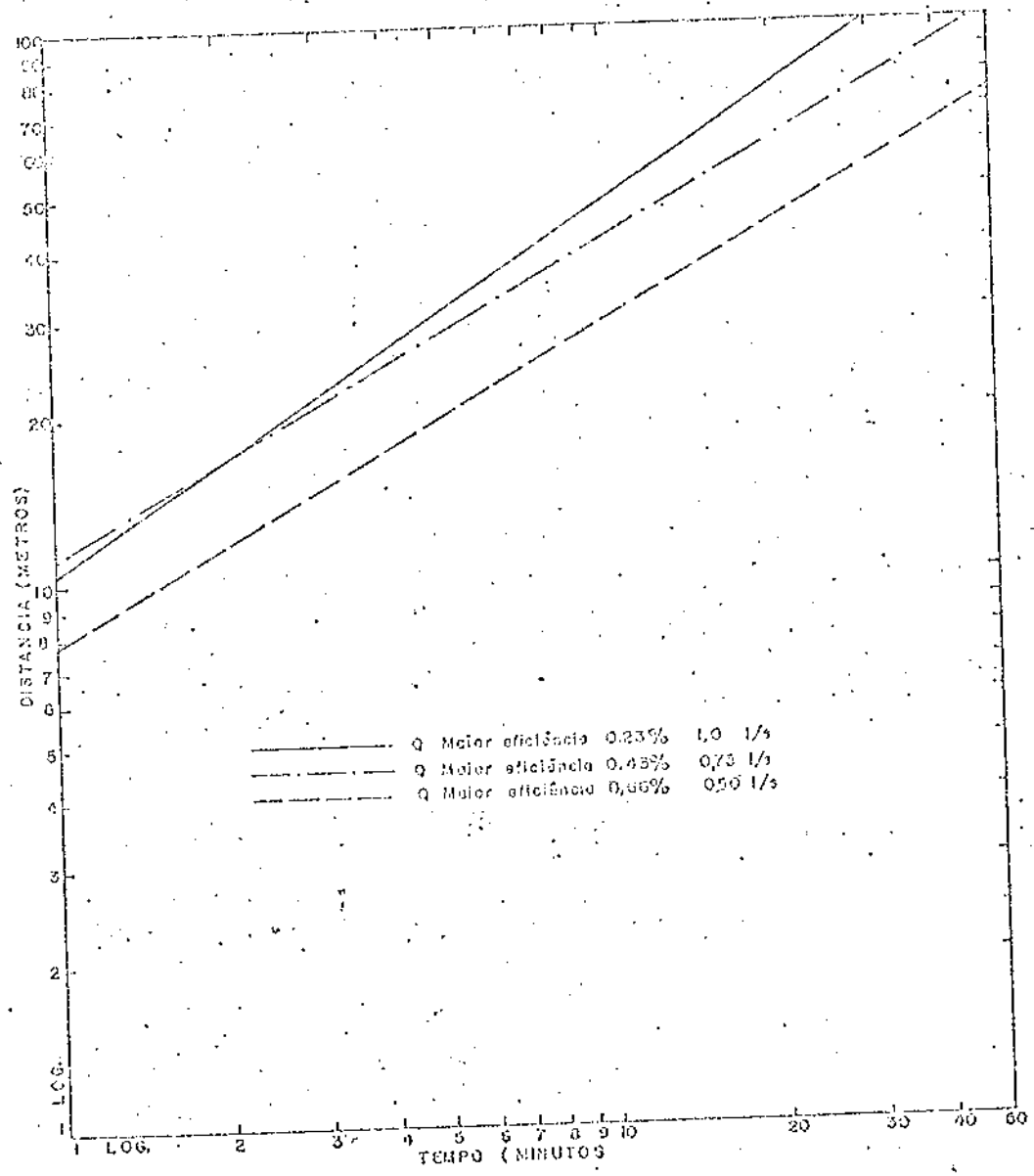


FIGURA 9 - Curvas de avanço para as declividades de 0,23; 0,43 e 0,66% com o uso das vazões mais eficientes.