

AVANÇO DA ÁGUA E INTENSIDADE DE
INFILTRAÇÃO EM SULCOS DE IRRIGAÇÃO

Geraldo Benedicto Barreto
Eng^o Agr^o Chefe da Seção de
Irrigação do Instituto Agro-
nômico do Estado de S. Paulo

Tese para obtenção do título de Doutor em
Agronomia, apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Uni-
versidade de São Paulo

- Campinas -
Estado de São Paulo - Brasil.
1971

A TODOS QUANTOS, DE UMA OU DE
OUTRA FORMA, TÊM CONTRIBUIDO
PARA O DESENVOLVIMENTO DA IR-
RIGAÇÃO EM NOSSO PAÍS, RES-
PEITOSA

H o m e n a g e m

A minha espôsa
Aos meus irmãos
Aos meus saudosos pais

D e d i c o

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dn. Justo Moretti Filho, pela orientação dos trabalhos.

Ao Eng^o Agr^o Toshio Igue, pela orientação e ajuda nos cálculos e na análise estatística.

Aos Eng^{os} Agr^{os} Dirceu Brasil Vieira e João B.I. Demattê, pelo auxílio na realização dos testes.

Aos Eng^{os} Agr^{os} Sebastião Alves, Antônio Junqueira Reis e João Aloisi Sobrinho, chefes das Estações Experimentais de Monte Alegre do Sul, Ribeirão Preto e Pindorama, respectivamente pelas facilidades oferecidas.

Aos Eng^{os} Agr^{os} João Bertoldo de Oliveira, José Maria A. da Silva Valadares e ao Geólogo Carlos Laerte Rotta, pela ajuda na caracterização dos solos.

Ao Eng^o Agr^o Heli Camargo Mendes e Dona Lygia Abramides Testa pela revisão do texto.

Aos demais colegas e funcionários do Instituto Agrônômico, que de uma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho.

C O N T E Ú D O

	<u>Página</u>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	4
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1 - Características dos solos	10
3.1.1 - Unidade Monte Alegre do Sul.....	12
3.1.2 - Unidade Ribeirão Preto	12
3.1.3 - Unidade Pindorama	13
3.2 - Seleção do equipamento	14
3.3 - Métodos	15
3.3.1 - Quantidade de água necessária para colocar o solo na capacidade de campo	17
3.3.2 - Intensidade de infiltração	17
3.3.3 - Intensidade de avanço da água no sulco	20
3.3.4 - Vazão máxima admissível nos sulcos de irrigação	21
3.4 - Plano Experimental	22
4 - RESULTADOS E ANÁLISE	25
4.1 - Intensidade de avanço da água em sulcos de irrigação	25
4.1.1 - Unidade Monte Alegre do Sul. Testes em solo Podzólico Vermelho Amarelo- -orto	25
4.1.2 - Unidade Ribeirão Preto. Testes em solo Latossol Roxo	35

4.1.3 - Unidade Pindorama. Testes em solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília	45
4.2 - Equações de infiltração	63
4.2.1 - Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul) ..	63
4.2.2 - Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	71
4.2.3 - Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	76
5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	81
5.1 - Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	82
5.2 - Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto).	83
5.3 - Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	83
5.4 - Aplicação prática dos resultados	84
6 - CONCLUSÕES	87
7 - RESUMO	90
8 - SUMMARY	92
9 - LITERATURA CITADA	94

FIGURAS

	<u>Páginas</u>
FIG. 1 - Aspecto geral da equação de infiltração $I = KT^n$ em papel bi-logarítmico	5
FIG. 2 - Aspecto geral de curvas de avanço da água em sulcos de irrigação	8
FIG. 3 - Calha para medição de vazão	16
FIG. 4 - Curvas de avanço da água em sulcos de ir- rigação. Declive 1%. Solo Podzólico Ver- melho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	30
FIG. 5 - Curvas de avanço da água em sulcos de ir- rigação em papel bilogarítmico. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unida- de Monte Alegre do Sul)	31
FIG. 6 - Curvas de avanço da água em sulcos de irriga- ção. Declive 5%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)..	32
FIG. 7 - Curvas de avanço da água em sulcos de irriga- ção em papel bilogarítmico. Declive 5%. So- lo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	33
FIG. 8 - Curvas de avanço da água em sulcos de irriga- ção. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Uni- dade Ribeirão Prêto)	40
FIG. 9 - Curvas de avanço da água em sulcos de irriga- ção em papel bilogarítmico. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Prêto).	41

FIG. 10 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto)	42
FIG. 11 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto).	43
FIG. 12 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	52
FIG. 13 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	53
FIG. 14 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	54
FIG. 15 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).	55
FIG. 16 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	56
FIG. 17 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	57

FIG. 18 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	58
FIG. 19 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	59
FIG. 20 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Variação constante 0,6 litros/seg. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul) $I = 14,84 T^{-0,3346}$	67
FIG. 21 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 0,6 litros/seg. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul). $F = 0,3718 T^{0,6654}$	68
FIG. 22 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,5 litros/seg. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul). $I = 19,52 T^{-0,5181}$	69
FIG. 23 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,5 litros/seg. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul). $F = 0,675 T^{0,4819}$	70
FIG. 24 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive do 1%. Vazão constante 1,2 litros/seg. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto). $I = 9,936 T^{-0,3118}$..	74

FIG. 25 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,2 litros/seg. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto). $F = 0,2403 T^{0,6892}$	75
FIG. 26 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive do sulco 1%. Vazão constante 2,2 litros /seg. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama). $I = 82,01 T^{-0,7576}$	80

QUADROS

QUADRO 1 - Classificação e localização dos solos utilizados	11
QUADRO 2 - Análise granulométrica e retenção de umidade da unidade Monte Alegre do Sul	12
QUADRO 3 - Análise granulométrica e retenção de umidade da unidade Ribeirão Preto	13
QUADRO 4 - Análise granulométrica e retenção de umidade da unidade Pindorama	14
QUADRO 5 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	26
QUADRO 6 - Umidade do solo na ocasião do teste	27
QUADRO 7 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	27

QUADRO 8 - Umidade do solo na ocasião do teste	28
QUADRO 9 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	28
QUADRO 10 - Umidade do solo na ocasião do teste	29
QUADRO 11 - Análise de variância dos dados do QUADRO 5.	34
QUADRO 12 - Análise de variância dos dados do QUADRO 7.	34
QUADRO 13 - Análise de variância dos dados do QUADRO 9.	34
QUADRO 14 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	36
QUADRO 15 - Umidade do solo na ocasião do teste	36
QUADRO 16 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	37
QUADRO 17 - Umidade do solo na ocasião do teste	37
QUADRO 18 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	38
QUADRO 19 - Umidade do solo na ocasião do teste	38
QUADRO 20 - Análise de variância dos dados do QUADRO 14.	44
QUADRO 21 - Análise de variância dos dados do QUADRO 16.	44
QUADRO 22 - Análise de variância dos dados do QUADRO 18.	44
QUADRO 23 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	46
QUADRO 24 - Umidade do solo na ocasião do teste	46

QUADRO 25 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	47
QUADRO 26 - Umidade do solo na ocasião do teste	47
QUADRO 27 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	48
QUADRO 28 - Umidade do solo na ocasião do teste	48
QUADRO 29 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	49
QUADRO 30 - Umidade do solo na ocasião do teste	49
QUADRO 31 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).	50
QUADRO 32 - Umidade do solo na ocasião do teste	50
QUADRO 33 - Análise de variância dos dados do QUADRO 17.	60
QUADRO 34 - Análise de variância dos dados do QUADRO 19.	60
QUADRO 35 - Análise de variância dos dados do QUADRO 21.	60
QUADRO 36 - Análise de variância dos dados do QUADRO 23.	61
QUADRO 37 - Análise de variância dos dados do QUADRO 31.	61
QUADRO 38 - Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade para as equações das TABELAS apresentadas	62
QUADRO 39 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	64

QUADRO 40	- Umidade do solo na ocasião do teste.....	65
QUADRO 41	- Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)	65
QUADRO 42	- Umidade do solo na ocasião do teste	66
QUADRO 43	- Análise de variância dos dados do QUADRO 39.	66
QUADRO 44	- Análise de variância dos dados do QUADRO 41.	66
QUADRO 45	- Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	72
QUADRO 46	- Umidade do solo na ocasião do teste	72
QUADRO 47	- Análise de variância dos dados do QUADRO 45.	73
QUADRO 48	- Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)	78
QUADRO 49	- Umidade do solo na ocasião do teste	78
QUADRO 50	- Análise de variância dos dados do QUADRO 48.	79

TABELAS

TABELA 1	- Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).	29
TABELA 2	- Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto)	39
TABELA 3	- Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (unidade Pindorama)	57

1 - INTRODUÇÃO

A quantidade anual de chuva de uma região e sua freqüência determinam a necessidade da irrigação suplementar. Na suplementação intervêm, naturalmente, os fatores relacionados à retenção de água pelo solo e as necessidades das plantas.

Segundo estudos realizados pela Seção de Irrigação do Instituto Agrônômico, TOSELLO (1956), 82% da precipitação média anual - cêrca de 1235 mm, ocorrem de outubro a março no planalto paulista e seus vales interiores, com a média mensal de 169 mm. Os 18% restantes se distribuem de abril a setembro e correspondem a uma precipitação média de 36 mm. Sem considerar o solo e a planta, o déficit de água de abril a setembro indica a necessidade de suplementação de água apenas para cultivar, cujo ciclo ocorre nesta época.

A estimativa média anual das exigências de evapotranspiração é da ordem de 1080 mm, 61% dos quais ocorrem no período de outubro a março, com a média mensal de

110 mm; os restantes 39% se distribuem de abril a setembro, com a média mensal de 70 mm.

Comparando-se a precipitação média com a evapotranspiração média, verifica-se que, no período chuvoso, há excesso médio mensal de água da ordem de 59 mm, enquanto que no período da seca, o déficit mensal médio é da ordem de 34 mm. Há, portanto, abundância de chuvas num período e escassez no outro, originando as secas sazonais, característica importante do clima do Estado de São Paulo.

Do exposto, conclui-se que a irrigação suplementar constitui uma necessidade em nosso Estado, principalmente para determinadas culturas. Tal fato é evidenciado pelo interesse que essa prática agrônômica vem despertando nos meios oficiais e particulares, não só do Estado de São Paulo como de todo o Brasil, havendo marcante interesse em relação à irrigação pelo sistema de sulcos.

Os sistemas de irrigação por sulcos raramente são adaptados ao tipo de solo e à topografia das áreas para as quais são projetados. Antes de se projetar um sistema de irrigação para determinada área, em geral se desconhece qual a erodibilidade do solo, o declive do terreno e o comprimento, a ser assumido pelos sulcos bem como a vazão de irrigação que nêles será introduzida a fim de proporcionar uma distribuição adequada de água na zona do sistema radicular da planta.

Nos sistemas de irrigação implantados na base de improvisações são comuns as produções irregulares, mais devido a imperfeições na distribuição de água do que à variação da fertilidade do solo.

Na irrigação por sulcos interferem vários fatores cuja ação faz com que o método constitua uma prática agrícola bastante complexa, principalmente considerando-se a escassez de dados referentes àqueles fatores, suas interli-

gações e a intensidade de ação de cada um dêles.

Numerosas fórmulas têm sido propostas para se calcular a intensidade de infiltração da água no solo, pois êsse dado é muito importante na execução de projetos de irrigação, principalmente por sulcos. Não menos importante é o conhecimento do comprimento e espaçamento admissíveis para os sulcos de irrigação, resultando daí o grande interêsse dos pesquisadores na determinação dêsses elementos básicos.

O presente trabalho constitui uma tentativa no sentido de obter informações que facilitem a elaboração de projetos de irrigação pelo sistema de sulcos.

Seu principal objetivo é determinar para os solos, Podzólico Vermelho Amarelo-orto, Latossol Roxo e Podzólicos de Lins e Marília - variação Marília, segundo uma vazão constante, a intensidade de avanço da água, o comprimento do sulco e a intensidade de infiltração, a fim de serem estabelecidas equações matemáticas que permitam calcular êsses valores para os solos considerados. Procura estabelecer, também, as relações entre a intensidade de avanço da água no sulco e erosão, para os mesmos solos.

Procurou-se atingir êsse objetivo, utilizando-se do método delineado por CRIDDLE (1956) a fim de obter resultados básicos para futuros projetos de irrigação por sulcos, facilitando sua execução e talvez melhorando sua técnica.

Os resultados são apresentados de forma a permitir sua utilização pelos especialistas em projetos de irrigação.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

No estudo de sulcos de irrigação é importante a análise do avanço da água, desde a extremidade de montante até a de jusante do sulco, a fim de concluir-se acerca do comprimento que deve ter o sulco ou à respeito da intensidade de fluxo que confere uma uniformidade de distribuição de água com um mínimo de erosão.

Embora as determinações no próprio campo sejam as mais indicadas, existem expressões matemáticas para a avaliação da intensidade do avanço da água nos sulcos, sugeridas pelos pesquisadores no assunto. Elas oferecem algumas vantagens para efeito de anteprojeto, além de permitirem um estudo dos fatores que influem no avanço da água.

Para o caso particular da irrigação por sulcos, KOSTIAKOV (1932) propôs a seguinte fórmula, que não é válida para intensidades de infiltração próximas da constante:

$$I = KT^n, \quad \text{onde:}$$

I = intensidade de infiltração da água no solo em litros/min;

T = tempo em minuto em que a água é mantida sobre a superfície do solo;

K = uma constante relativa à infiltração na unidade de tempo;

n = expoente experimental

Colocando-se valores de (T) e (I), nos eixos das abcissas e das ordenadas, respectivamente, em papel bi-logarítmico, obtém-se uma curva semelhante à apresentada na FIG. 1, a qual permitirá determinar os valores de (K) e (n), sendo (k) igual à infiltração na unidade de tempo e (n) a inclinação da curva, ou seja, a distância vertical obtida no gráfico, dividida pela distância horizontal.

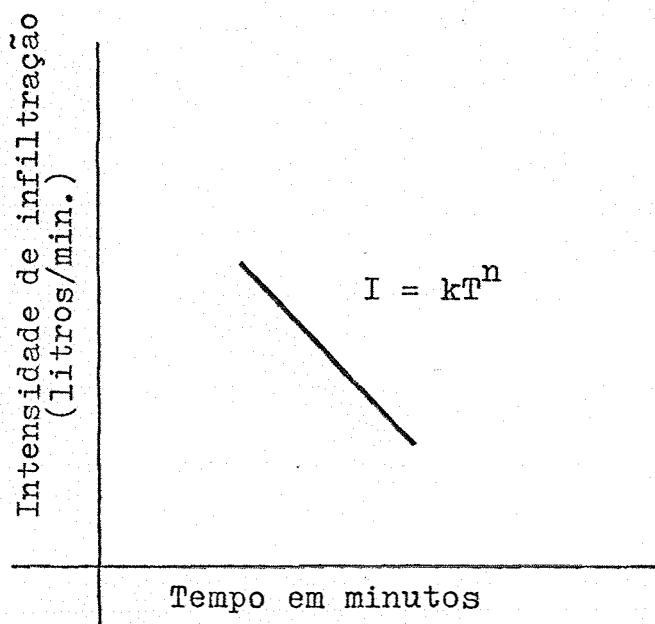


FIG. 1 - Aspecto geral da equação de infiltração $I = kT^n$ em papel bi-logarítmico.

Com base nas curvas de infiltração do solo idealizaram-se funções matemáticas que permitem calcular a infiltração em solos semelhantes.

Entre as funções propostas, uma das mais aceitas tem sido a de HORTON (1940), que apenas por ilustração é aqui inserida:

$$I = I_b + (I_o - I_b) e^{-kt}, \text{ onde:}$$

I = intensidade de infiltração no tempo t ;
 I_o = intensidade de infiltração inicial (para $t = 0$);
 I_b = intensidade de infiltração constante;
 k = constante dependente das condições do solo;
 e = base de logarítmos naturais.

A precisão dessa fórmula é difícil de ser avaliada, pela dificuldade de se determinar com exatidão, no campo, a intensidade de infiltração inicial.

LYON e PENNEFATHER (1946), estudando a irrigação por sulcos, verificaram a conveniência de reduzir de $1/4$ a $2/3$ a vazão inicialmente empregada, de acordo com as características do solo, sendo que maiores vazões deverão ser empregadas em solos pesados.

SHIBATA (1956) determinou quantitativamente os efeitos da vazão inicial e do declive do sulco no avanço da água nos sulcos, para solos do seu país (Japão), estabelecendo a seguinte equação, para o cálculo do avanço:

$$\log t = (1,608 - 0,106 q) + iL/(B_i - a)$$

na qual

i = declividade do sulco em porcentagem;

L = comprimento do sulco em metros;

q = vazão de entrada no sulco em litros/seg;

t = tempo de percurso da água no sulco, desde à entrada até à saída do sulco;

a,B = coeficientes que têm os seguintes valores:

(q) em litros/seg	a	B
2,0	8,5	42,0
1,5	9,7	42,5
1,0	10,8	43,0
0,5	12,0	43,5

Concluiu, por essa equação, que o tempo gasto pela água para percorrer a distância (L) varia com o declive do sulco e com a vazão.

CRIDDLE et al (1956) sugeriram, para calcular o tempo total necessário para elevar a umidade do solo ao nível desejado em irrigação por sulcos, e para determinada intensidade de infiltração, a equação:

$$T = \left[\frac{60 h (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

Essa equação resultou da integração da equação $I = KT^n$ de KOSTIAKOV (1932); (h) representa a quantidade de água, ou milímetros de altura de água a aplicar-se por irrigação.

Há, ainda, outros autores que desenvolveram equações considerando variável a intensidade de infiltração e não uniforme a profundidade d'água nos sulcos, bem como os

reflexos do declive e rugosidade das paredes. Pode-se destacar o trabalho de BOUWER (1957) que observa que alguns erros podem ocorrer se as intensidades de infiltração, calculáveis simultaneamente segundo seu método, variarem rapidamente com o tempo e, sobretudo, se não for considerado não uniforme a profundidade da água.

GRAY e BEER (1957) reconheceram que a intensidade de infiltração da água no solo pode variar através do comprimento do sulco, não somente devido às variações da estrutura do solo, mas também devido ao decréscimo progressivo da superfície molhada. Propuseram a seguinte expressão para o cálculo do avanço da água em sulcos de irrigação:

$$T = KD^n, \text{ na qual,}$$

T = tempo em minutos;

D = distância em metros;

K = constante, igual intensidade na unidade de tempo;

n = declividade da reta.

Colocando-se os valores de (D) e (T) nos eixos das abcissas e das ordenadas, respectivamente, obtêm-se curvas semelhantes às apresentadas na FIG. 2.

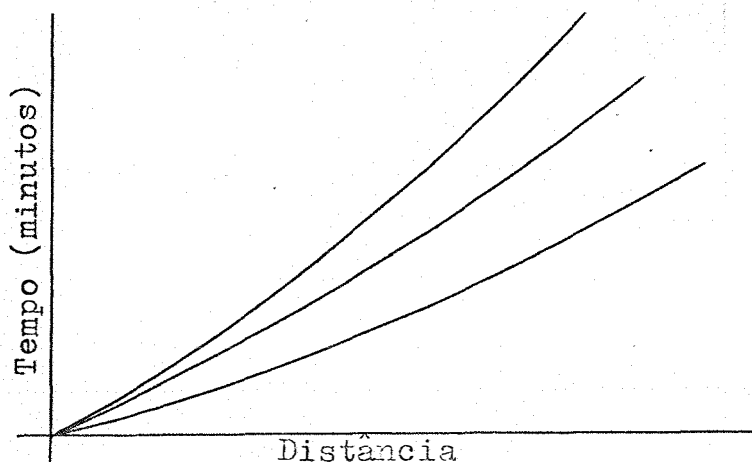


FIG. 2 - Aspecto geral de curvas de avanço da água em sulcos de irrigação.

De acôrdo com THORNTON (1960), estudos para determinar a proporção de aplicação de água relacionada com o declive, forma a rugosidade das paredes dos canais, foram inicialmente realizados em 1957, em Elsberry, Missouri em solo do tipo "Sharon silt loam". Os ensaios mostraram que a forma apresentada pelo sulco tem considerável influência sôbre o avanço da água.

VAUGHN et al (1960) são de opinião que a hidráulica da irrigação por sulcos ainda não está bem estudada e sugerem uma série de elementos que devem ser melhor investigados. Entre êsses, incluem-se a vazão, o tipo de solo e o declive do sulco, além de suas características hidráulicas.

OLITTA (1970), estudando a variação das características hidráulicas da infiltração da água em sulcos de irrigação, concluiu que há uma variação nas características hidráulicas da irrigação por sulcos de infiltração durante a fase de desenvolvimento vegetativo das culturas estudadas, evidenciada pelo aumento dos valores das constantes (k) e (n) da equação de infiltração da forma $I = KT^n$.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Características dos solos

A escolha dos solos para êste trabalho é justificada por serem dos principais no Estado de São Paulo, tanto em extensão como em importância econômica. Além disso apresentam a circunstância favorável de estarem localizados em estações experimentais do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. A identificação dos solos utilizados é apresentada no QUADRO 1.

QUADRO 1 - Classificação e localização dos solos utilizados

Localização	Grande Grupo	Nome da Unidade
Est. Exp. de Monte Alegre do Sul	Podzólico Vermelho Amarelo-orto	Unidade Monte Alegre do Sul
Est. Exp. de Ribeirão Preto	Latossol Roxo	Unidade Ribeirão Preto
Est. Exp. de Pindorama	Podzolizados de Lins e Marília - - variação Marília	Unidade Pindorama

Procedeu-se à amostragem em camadas de espessura arbitrária porque esta é a prática comumente adotada em experimentos de irrigação.

A identificação e análise granulométrica dos solos foi realizada pela Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Esta análise se conduziu segundo as recomendações de MEDINA e GROHMANN (1962). A unidade de murchamento (Um) e a capacidade de campo (Cc) foram estimadas pela retenção de umidade a 15 e 1/3 atmosferas, respectivamente, conforme determinações realizadas pelo mesmo Instituto.

As características gerais das unidades de solo consideradas, pertinentes a este trabalho, são apresentadas a seguir.

3.1.1 - Unidade Monte Alegre do Sul

De acôrdo com a Comissão de Solos do SNPA (1960) êsse solo é classificado como Podzólico Vermelho Amarelo-orto. Segundo ROTTA et al (1971) trata-se de solo profundo com a espessura dos horizontes A+B superior a 80 cm. O horizonte A, com textura barrenta é seguido de um horizonte argílico com mais de 50 cm de espessura e textura argilosa.

O relêvo de um modo geral é ondulado a forte ondulado.

Os resultados da análise granulométrica e de retenção de umidade na amplitude geralmente considerada como água disponível às plantas são apresentados no QUADRO 2.

QUADRO 2 - Análise granulométrica e retenção da umidade da unidade Monte Alegre do Sul

Prof.da Amostra	Argila	Limo	Areia Fina	Areia Grossa	Classificação	Um	Cc	Pêso Específico Aparente
cm	%	%	%	%		%	%	
0-25	28,7	11,3	29,3	30,7	Barrento	13,4	20,5	1,36
25-50	51,2	8,8	22,6	17,4	Argiloso	17,5	25,4	1,45
50-75	53,7	6,3	19,4	20,6	Argiloso	17,8	26,3	1,35
75-100	56,2	6,3	20,7	16,8	Argiloso	19,0	27,7	1,34

3.1.2 - Unidade Ribeirão Prêto

Esta unidade, a mais representativa da Estação Experimental de Ribeirão Prêto, pertence ao Grande Grupo Latossol roxo, segundo a Comissão de Solos do SNPA (1960); Trata-se de solo profundo, de textura argilosa, muito friável e

com pequena diferenciação de horizontes. Apresenta alta permeabilidade apesar do alto teor de argila (acima de 50%) em toda a extensão do perfil. Este fato é devido, provavelmente, ao alto teor de microagregados estáveis em água, segundo a mesma e MEDINA e GROHMANN (1962). O relêvo, de um modo geral, é suavemente ondulado.

Os resultados da análise granulométrica e de retenção de umidade são apresentados no QUADRO 3.

QUADRO 3 - Análise granulométrica e retenção de umidade da unidade Ribeirão Preto

Prof. da Amostra	Argila	Limo	Areia Fina	Areia Grossa	Classificação	Um	Cc	Pêso Específico Aparente
cm	%	%	%	%		%	%	
0 - 25	46,2	21,3	27,4	5,1	Argiloso	21,1	29,2	1,09
25 - 50	60,0	12,5	24,4	3,1	Argiloso	21,8	31,6	1,05
50 - 75	53,7	15,0	27,0	4,3	Argiloso	21,4	30,4	1,03
75 - 100	61,2	13,8	21,8	3,2	muito argiloso	22,3	31,0	1,09

3.1.3 - Unidade Pindorama

Esta unidade é classificada pela Comissão de Solos (1960) como Podzolizados de Lins e Marília, variação Marília, ao nível de Grande Grupo. Apresenta um horizonte de superfície de textura fina-arenosa a muito arenosa ascende sobre um horizonte argílico de textura barrenta. Esta variação de textura no perfil causa uma variação correspondente na permeabilidade deste solo. O relêvo é ondulado.

O QUADRO 4 mostra os resultados da análise granulométrica e de retenção de umidade para este solo.

QUADRO 4 - Análise granulométrica e retenção de umidade da unidade Pindorama.

Prof. da Amostra	Argila	Limo	Areia Fina	Areia Grossa	Classificação(⌘)	Um	Cc	Pêso Específico Aparente
cm	%	%	%	%		%	%	
0 - 25	10,0	2,5	58,8	28,7	f.a.	6,8	9,4	1,58
25 - 50	18,7	2,5	55,3	23,5	f.a.b.	9,8	12,2	1,58
50 - 75	26,2	1,3	50,0	22,5	f.a.arg.	10,4	14,4	1,49
75 - 100	26,2	2,5	49,0	22,3	f.a.arg.	10,6	14,8	1,43

(⌘) f.a. = fino-areno; f.a.b.= fino-areno-barrento;
f.a.arg.= fino-areno-argiloso

3.2 - Seleção do equipamento

A medida exata e a manutenção de vazões constantes em sulcos de irrigação não constituem fácil tarefa, exigindo cuidados especiais. Com êsse objetivo, idealizou-se e construiu-se uma calha de madeira de aproximadamente dois metros de comprimento, a qual consta, em síntese, do seguinte (FIG.3): na extremidade inicial existem duas chicanas verticais destinadas a evitar a turbulência da água em um vertedor triangular de 90°, de bordos delgados e queda livre, situado na outra extremidade da calha. Lateralmente, um extravasor, construído na altura conveniente, mantém, satisfatoriamente, a vazão constante no vertedor triangular.

3.3 - Métodos

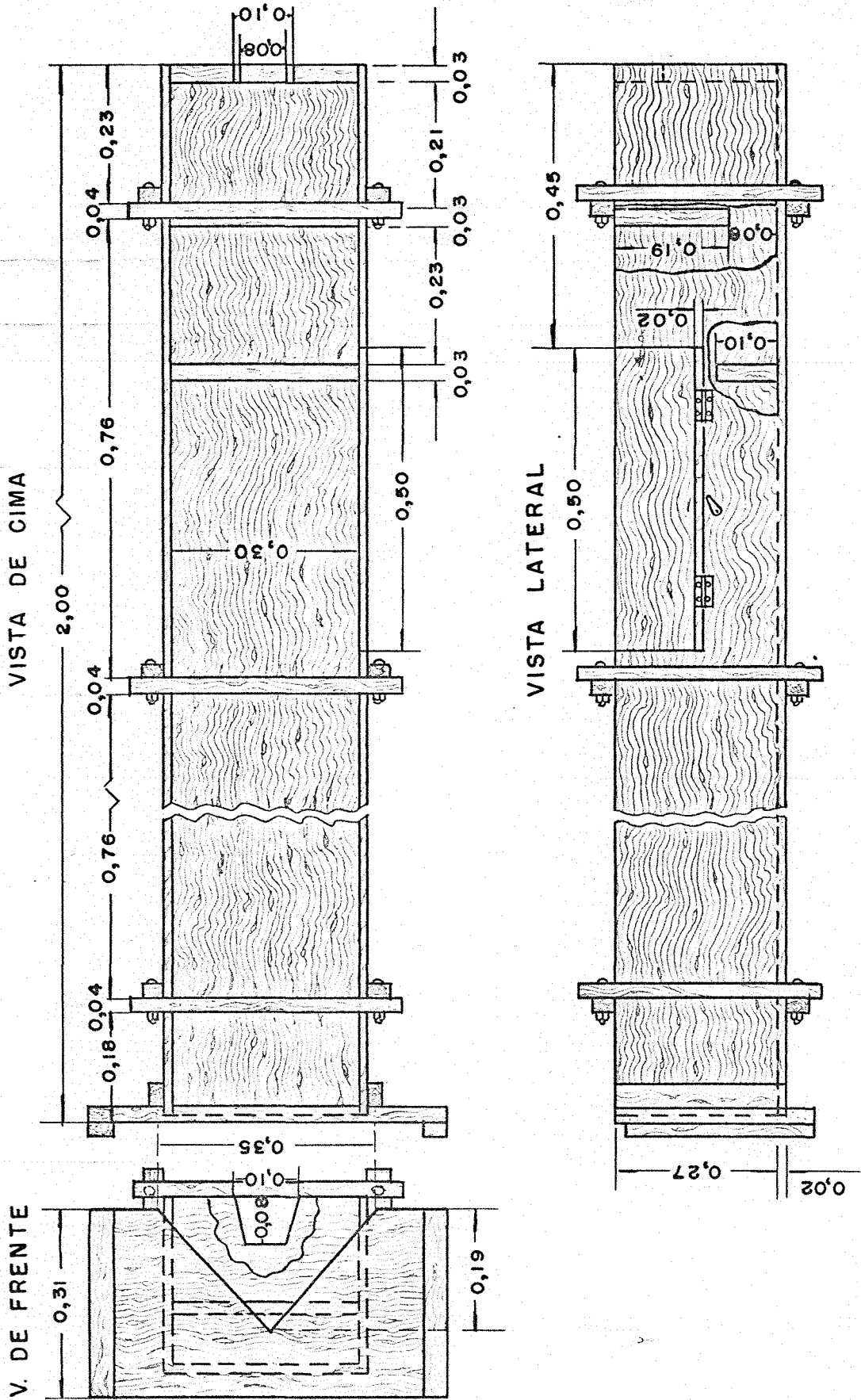
A irrigação por sulcos, em síntese, é constituída de uma rêde de canais distribuidores, revestidos ou não, e de sulcos de irrigação. Estes, em geral, se situam entre as linhas da cultura, com o objetivo de pôr a água em contacto com as raízes das plantas, fazendo-a deslocar-se lateralmente no solo. A água é colocada por meio de tubos ou canais na parte mais elevada da área a ser irrigada e, daí, distribuída nos sulcos de irrigação.

Na irrigação por sulcos, apenas uma parte do terreno é coberta pela água, processando-se tôda infiltração através do fundo e das paredes laterais dos sulcos.

Os fatores mais importantes a serem considerados nesse sistema são:

- a) quantidade de água necessária para colocar o solo na capacidade de campo, na profundidade considerada;
- b) intensidade de infiltração da água no solo;
- c) espaçamento dos sulcos;
- d) comprimento permissível do sulco;
- e) vazão máxima admissível no sulco;
- f) tempo de permanência da água no sulco, visando o item (a);
- g) avanço da água e tempo máximo admissível para a água percorrer o sulco.

Fig. 3 - CALHA PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO



3.3.1 - Quantidade de água necessária para colocar o solo na capacidade de campo

Pelos processos convencionais determinam-se a capacidade de campo, o ponto de murchamento permanente e o peso específico aparente do solo em que se pretende executar o projeto. De posse desses elementos, calcula-se a quantidade de água necessária pelos processos usuais.

Em seguida, usando-se sulcos experimentais, aplica-se no solo a quantidade de água calculada, efetuando-se determinação de umidade em amostras de solo do local da experiência, decorridas 48 a 72 horas da aplicação da água. O tempo necessário para colocar no solo a quantidade de água determinada pode ser calculado pela fórmula de CRIDDLE (1956):

$$T = \left[\frac{60 h (n+1)}{k} \right]^{\frac{1}{n+1}}, \text{ na qual}$$

T = tempo em minutos;

h = infiltração em mm/hora;

K e n = coeficiente e expoente experimentais.

3.3.2 - Intensidade de infiltração

De acordo com a terminologia usual em Física de Solo, a intensidade de infiltração de água no solo é definida como sendo aquela com a qual a água passa através da superfície do solo para a massa de solo, em dadas condições e a um dado tempo. Em outras palavras, é a proporção em relação ao tempo, com a qual o solo absorve uma pequena altura de

água colocada em sua superfície.

A proporção com a qual o solo absorve água decresce rapidamente após algum tempo, tendendo a se tornar constante, em geral, após algumas horas.

Colocando-se os valores da intensidade de infiltração de um solo no eixo das ordenadas e os do tempo decorrido no eixo das abcissas, em papel bilogarítmico, obtém-se uma curva semelhante à apresentada na FIG. 1, e indicada pela fórmula:

$$I = kT^n, \quad \text{onde:}$$

- I = intensidade de infiltração;
- T = tempo de permanência da água no sulco;
- k = constante, igual à velocidade na unidade de tempo;
- n = declividade da reta, igual à diferença de distância vertical obtida no gráfico entre dois pontos da reta, dividida pela distância horizontal correspondente.

O conhecimento da intensidade de infiltração é fundamental quando se projeta um sistema de irrigação, pois o cálculo do tempo necessário para se colocar no solo a quantidade de água desejada, além de outros fatores, depende muito desse valor.

A irrigação pelo sistema de sulcos constitui um dos métodos que se baseia no fato de que a intensidade de infiltração, previamente determinada, corresponda ao que ocorrerá na prática.

A vazão a ser aplicada nos sulcos, o comprimento, o declive e a forma destes, têm grande influência na eficiência da irrigação. Deve-se entender por eficiência da irrigação a relação entre a água aplicada e a

armazenada na profundidade da zona efetiva do sistema radicular da planta e que, posteriormente, será usada por esta.

A eficiência da irrigação vem a ser, portanto, a relação entre a quantidade de água aplicada e a quantidade de água armazenada.

No caso específico de irrigação pelo sistema de sulcos, a experiência tem demonstrado que a eficiência varia entre 50 e 60%, dependendo dos cuidados observados na elaboração do projeto e na execução dos trabalhos.

A maior perda de água neste sistema ocorre nos canais de distribuição e sulcos de irrigação. Essa perda se dá principalmente próximo ao ponto de admissão da água e é prejudicial não apenas por reduzir a eficiência da irrigação, mas, principalmente, por arrastar os fertilizantes para as camadas mais profundas do solo, colocando-os fora do alcance do sistema radicular das plantas, em prejuízo da produção. Em geral, os sulcos de irrigação são localizados entre as linhas das plantas, de maneira que o seu espaçamento depende da cultura. Quando as plantas são novas e seu sistema radicular ainda pouco desenvolvido, muita água irá percolar fora do alcance delas, diminuindo bastante a eficiência da irrigação, caso seja colocada em quantidade suficiente para molhar o espaço entre os sulcos, pois em solo de textura homogênea, pode-se admitir que a distância horizontal e a vertical atingida pela água são, praticamente, iguais, desde que as porcentagens de areia, argila e de agregado do solo assim o permitam.

É comum ocorrer, na irrigação por este sistema, menores produções próximo aos pontos de admissão da água e no final do sulco. Melhores produções geralmente ocorrem na parte média dos lotes irrigados.

3.3.3 - Intensidade de avanço da água no sulco

O avanço da água nos sulcos de irrigação está relacionado com a rugosidade das paredes, a forma do sulco, o crescimento da planta OLITTA (1970), o declive e com a umidade do solo, (no que tange a distribuição dos poros no plano da superfície do solo). Quanto mais sêco estiver este, maior será a intensidade de absorção de água pelo mesmo e, conseqüentemente, menor o avanço da água no sulco. Essa intensidade de absorção é uniforme em solos com perfil de textura homogênea ao longo do sulco, para iguais períodos de tempo.

Segue-se que, para que a água atinja o final do sulco, evidentemente, deverá permanecer maior tempo em sua parte superior, relativamente à inferior. Por essa razão, o tempo calculado para se colocar no solo determinada quantidade de água é contado a partir do momento em que o avanço da água atinge o final do sulco.

Os especialistas, em sua maioria, são concordes em CRIDDLE et al (1956), isto é, em admitir que este sistema apresenta maior eficiência quando a vazão inicial é de tal ordem que o avanço da água atinge o final do sulco dentro de 1/4 do tempo total necessário para colocar na capacidade de campo a camada de solo considerada. Então haverá uma oportunidade extra de tempo, cerca de 25%, para o solo absorver água na extremidade superior do sulco em relação à inferior; por conseguinte, deveria se infiltrar uma quantidade de água 25% maior que a da inferior. Ocorre, porém, que a intensidade de infiltração da água no solo diminui com o tempo, à medida que o solo vai se umidecendo, e segundo os autores citados, diminui na razão inversa da raiz quadrada do tempo decorrido.

Nessas condições a quantidade de água absorvida pela extremidade superior do sulco, durante o quarto de tempo extra, não será de 25% a mais da quantidade total envolvida. Admitindo-se a relação da raiz quadrada como correta, 12% a mais serão absorvidos na extremidade superior do sulco, em relação à extremidade inferior, e ao considerar-se todo o comprimento do sulco, a média da perda em água por percolação profunda não chegará a 6%.

3.3.4 - Vazão máxima admissível nos sulcos de irrigação

A vazão máxima admissível no sulco de irrigação constitui um valor difícil de ser estabelecido, considerando-se que julgar ocorrência ou não de erosão depende pura e exclusivamente de critério pessoal do observador por não existirem normas fixas para o julgamento.

A gravidade do arrastamento do solo depende de condições locais. Determinada erosão poderá apresentar aspectos sérios em certos casos, como o de solos rasos por exemplo, e aspectos menos graves em solos profundos.

A irrigação por sulcos deve ser realizada de maneira a causar o mínimo de prejuízo ao solo, pois a realidade é que infelizmente a irrigação pelos métodos superficiais causa sempre alguma erosão.

Quanto a estimativa da vazão máxima a ser admitida em sulcos de irrigação, várias fórmulas têm sido propostas. Dentre as mais aceitas salienta-se a fórmula empírica de CRIDDLE et al (1956) para o fluxo máximo não erosivo

$$Q = \frac{38}{j}$$

na qual

Q = vazão em litros por minuto;

j = declive do sulco em porcentagem.

Apesar de uma relação muito simples, no comentário de PHELAN (1960), ela confere uma velocidade constante em sulco parabólico, muito próxima daquela calculada pela fórmula de Manning; seu emprêgo, entretanto fica limitado aos anteprojetos.

Após atingir o final do sulco, a vazão inicial deverá ser reduzida de 1/4 a 2/3, segundo a intensidade de infiltração de água no solo, a qual varia na razão inversa da raiz quadrada do tempo. Inicialmente é elevada, decrescendo depois gradualmente até atingir valor constante.

3.4 - Plano experimental

O presente experimento se instalou em áreas das Estações Experimentais de Monte Alegre do Sul, Ribeirão Preto e Pindorama, pertencentes ao Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, áreas essas que representam alguns dos principais solos do Estado, quais sejam o Podzólico Vermelho Amarelo-orto, o Latossol Roxo e os solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília, respectivamente àquelas unidades.

Construíram-se sulcos de irrigação de seção trapezoidal com dimensões nominais de 25 cm de largura na base menor, 20 cm de profundidade, nas declividades de 1% e 5%, procedendo-se nêles os testes de infiltração e de avanço da água, segundo CRIDDLE (1956).

Determinou-se antes de cada teste a umidade do solo pelo método gravimétrico padrão, segundo amostragens nas profundidades de 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm, 75-100 cm.

A medição de vazão foi feita, instalando-se a calha já descrita em 3.2 na extremidade de admissão da água no sulco, e um vertedor triangular de 90° de bordos delgados e queda livre, na extremidade final. O marco inicial da referência do tempo, coincidiu com a posição ocupada pelo vertedor de entrada da água no sulco, assim como o marco final, com o vertedor da saída da água.

Para o controle do avanço da água no sulco, dividiu-se o mesmo em seções de 10 metros, a partir do ponto de admissão da água, cronometrando-se o tempo gasto pela mesma para percorrer cada seção.

A intensidade de infiltração da água no solo ($I = KT^n$) foi determinada pela diferença de vazões, em litros por segundo, entre as quantidades de água de entrada e de saída em sulcos de irrigação com 40 metros de comprimento e 1‰ de declividade. O avanço foi determinado em sulcos de irrigação com 40 m e 80 m de comprimento, nas declividades de 1‰ e 5‰. O espaçamento adotado para todos os sulcos foi de 1,40 m, aliás muito comum nas lavouras de cana-de-açúcar.

Para cada teste foram utilizados três sulcos iguais, sendo o controle da vazão efetuado somente no sulco central, porém mantidas aproximadamente iguais as vazões nos três sulcos.

Como para fins práticos de irrigação interessa o conhecimento da intensidade de infiltração (h) em milímetros de altura d'água por hora, esse valor foi obtido a partir do anterior (I litros/seg) através da seguinte fórmula:

$$h = \frac{3600 I}{d.c} , \text{ onde}$$

h = intensidade de infiltração em mm/hora;

I = intensidade de infiltração em litros/segundo;

d = espaçamento dos sulcos em metros (1,40 m);

c = comprimento do sulco (40 metros).

Com os resultados obtidos calcularam-se pelo processo dos quadrados mínimos para os solos, Podzólico Vermelho Amarelo-orto e Latossol Roxo, as correspondentes equações de infiltração, representadas pela fórmula:

$$I = kT^n$$

As curvas de infiltração acumulada foram calculadas a partir da fórmula

$$T = \left[\frac{60 h (n+1)}{k} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

resultante da integração da equação anterior.

Com as equações assim obtidas construíram-se, em papel bi-logarítmico, as curvas de intensidade de infiltração e de infiltração acumulada para êsses solos, as quais são apresentadas nas FIGs. 20 a 25. A curva da FIG. 26 foi construída com resultado obtido diretamente do teste de infiltração.

É oportuno esclarecer que WIMBERLY (1962) usou u'a metodologia semelhante para cotar dados de avanço e de infiltração da água em sulcos de irrigação, na cultura de cana-de-açúcar.

4 - RESULTADOS E ANÁLISE

Apresentam-se aqui os resultados obtidos na prática dos testes de avanço da água em sulcos e de infiltração, assim dispostos.

4.1 - Intensidade de avanço da água em sulcos de irrigação

4.1.1 - Unidade Monte Alegre do Sul. Testes em Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto

Os testes foram realizados em área situada na Estação Experimental de Monte Alegre do Sul, do Instituto Agrônômico e os resultados obtidos constam dos QUADROS 5 a 9.

Com auxílio desses resultados, usando-se o processo dos quadrados mínimos foram calculadas as equações de intensidade do avanço da água nos sulcos.

Essas equações são apresentadas na TABELA 1.

As FIGS. 4 e 6 apresentam as curvas de avanço da água nos sulcos, construídas com auxílio dessas equações. As curvas das FIGS. 5 e 7 foram construídas com os dados dos testes. Essas curvas permitem determinar rapidamente o comprimento do sulco, em função do tempo previsto para o avanço de água.

Nos QUADROS 11, 12 e 13 são apresentadas as análises de variância dos dados de avanço da água nos sulcos constantes dos QUADROS 5, 7 e 9.

QUADRO 5 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1‰. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	5,0	4,3	5,6	5,0
	Tempo acumulado (minutos : segundos)			
10	0 : 25	0 : 28	0 : 39	0 : 30
20	0 : 52	1 : 15	1 : 28	1 : 12
30	1 : 21	1 : 55	2 : 13	1 : 50
40	1 : 51	3 : 21	3 : 43	2 : 58
50	2 : 25	4 : 36	4 : 50	3 : 57
60	3 : 03	6 : 05	6 : 34	5 : 14
70	4 : 31	8 : 16	9 : 01	7 : 16
80	9 : 16	10 : 02	11 : 27	10 : 15
Avanço médio cm/s	14,4	13,3	11,6	13,0

QUADRO 6 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	Média
cm	%	%	%	%
0 - 25	16,0	20,9	16,9	17,9
25 - 50	19,3	27,4	27,2	24,6
50 - 75	26,7	30,6	30,6	29,3
75 - 100	28,9	32,0	33,4	31,4

QUADRO 7 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	5,6	5,0	5,6	5,2
Tempo acumulado (minutos : segundos)				
10	0 : 26	0 : 39	0 : 31	0 : 32
20	0 : 48	1 : 09	0 : 58	0 : 58
30	1 : 16	1 : 52	1 : 29	1 : 32
40	1 : 57	2 : 37	2 : 11	2 : 15
50	2 : 37	3 : 33	2 : 45	2 : 58
60	3 : 05	4 : 32	3 : 27	3 : 41
70	3 : 40	5 : 28	4 : 25	4 : 31
80	4 : 32	6 : 25	5 : 20	5 : 25
Avanço médio cm/s	29,4	20,8	25,0	24,6

QUADRO 8 - Unidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	Média
cm	%	%	%	%
0 - 25	23,7	15,8	21,1	20,2
25 - 50	25,4	21,7	28,1	25,0
50 - 75	36,4	29,7	32,5	32,8
75 - 100	37,7	36,7	34,3	36,2

QUADRO 9 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declividade 1‰ - Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)	
	0,6	1,5
	Tempo acumulado (minutos : segundos)	
10	1 : 13	0 : 25
20	6 : 00	2 : 00
30	13 : 50	4 : 00
40	29 : 11	5 : 30
Avanço médio cm/s	2,3	12,1

QUADRO 10 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	Teste 1	Teste 2
cm	%	%
0 - 25	28,2	22,7
25 - 50	32,9	27,6
50 - 75	34,4	32,0
75 - 100	36,3	36,0

TABELA 1 - Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul)

Declive do sulco	Vazão em l/seg.	Tempo de avanço da água nos sulcos (em segundos)
1‰	0,6	$T = 0,398 D^{2,26}$
1‰	1,5	$T = 0,35 D^{1,9}$
1‰	5,0	$T = 0,95 D^{1,34}$
1‰	4,3	$T = 1,01 D^{1,42}$
1‰	5,6	$T = 1,35 D^{1,40}$
1‰	5,0	$T = 1,05 D^{1,41}$
5‰	5,6	$T = 1,68 D^{1,15}$
5‰	5,0	$T = 2,56 D^{1,13}$
5‰	5,6	$T = 2,10 D^{1,13}$
5‰	5,2	$T = 2,10 D^{1,13}$

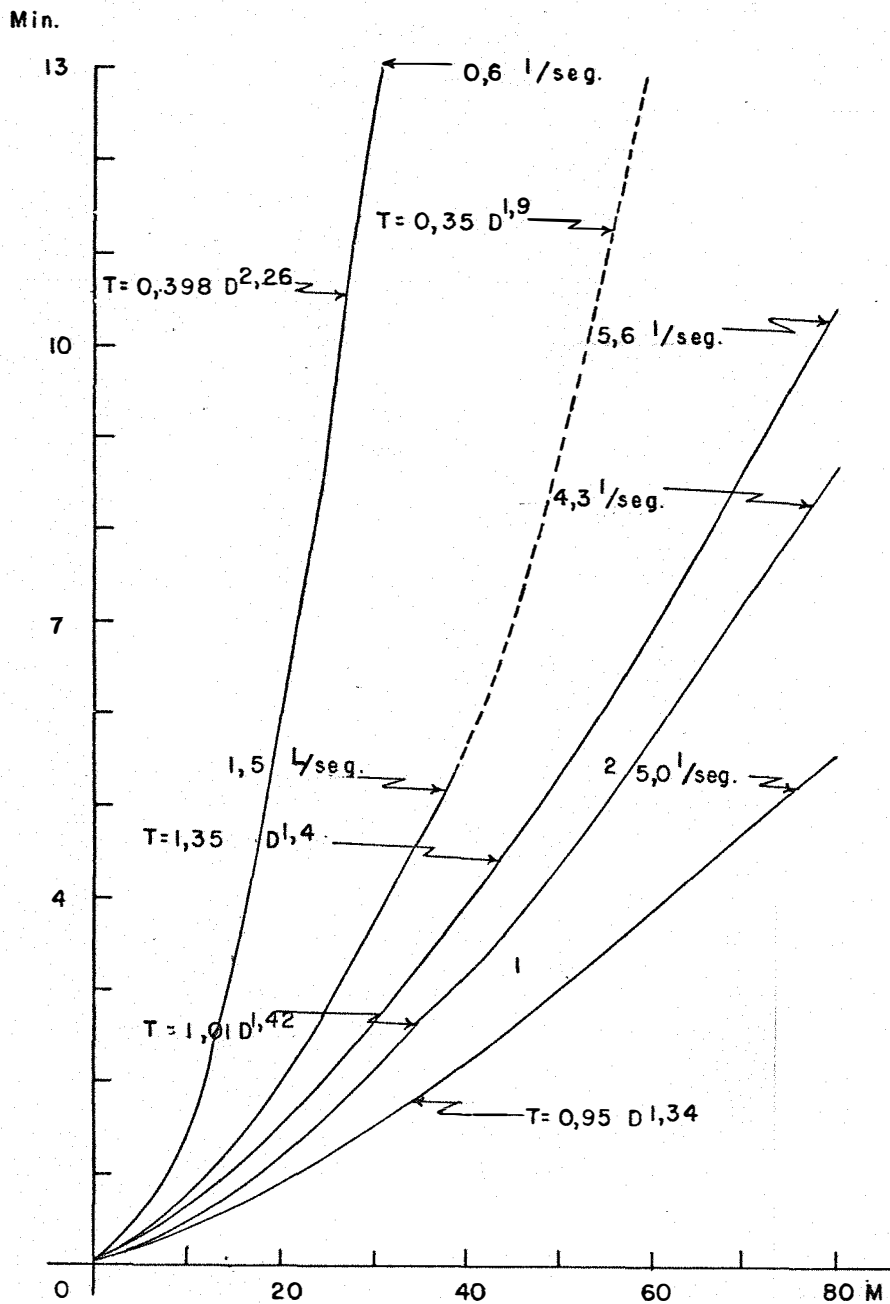
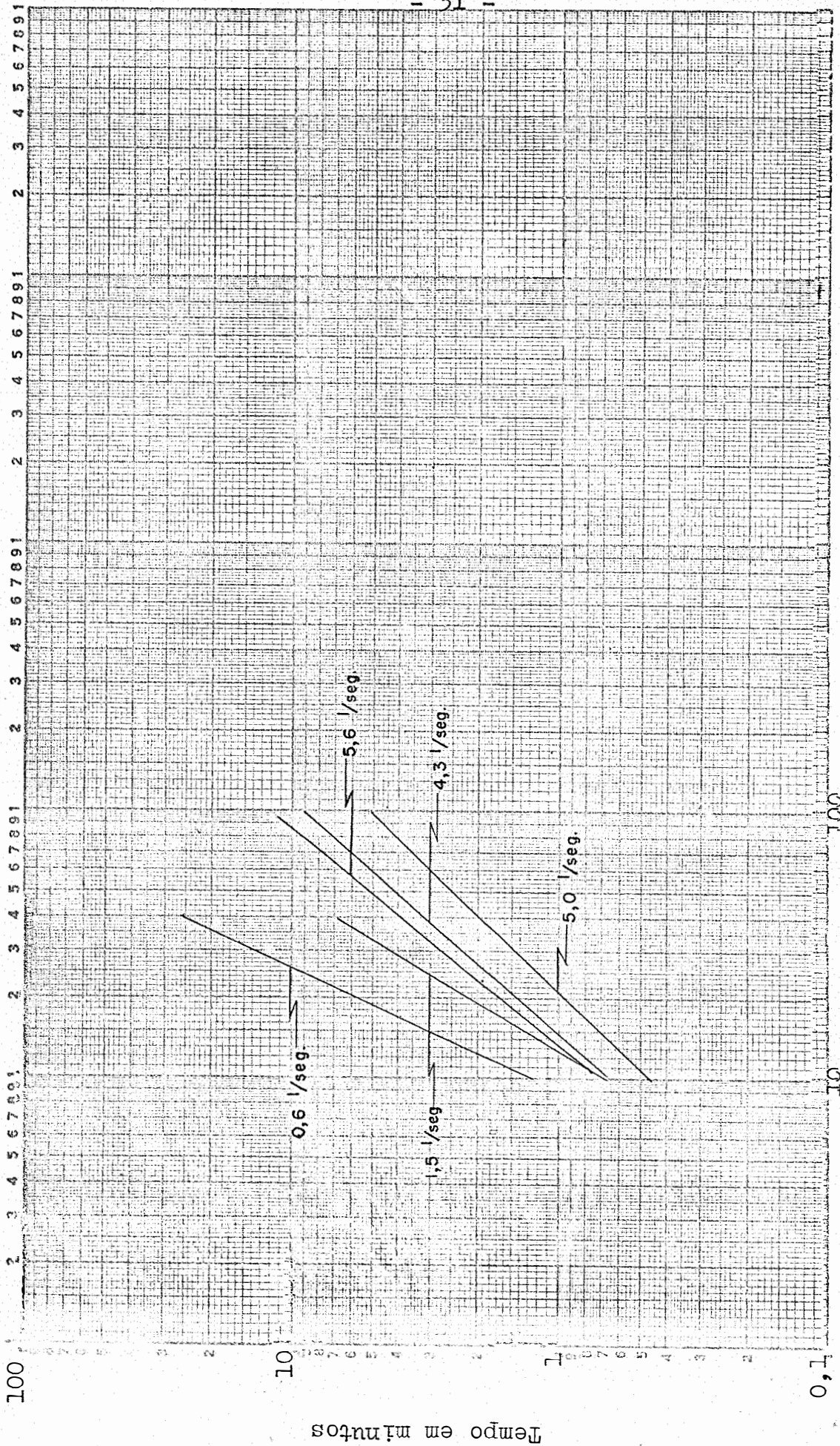


FIGURA 4 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto. (Unidade Monte Alegre do Sul)



Distância em metros

FIGURA 5 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).

Tempo em minutos

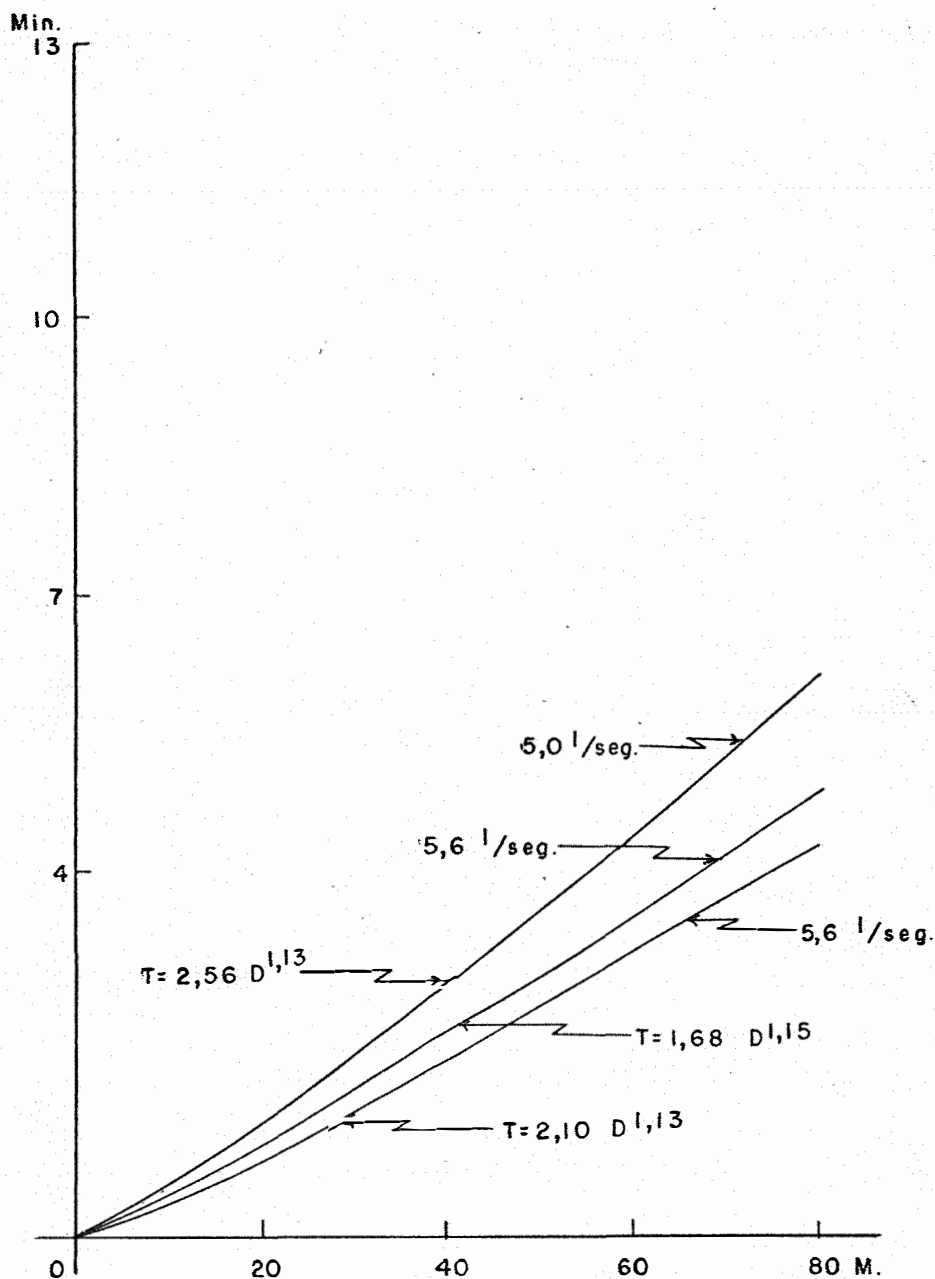


FIGURA 6 - Curvas de avanço de água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul).

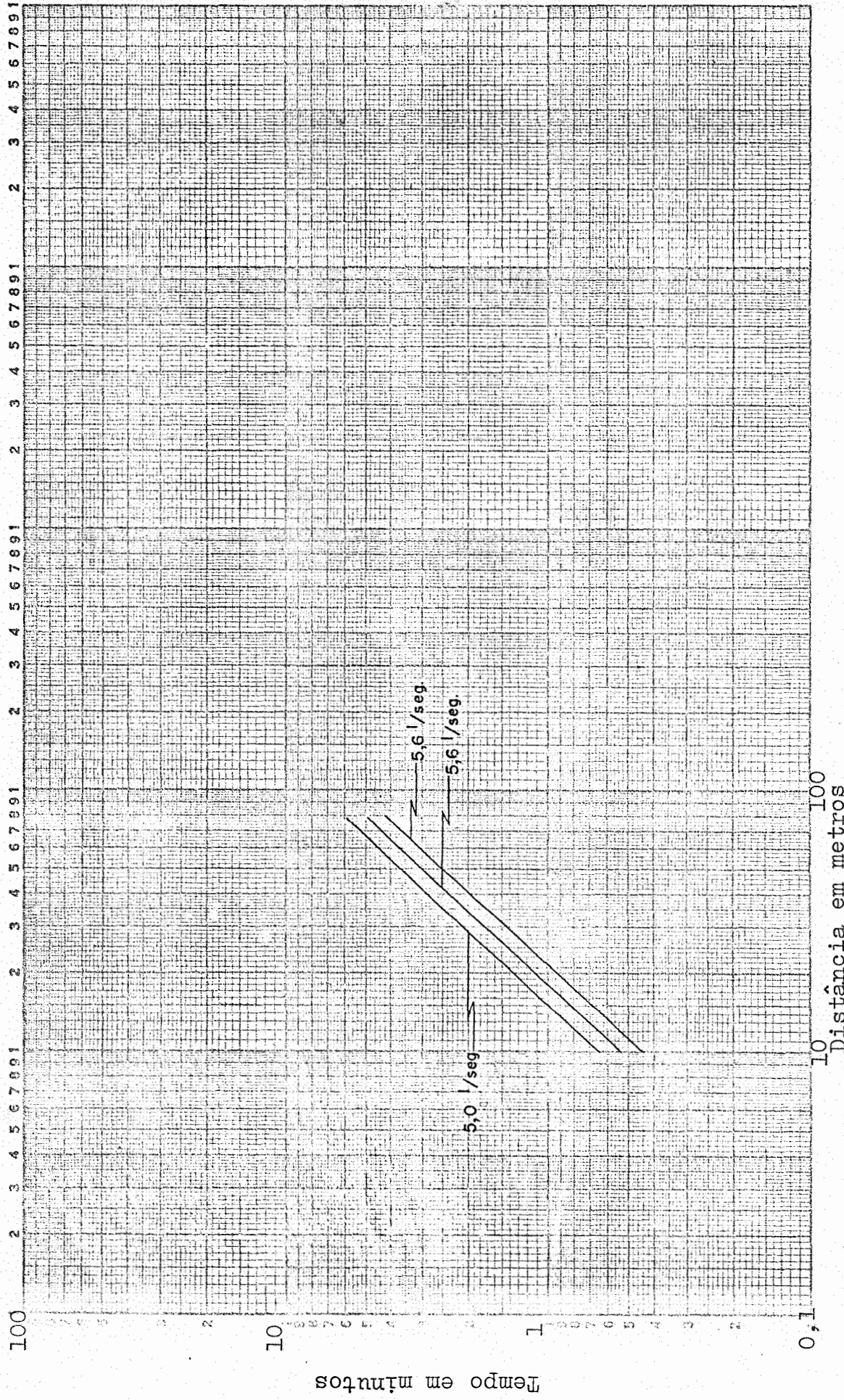


FIGURA 7 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-oroto (Unidade Monte Alegre do Sul).

QUADRO 11 - Análise de variância dos dados do QUADRO 5.

F.V.	GL	QM			Média
		teste 1	teste 2	teste 3	
Regr.	1	1,172938**	1,324974**	1,281060**	1,295922**
Res.	6	0,012259	0,005591	0,003649	0,002845

QUADRO 12 - Análise de variância dos dados do QUADRO 7.

F.V.	GL	QM			Média
		teste 1	teste 2	teste 3	
Regr.	1	0,162694**	0,836324**	0,829391**	0,842099**
Res.	6	0,000952	0,001176	0,001057	0,001012

QUADRO 13 - Análise de variância dos dados do QUADRO 9.

F.V.	GL	QM	
		teste 1	teste 2
Regr.	1	1,044864**	0,733131**
Res.	2	0,001909	0,006857

4.1.2 - Unidade Ribeirão Preto. Testes em solo
Latossol Roxo

Os testes foram efetuados em área da Estação Experimental de Ribeirão Preto, do Instituto Agrônômico, sendo os resultados obtidos apresentados nos QUADROS 14, 16 e 18.

Com êsses resultados, usando-se o processo dos quadrados mínimos, foram calculadas as equações de intensidade do avanço da água nos sulcos.

Essas equações são apresentadas na TABELA 2.

As FIGs. 8 e 10 apresentam as curvas de avanço da água nos sulcos construídas com auxílio dessas equações e as FIGs. 9 e 11, com os dados dos testes. Essas curvas permitem determinar, rapidamente, o comprimento do sulco conhecendo-se o tempo.

Nos QUADROS 20, 21 e 22 são apresentadas as análises de variância dos resultados de avanço da água nos sulcos, constantes dos QUADROS 14, 16 e 18.

QUADRO 14 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declividade 1‰. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto)

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)		
	9,5	6,5	8,0
	Tempo acumulado (minutos : segundos)		
10	0 : 23	0 : 30	0 : 26
20	1 : 00	1 : 10	1 : 05
30	1 : 40	2 : 20	2 : 00
40	2 : 25	3 : 35	3 : 00
50	3 : 42	4 : 40	4 : 11
60	4 : 28	5 : 25	4 : 56
70	5 : 53	6 : 10	6 : 01
80	6 : 45	7 : 15	7 : 00
Avanço médio cm/s	19,8	18,4	19,0

QUADRO 15 - Umidade do solo na ocasião do teste.

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	Média
cm	%	%	%
0 - 20	19,9	20,0	19,9
20 - 40	22,0	20,7	21,3
40 - 60	21,5	22,2	21,8
60 - 80	22,1	22,7	22,4

QUADRO 16 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%.
Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	7,5	9,0	7,4	7,9
	Tempo acumulado (minutos: segundos)			
10	0 : 20	0 : 30	0 : 23	0 : 24
20	0 : 50	1 : 10	0 : 53	0 : 57
30	1 : 25	1 : 55	1 : 45	1 : 41
40	1 : 55	2 : 25	2 : 40	2 : 20
50	2 : 40	3 : 00	3 : 23	3 : 01
60	3 : 45	3 : 30	4 : 50	4 : 01
70	4 : 30	4 : 00	5 : 50	4 : 46
80	5 : 25	4 : 45	6 : 38	5 : 36
Avanço médio cm/s	24,6	28,1	20,1	23,8

QUADRO 17 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	média
cm	%	%	%	%
0 - 20	21,9	20,2	19,5	20,5
20 - 40	18,7	21,1	20,0	19,9
40 - 60	22,3	21,6	22,7	22,2
60 - 80	21,5	20,4	22,3	21,4

QUADRO 18 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1‰. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)	
		1,2
	Tempo acumulado (minutos : segundos)	
10	1	11
20	2	35
30	5	23
40	8	03
Avanço médio cm/s	8,3	

QUADRO 19 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1
cm	%
0 - 25	22,7
25 - 50	27,6
50 - 75	32,0
75 - 100	36,0

TABELA 2 - Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto).

Declive do sulco	Vazão em l/seg.	Tempo de avanço da água no sulco (em segundos)
1‰	1,2	$T = 2,68 D^{1,4}$
1‰	9,5	$T = 0,92 D^{1,39}$
1‰	6,5	$T = 1,49 D^{1,31}$
1‰	8,0	$T = 1,16 D^{1,36}$
5‰	7,5	$T = 0,90 D^{1,06}$
5‰	9,0	$T = 2,85 D^{1,06}$
5‰	7,4	$T = 0,85 D^{1,41}$
5‰	7,9	$T = 1,28 D^{1,27}$

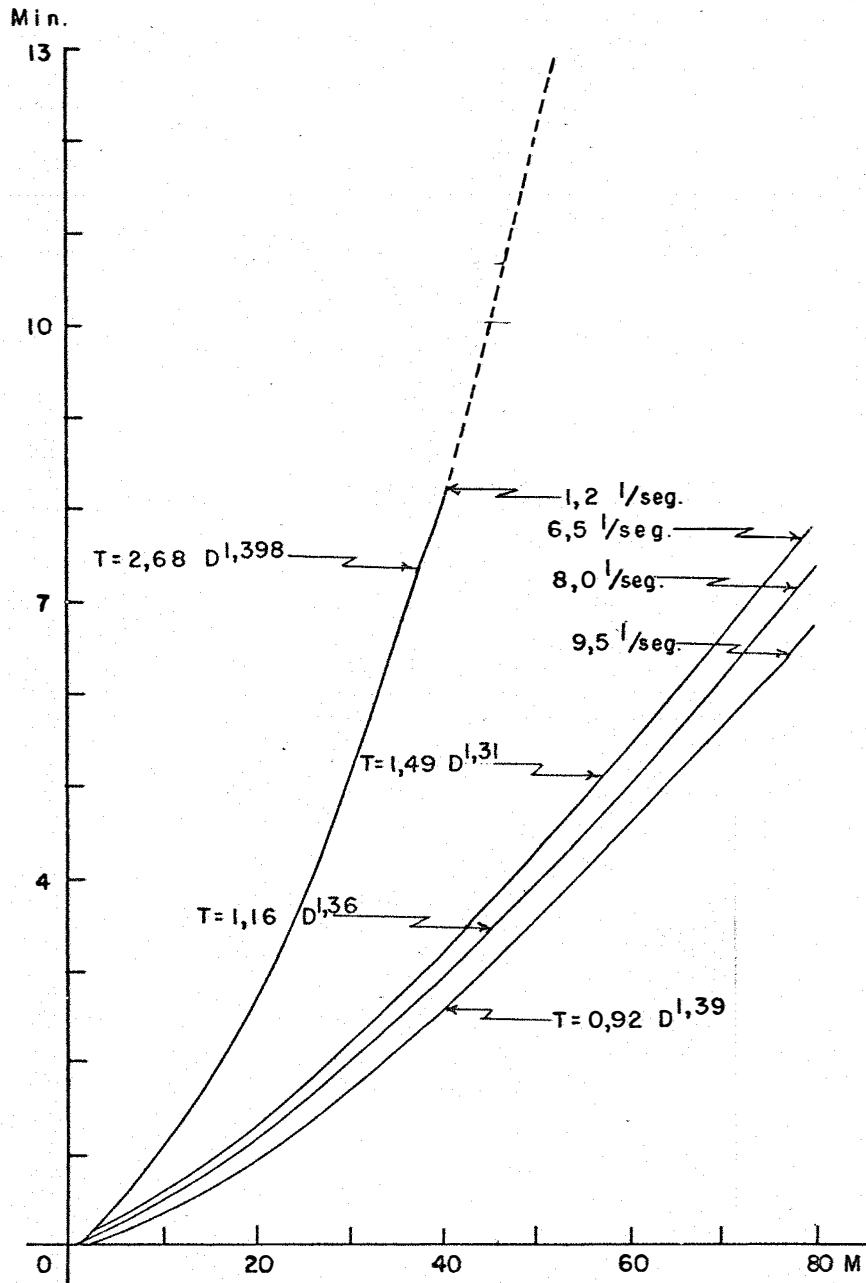


FIGURA 8 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto).

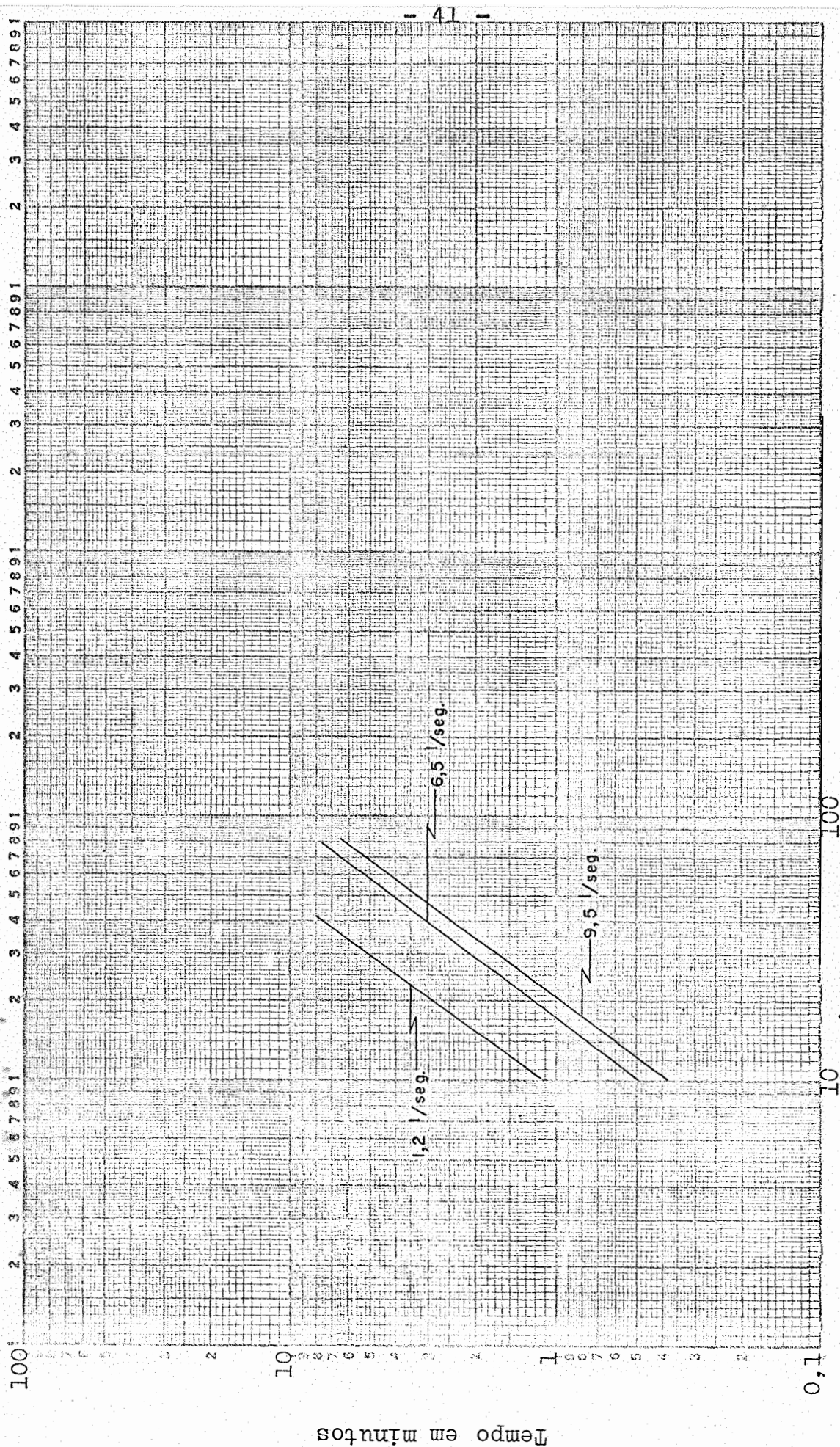


FIGURA 9 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico.
Declive 1‰. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto).

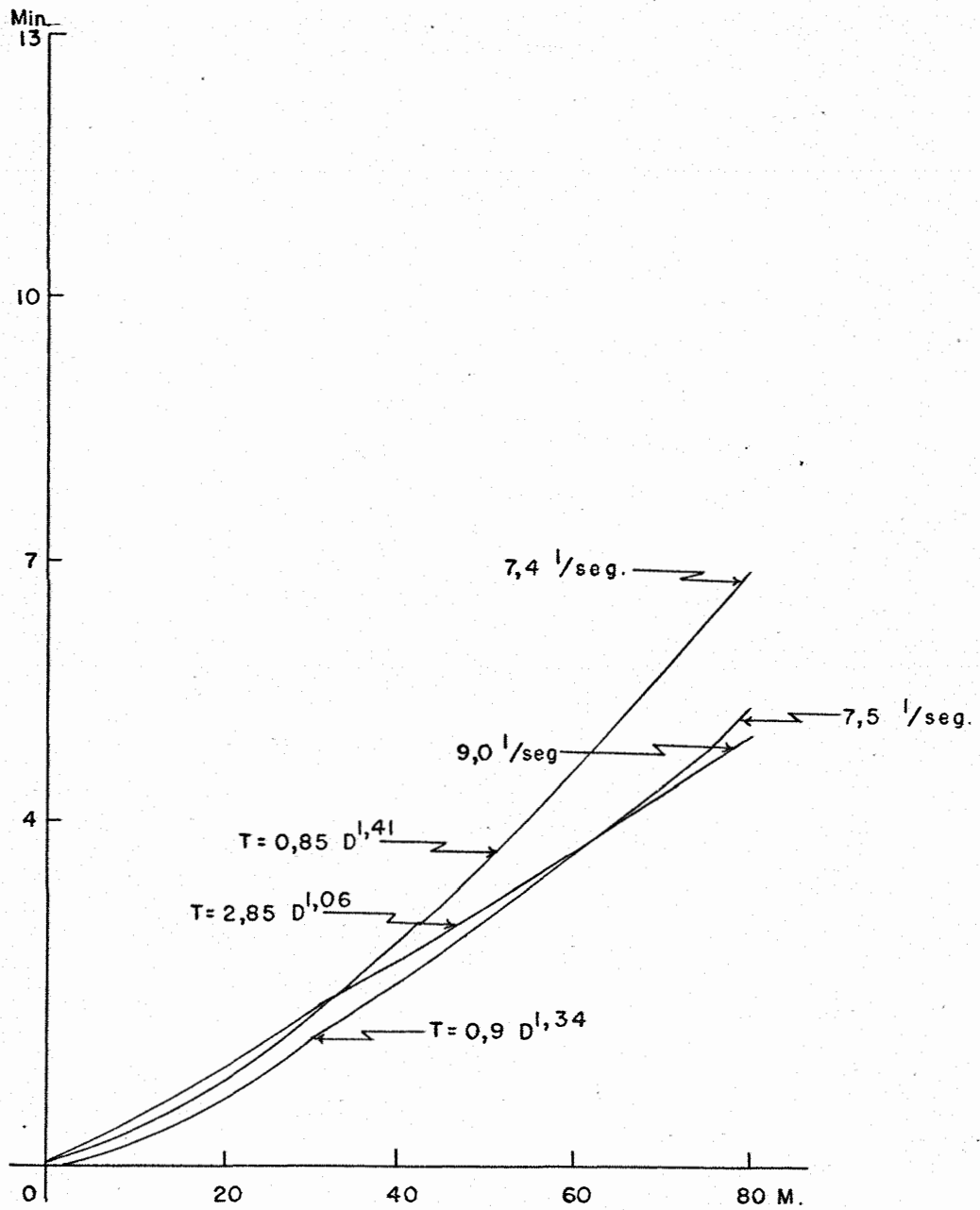


FIGURA 10 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declivê 5%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Prêto).

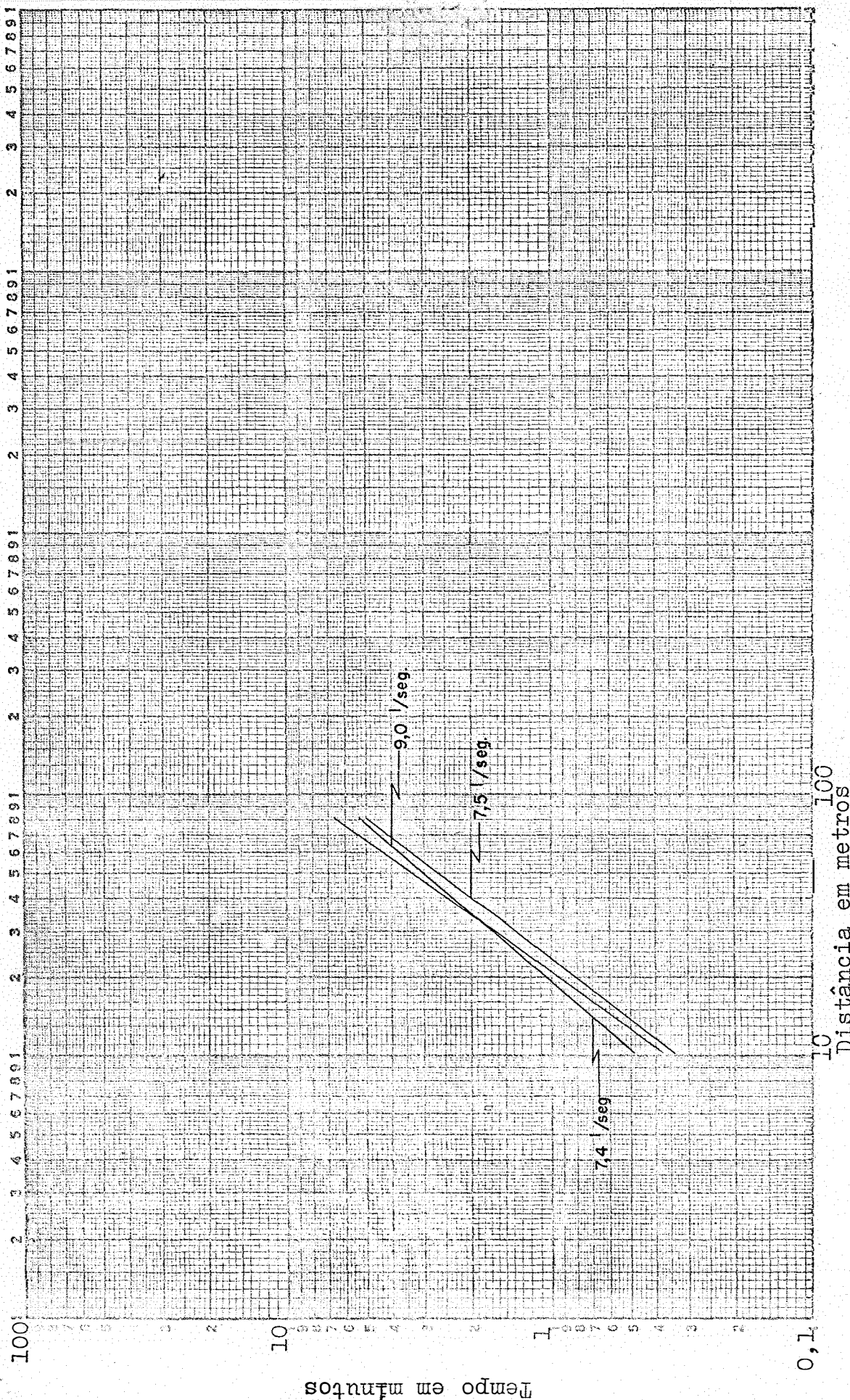


FIGURA 11 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico.
 Declive 5%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto).

QUADRO 20 - Análise de variância dos dados do QUADRO 14.

F.V.	G.L.	teste 1	QM teste 2	Média
Regr.	1	1,263375**	1,129064**	1,201824**
Res.	6	0,000365	0,001607	0,000387

QUADRO 21 - Análise de variância dos dados do QUADRO 16.

F.V.	G.L.	teste 1	QM teste 2	teste 3	Média
Regr.	1	1,169090**	0,728577**	1,298500**	1,058909**
Res.	6	0,000428	0,000754	0,000604	0,000096

QUADRO 22 - Análise de variância dos dados do QUADRO 18.

F.V.	G.L.	SQ	QM	F
Regr.	1	0,398816	0,398816	146,14**
Res.	2	0,005458	0,002729	

4.1.3 - Unidade Pindorama. Testes em solos Podzolicados de Lins e Marília - variação Marília.

Os testes foram efetuados em área da Estação Experimental de Pindorama, do Instituto Agrônômico, estando os resultados nos QUADROS 23, 25, 27, 29 e 31.

Com êsses resultados foram calculadas, pelo método dos quadrados mínimos, as equações de intensidade do avanço da água nos sulcos de irrigação, as quais são apresentadas na TABELA 3.

Nas FIGs. 12, 14, 16 e 18 são apresentadas as curvas de avanço da água nos sulcos, construídas com os resultados obtidos pelo emprêgo das equações constantes da TABELA 3. As FIGs. 13, 15, 17 e 19 se construíram com os dados dos testes.

Essas curvas, como as anteriores, se prestam para a determinação do comprimento do sulco em função do tempo de avanço da água no mesmo para as vazões consideradas.

Nos QUADROS 33, 34, 35, 36 e 37, são apresentadas as análises de variância dos resultados de avanço da água nos sulcos, constantes dos QUADROS 23, 25, 27, 29 e 31.

No QUADRO 38 se encontram os intervalos de confiança, ao nível de 5% de probabilidade, para as equações constantes das TABELAS 1, 2 e 3.

QUADRO 23 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	4,7	4,4	4,4	4,5
	Tempo acumulado (minutos : segundos)			
10	0 : 52	0 : 42	0 : 52	0 : 49
20	1 : 56	2 : 14	2 : 27	2 : 12
30	4 : 23	4 : 37	5 : 28	4 : 49
40	6 : 11	6 : 41	7 : 57	6 : 56
50	9 : 08	8 : 45	10 : 18	9 : 23
60	11 : 21	11 : 37	13 : 50	12 : 16
70	16 : 09	15 : 14	17 : 29	16 : 17
80	19 : 55	18 : 20	23 : 52	20 : 42
Avanço médio cm/s	6,7	7,3	5,6	6,4

QUADRO 24 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	média
cm	%	%	%	%
0 - 20	9,5	7,4	8,9	8,6
20 - 40	15,3	5,6	8,1	9,6
40 - 60	17,9	14,3	13,9	15,3
60 - 80	18,0	17,3	16,4	17,2

QUADRO 25 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1‰. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	8,9	7,0	8,5	8,1
	Tempo acumulado (minutos : segundos)			
10	0 : 41	0 : 34	0 : 35	0 : 36
20	1 : 28	1 : 34	1 : 35	1 : 32
30	2 : 39	2 : 10	3 : 00	2 : 36
40	3 : 59	4 : 44	4 : 11	4 : 18
50	5 : 35	6 : 05	5 : 30	5 : 43
60	7 : 16	7 : 55	7 : 07	7 : 26
70	9 : 45	9 : 44	7 : 40	9 : 03
80	12 : 10	12 : 47	10 : 50	11 : 56
Avanço médio cm/s	11,0	10,4	12,3	11,2

QUADRO 26 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	Média
cm	%	%	%	%
0 - 20	9,6	10,2	10,5	10,1
20 - 40	11,0	8,7	9,2	9,6
40 - 60	26,4	16,1	12,7	18,4
60 - 80	16,8	9,4	18,0	14,7

QUADRO 27 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília. Variação Marília. (Unidade Pindorama).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	5,2	4,4	4,4	4,6
	Tempo acumulado (minutos: segundos)			
10	0 : 29	0 : 33	0 : 41	0 : 34
20	0 : 54	1 : 05	1 : 53	1 : 17
30	1 : 31	1 : 36	3 : 26	2 : 11
40	2 : 12	2 : 16	3 : 57	2 : 48
50	2 : 51	2 : 50	5 : 56	3 : 12
60	3 : 38	3 : 59	7 : 27	4 : 61
70	4 : 20	5 : 17	9 : 20	6 : 19
80	5 : 17	6 : 17	10 : 54	7 : 29
Avanço médio cm/s	25,2	21,2	12,2	17,8

QUADRO 28 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da Amostra	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média
cm	%	%	%	%
0 - 20	12,7	10,4	7,7	10,2
20 - 40	11,9	11,9	12,8	12,2
40 - 60	20,1	21,7	18,4	20,0
60 - 80	22,4	19,6	18,2	20,0

QUADRO 29 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)			
	7,9	9,1	8,5	8,5
	Tempo acumulado (minutos : segundos)			
10	0 : 50	0 : 32	0 : 29	0 : 37
20	1 : 25	1 : 06	1 : 07	1 : 12
30	2 : 07	1 : 42	2 : 06	1 : 58
40	2 : 57	2 : 21	2 : 51	2 : 43
50	3 : 46	2 : 56	3 : 34	3 : 25
60	4 : 52	3 : 49	4 : 25	4 : 22
70	5 : 59	4 : 59	5 : 26	5 : 28
80	7 : 09	6 : 03	6 : 34	6 : 35
Avanço médio cm/s	18,6	22,0	20,3	20,2

QUADRO 30 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste 1	teste 2	teste 3	Média
cm	%	%	%	%
0 - 20	8,4	7,2	7,3	7,6
20 - 40	8,1	10,6	12,5	10,4
40 - 60	17,2	18,7	19,2	18,3
60 - 80	20,0	18,1	18,6	18,9

QUADRO 31 - Avanço da água em sulcos de irrigação. Declividade 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - Variação Marília. (Unidade Pindorama).

Avanço (m)	Vazão de entrada de água no sulco (litros/s)
	2,2
	Tempo acumulado (minutos : segundos)
10	1 : 00
20	3 : 00
30	4 : 15
40	6 : 10
Avanço médio cm/s	10,8

QUADRO 32 - Umidade do solo na ocasião do teste

Prof. da amostra	teste
cm	%
0 - 25	13,9
50 - 75	20,6
75 - 100	21,3

TABELA 3 - Equações do tempo de avanço da água em sulcos de irrigação. Solo Podzolizado de Lins e Marília - - variação Marília. (Unidade Pindorama)

Declive do sulco	Vazão em l/seg.	Tempo de avanço da água no sulco (em segundos)
1‰	4,7	$T = 1,39 D^{1,53}$
1‰	4,3	$T = 1,26 D^{1,55}$
1‰	4,4	$T = 1,43 D^{1,56}$
1‰	4,5	$T = 1,38 D^{1,54}$
1‰	2,2	$T = 4,16 D^{1,2}$
1‰	8,9	$T = 1,47 D^{1,39}$
1‰	7,0	$T = 1,01 D^{1,5}$
1‰	8,5	$T = 1,59 D^{1,36}$
1‰	8,1	$T = 1,29 D^{1,43}$
5‰	5,2	$T = 1,79 D^{1,17}$
5‰	4,4	$T = 2,00 D^{1,17}$
5‰	4,4	$T = 2,12 D^{1,31}$
5‰	4,6	$T = 1,98 D^{1,22}$
5‰	7,9	$T = 3,98 D^{1,05}$
5‰	9,1	$T = 2,12 D^{1,15}$
5‰	8,5	$T = 1,67 D^{1,24}$
5‰	8,5	$T = 2,51 D^{1,14}$

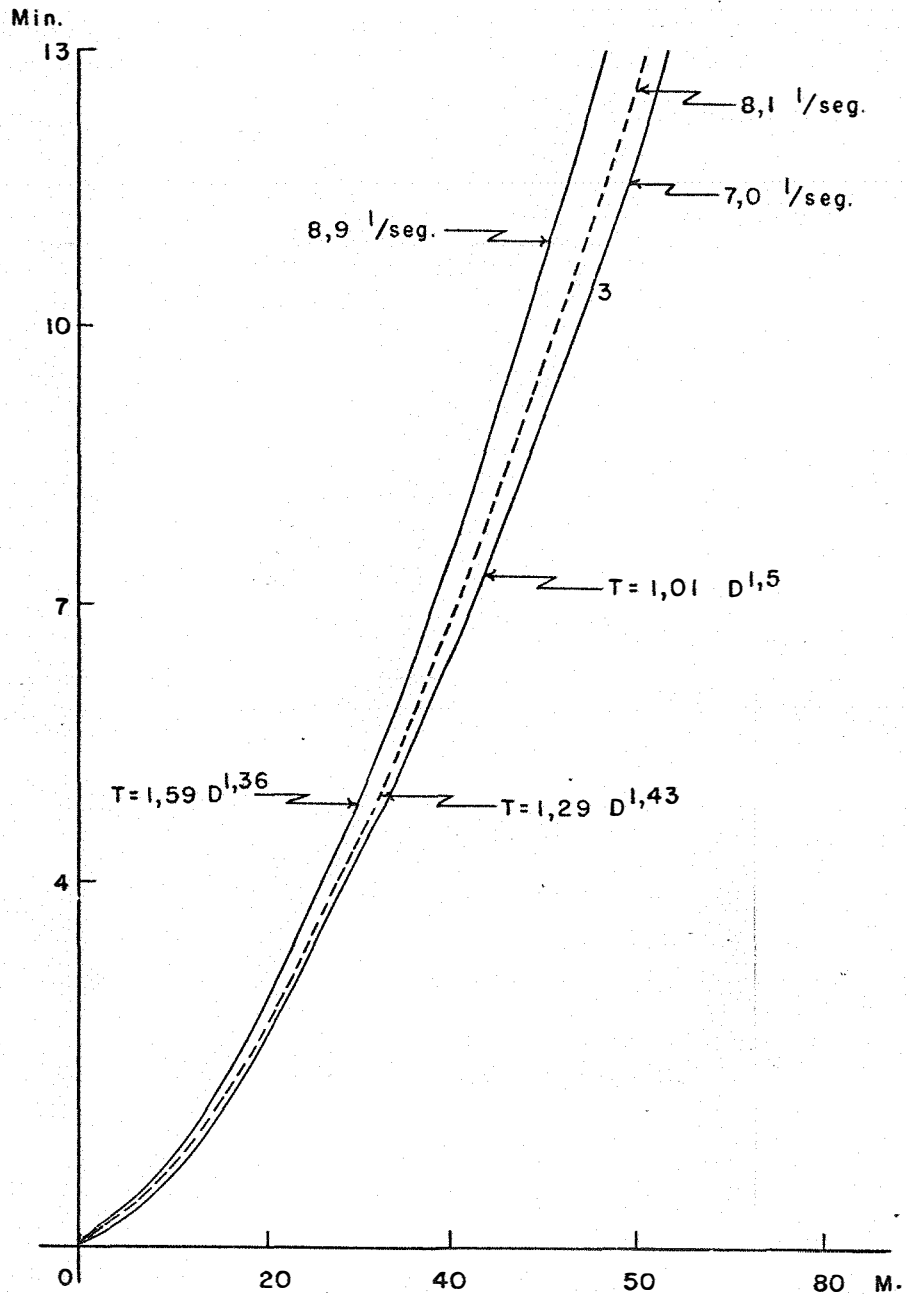
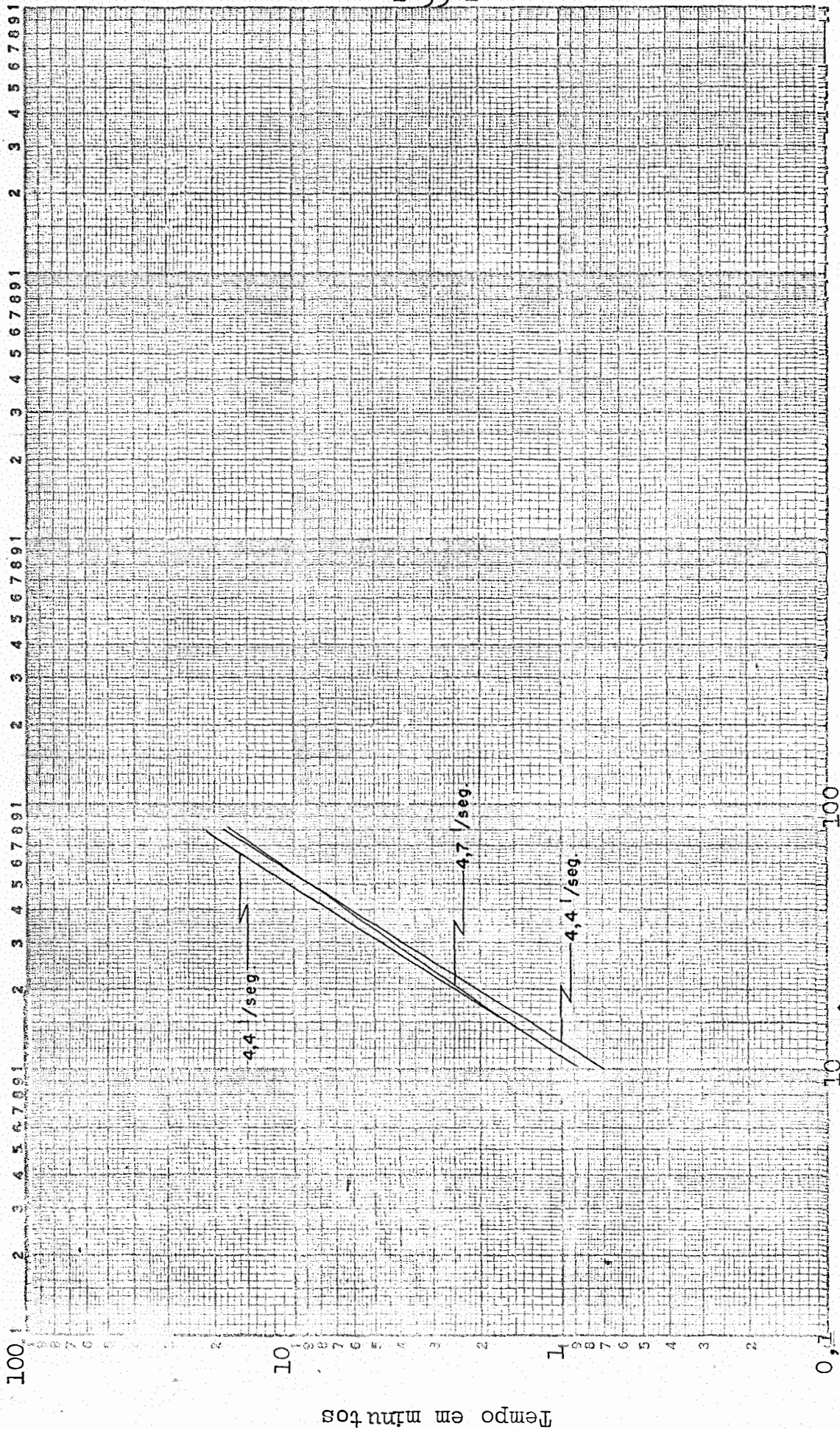


FIGURA 12 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolicizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)



Distância em metros

FIGURA 13 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 1‰. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

Tempo em minutos

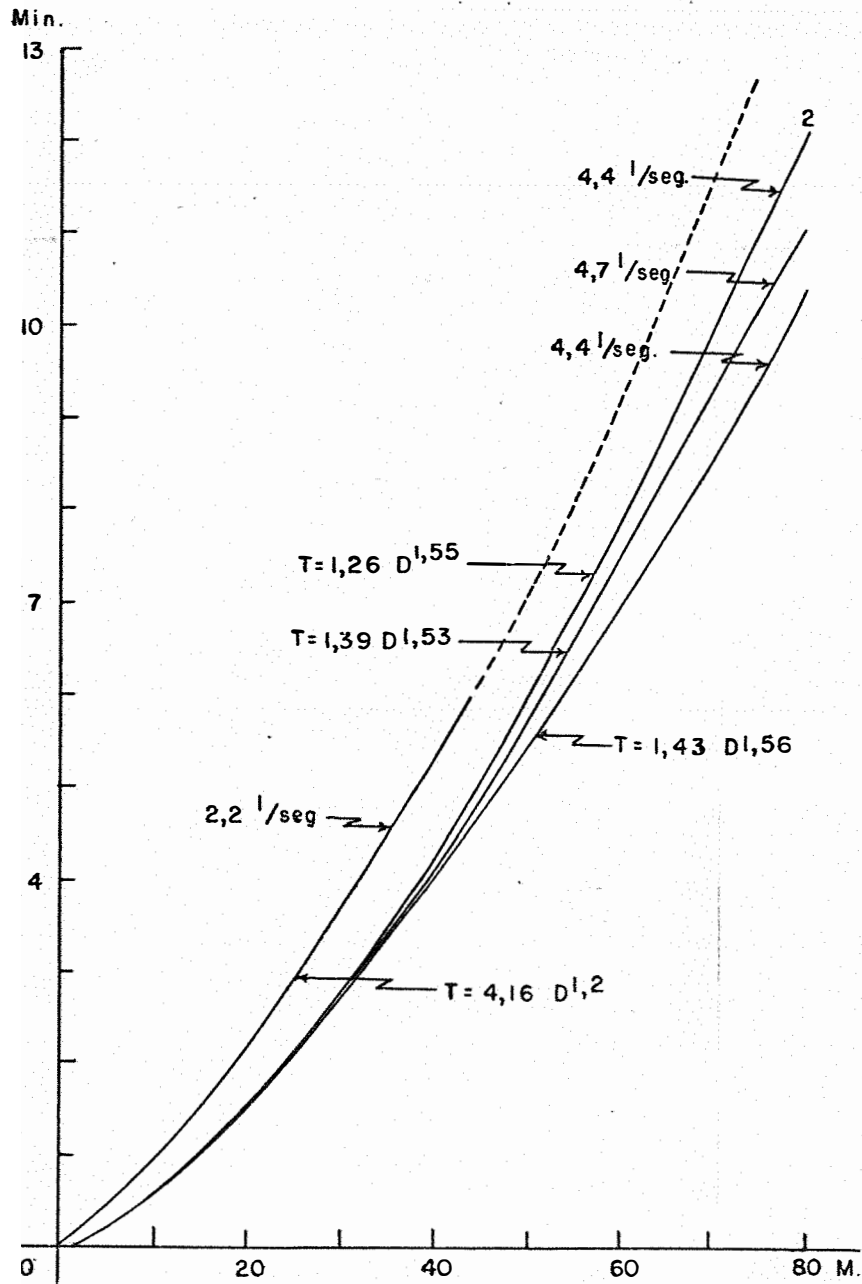


FIGURA 14 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolicizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

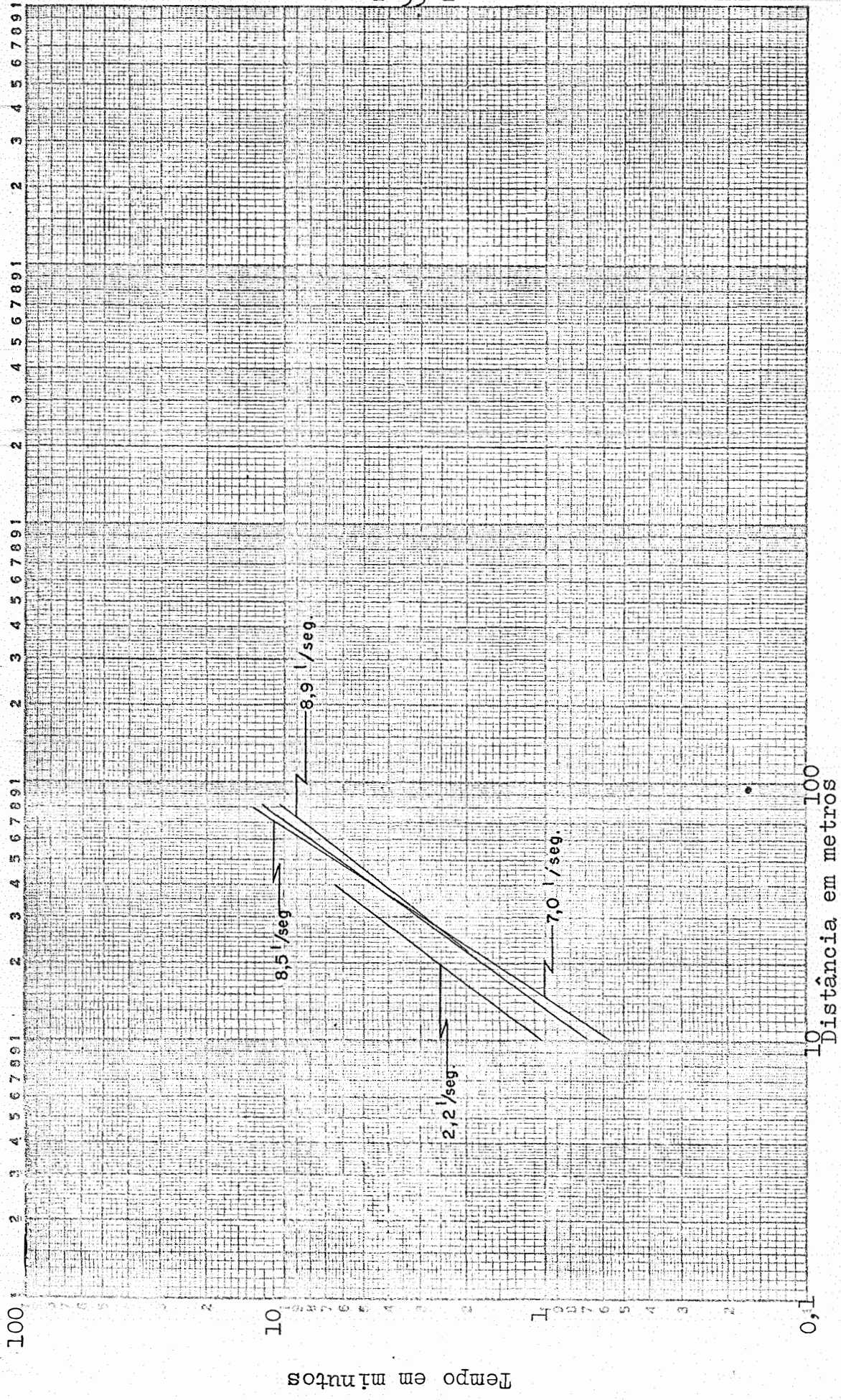


FIGURA 15 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico.
 Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília
 (Unidade Pindorama).

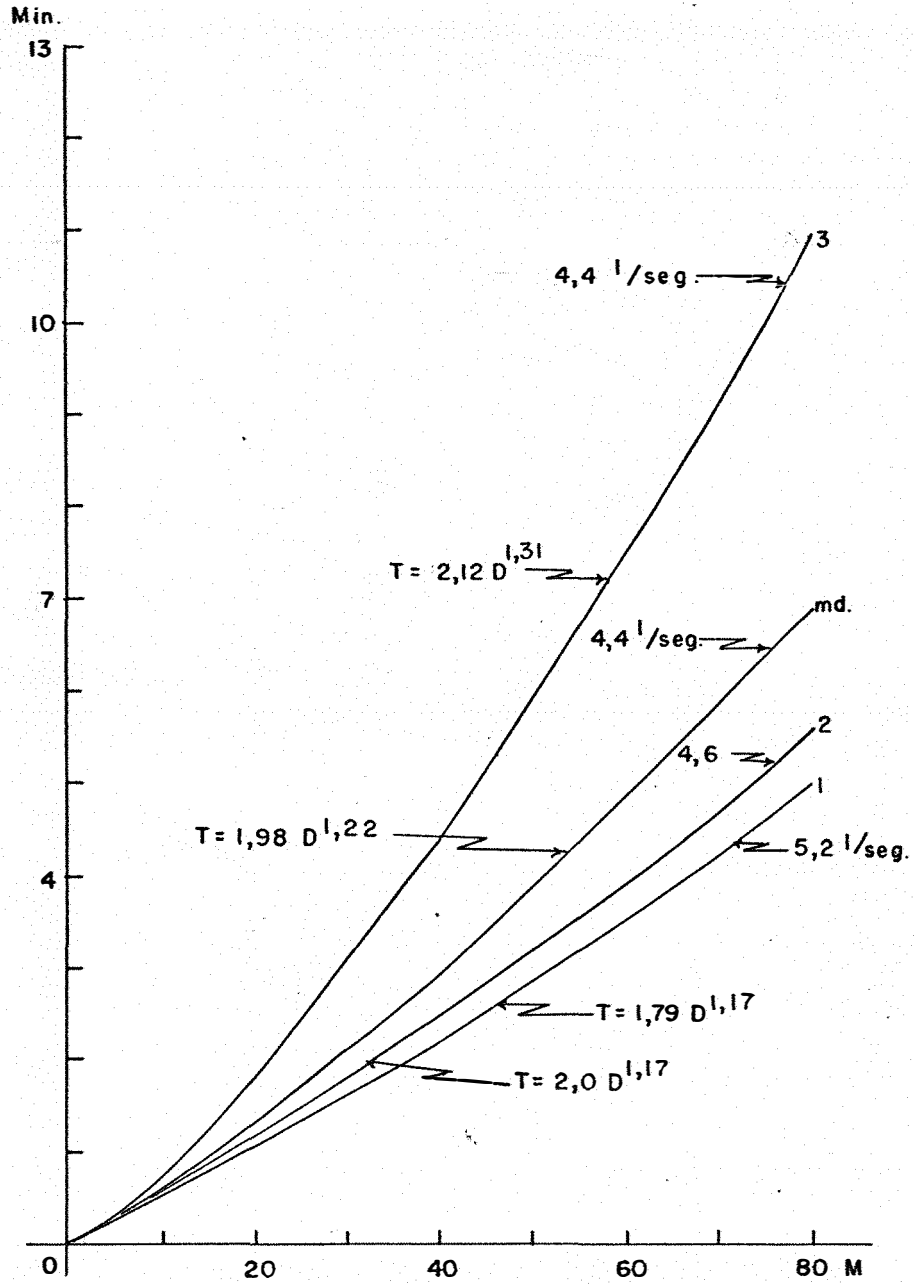
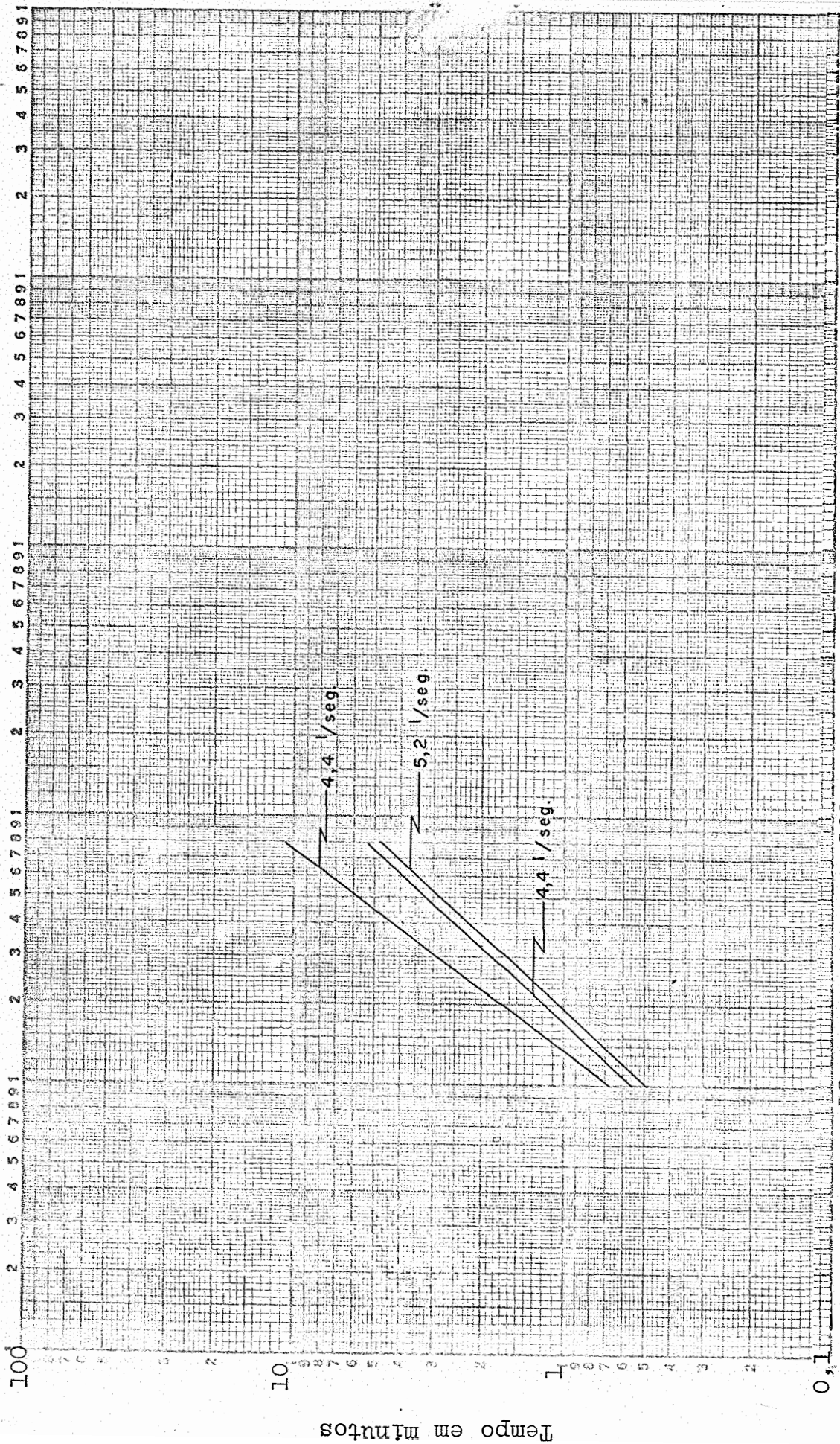


FIGURA 16 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).



100
Distância em metros

FIGURA 17 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

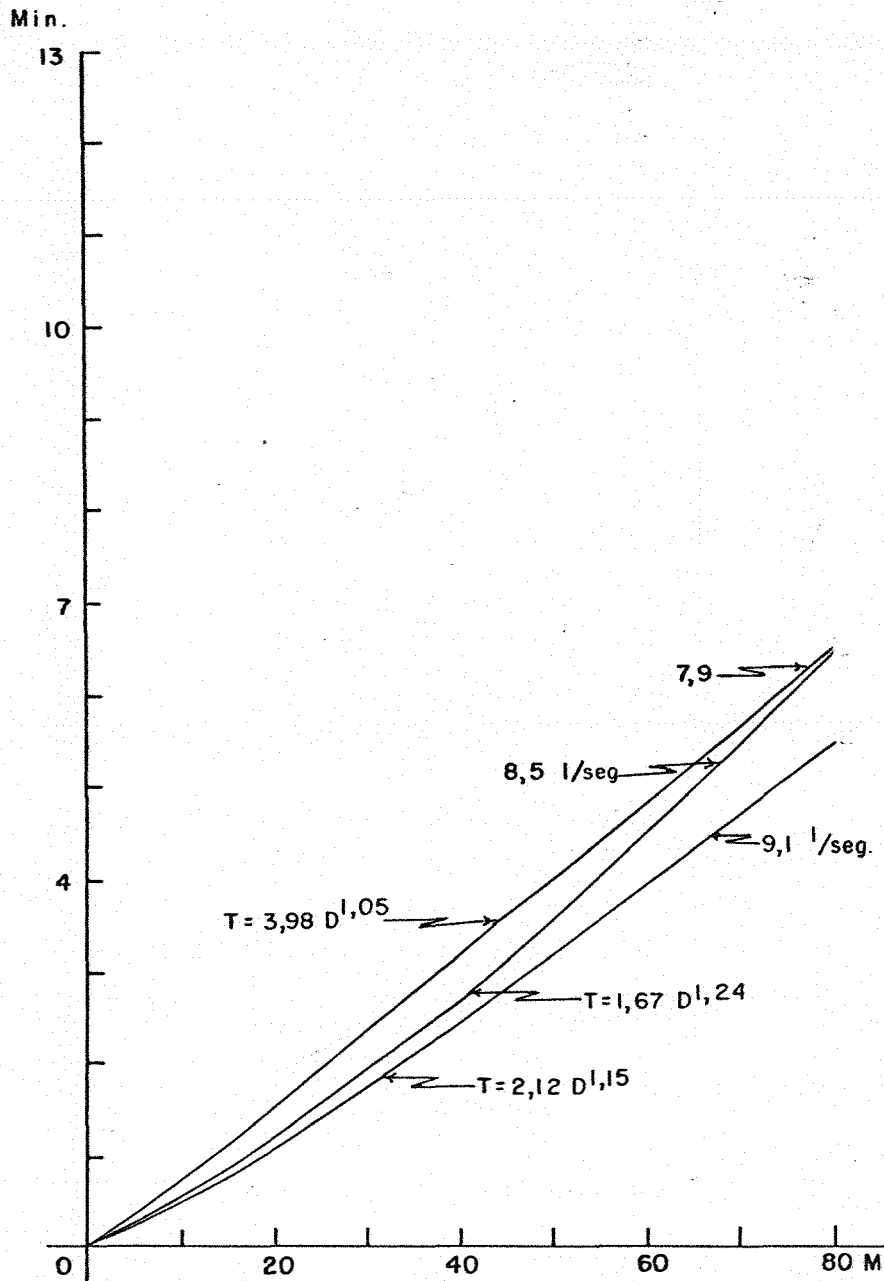


FIGURA 18 = Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

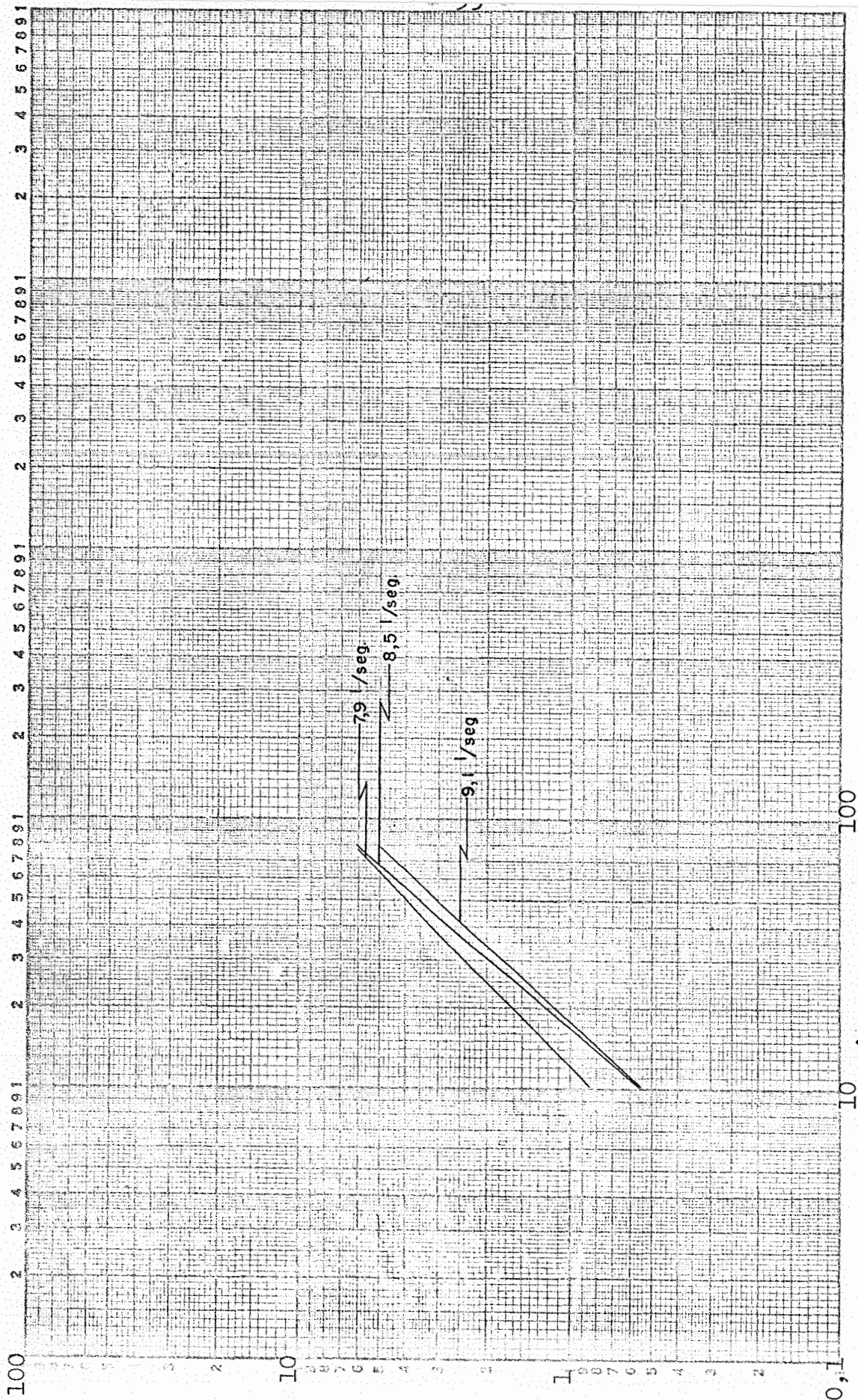


FIGURA 19 - Curvas de avanço da água em sulcos de irrigação em papel bilogarítmico. Declive 5%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

QUADRO 33 - Análise de variância dos dados do QUADRO 17.

F.V.	G.L.	QM			Média
		teste 1	teste 2	teste 3	
Regr.	1	1,523574 ^{**}	1,572827 ^{**}	1,597861 ^{**}	1,558668 ^{**}
Res.	6	0,001551	0,000727	0,000846	0,000546

QUADRO 34 - Análise de variância dos dados do QUADRO 19.

F.V.	G.L.	QM			Média
		teste 1	teste 2	teste 3	
Regr.	1	0,715118 ^{**}	0,866000 ^{**}	1,012196 ^{**}	0,846704 ^{**}
Res.	6	0,001538	0,000922	0,000397	0,000561

QUADRO 35 - Análise de variância dos dados do QUADRO 21.

F.V.	G.L.	QM			Média
		teste 1	teste 2	teste 3	
Regr.	1	1,272658 ^{**}	1,471137 ^{**}	1,213192 ^{**}	1,331121 ^{**}
Res.	6	0,001325	0,002642	0,000916	0,000351

QUADRO 36 - Análise de variância dos dados do QUADRO 23.

F.V.	G.L.	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média
Regr.	1	0,891938**	0,890235**	1,120493**	0,971310**
Res.	6	0,000741	0,002278	0,001060	0,001813

QUADRO 37 - Análise de variância dos dados do QUADRO 31.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regr.	1	0,293401	0,293401	54,10*
Res.	2	0,010846	0,005423	

QUADRO 38 - Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade para as equações constantes das TABELAS apresentadas.

Tipo de solo	Declividade do sulco	Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade		
		±	=	
Podzólico Vermelho-Amarelo-orto	1%	1,408	0,162	1,570
Latossol Roxo	1%	1,356	0,060	1,416
Podzol. de Lins e Marília	1%	1,545	0,071	1,616
Podzol. de Lins e Marília	1%	1,428	0,057	1,484
Podzólico Vermelho-Amarelo-orto	5%	1,135	0,096	1,232
Latossol Roxo	5%	1,273	0,030	1,303
Podzol de Lins e Marília	5%	1,219	0,129	1,348
Podzol de Lins e Marília	5%	1,138	0,072	1,210

1) Resultados do Latossol são diferentes dos resultados dos solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília.

2) Resultados do Podzólico-Vermelho-Amarelo-orto são diferentes dos resultados dos resultados dos solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília e resultados destes são diferentes dos resultados do Latossol Roxo.

4.2 - Equações de infiltração

4.2.1 - Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto. (Unidade Monte Alegre do Sul)

Os testes foram realizados em área da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul, representando o solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto.

Com os resultados constantes nos QUADROS 39 e 41, calcularam-se, pelo processo dos quadrados mínimos, as seguintes equações de infiltração:

$$I = 14,84 T^{-0,3346}$$

$$I = 19,52 T^{-0,5181}$$

I = intensidade de infiltração em cm/hora;

T = tempo em minutos.

Os intervalos de confiança, ao nível de 5% de probabilidade, para os valores de (K) e de (n) para as equações acima foram calculados respectivamente em:

$$K = 14,84 \pm 3,526 ; n = - 0,3346 \pm 0,0812$$

$$K = 19,52 \pm 9,886 ; n = - 0,2283 \pm 0,2800$$

Nos QUADROS 43 e 44 são apresentadas as análises da variância dos dados dos QUADROS 39 e 41.

Com os resultados constantes nestes últimos QUADROS, construíram-se as curvas de infiltração acumulada, apresentadas nas FIGs. 20 e 22. As curvas de infiltração acumulada, apresentadas nas FIGs. 21 e 23, foram calculadas pela fórmula:

$$T = \left[\frac{60 h (n+1)}{k} \right] \frac{1}{n+1}$$

As equações de infiltração acumulada, a seguir apresentadas, foram calculadas pelo processo dos quadrados mínimos.

$$F. = 0,3718 T^{0,6654}$$

$$F. = 0,675 T^{0,4819}$$

QUADRO 39 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho-Amarelo-orto. (Unidade Monte Alegre do Sul).

Hora	Intervalo de Tempo (minutos)			Vazão a montante (l/s)	Vazão a jusante (l/s)	Infiltração em 40m de sulco (l/s)	Infiltração (cm/hora)
	Vert.1	Vert.2	Média				
14:15	-	-	-	0,6	0,00	-	-
14:45	30	0	-	0,6	0,00	-	-
15:30	75	45	60	0,6	0,02	0,58	3,73
15:35	80	50	65	0,6	0,02	0,58	3,73
15:40	85	55	70	0,6	0,03	0,57	3,66
15:45	90	60	75	0,6	0,04	0,56	3,60
15:50	95	65	80	0,6	0,05	0,55	3,54
15:55	100	70	85	0,6	0,06	0,54	3,47
16:00	105	75	90	0,6	0,08	0,52	3,34
16:05	110	80	95	0,6	0,09	0,51	3,28
16:10	115	85	100	0,6	0,10	0,50	3,21
16:15	120	90	105	0,6	0,13	0,47	3,02
16:20	125	95	110	0,6	0,14	0,46	2,96
17:00	165	135	150	0,6	0,14	0,46	2,96

QUADRO 40 - Umidade do solo na ocasião do teste

Profundidade da amostra	Umidade
cm	%
0 - 25	24,8
25 - 50	27,7
50 - 75	33,1
75 - 100	35,0

QUADRO 41 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto. (Unidade Monte Alegre do Sul).

Hora	Intervalo de tempo (minutos)			Vazão a montante	Vazão a jusante	Infiltração em 40m de sulco	Infiltração
	Vert.1	Vert.2	Média	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(cm/hora)
7:56	-	-	-	1,5	0,00	-	-
8:05	9	0	-	1,5	0,00	-	-
8:10	14	5	9,5	1,5	0,40	1,10	7,07
8:15	19	10	14,5	1,5	0,84	0,66	4,24
8:20	24	15	19,5	1,5	0,86	0,64	4,11
8:25	29	20	24,5	1,5	0,90	0,60	3,86
8:30	34	25	29,5	1,5	1,00	0,50	3,21
8:35	39	30	34,5	1,5	1,00	0,50	3,21
8:40	44	35	39,5	1,5	1,00	0,50	3,21

QUADRO 42 - Umidade do solo na ocasião do teste.

Profundidade da Amostra	Umidade
cm	%
0 - 25	22,7
25 - 50	27,6
50 - 75	32,0
75 - 100	36,4

QUADRO 43 - Análise de variância dos dados do QUADRO 39.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,015105	0,015105	84,38 ⁺⁺
Erro	10	0,001788	0,000179	
TOTAL	11	0,016893		

QUADRO 44 - Análise de variância dos dados do QUADRO 41.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,082219	0,082219	42,66 ⁺⁺
Erro	4	0,009636	0,001927	
TOTAL	5	0,091855		

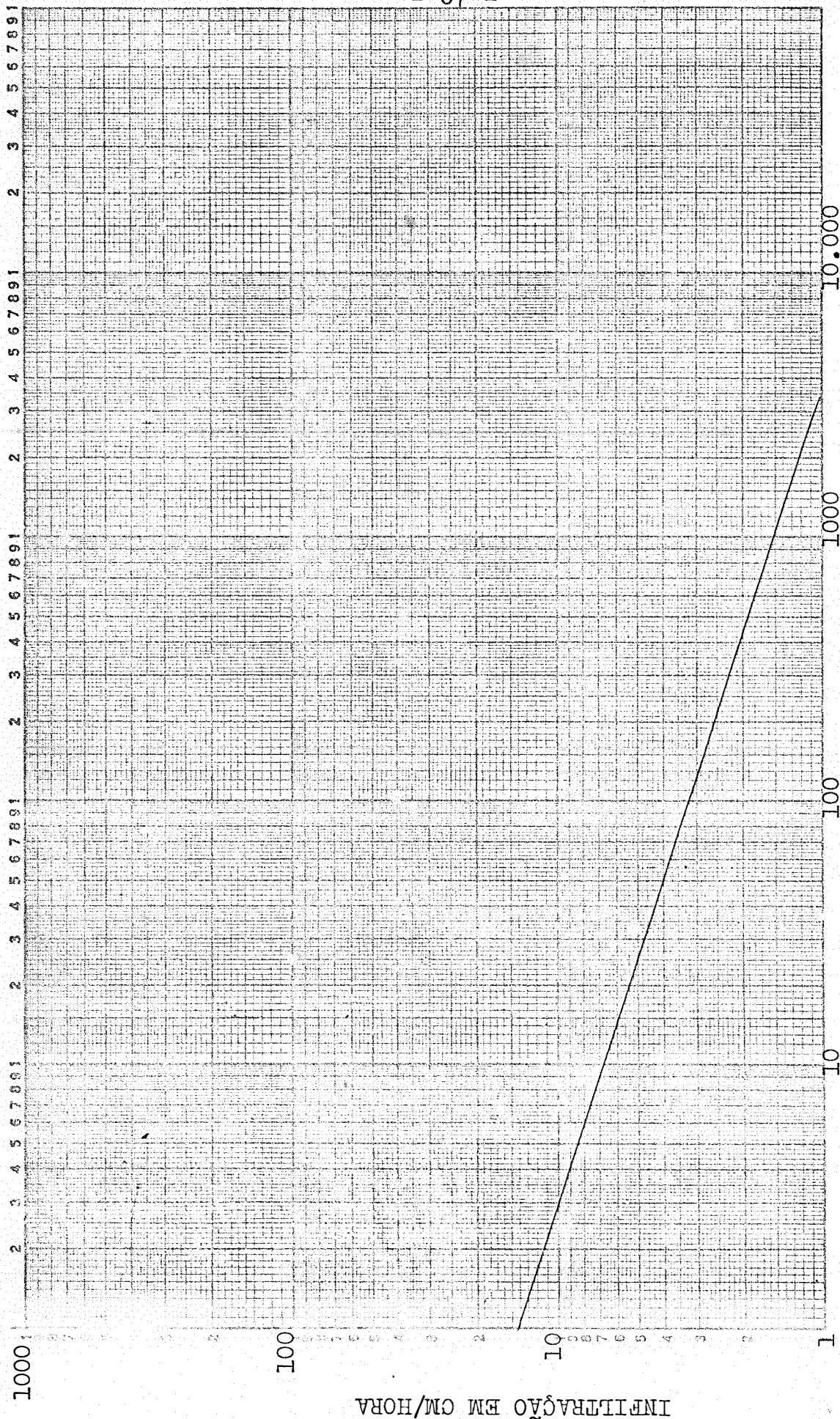


FIGURA 20 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%.
Vazão constante 0,6 litros/seg. Podzólico Vermelho Amarelo-orto.
(I = 14,84 T = 0,3346)

INFILTRAÇÃO EM CM/HORA

TEMPO EM MINUTOS

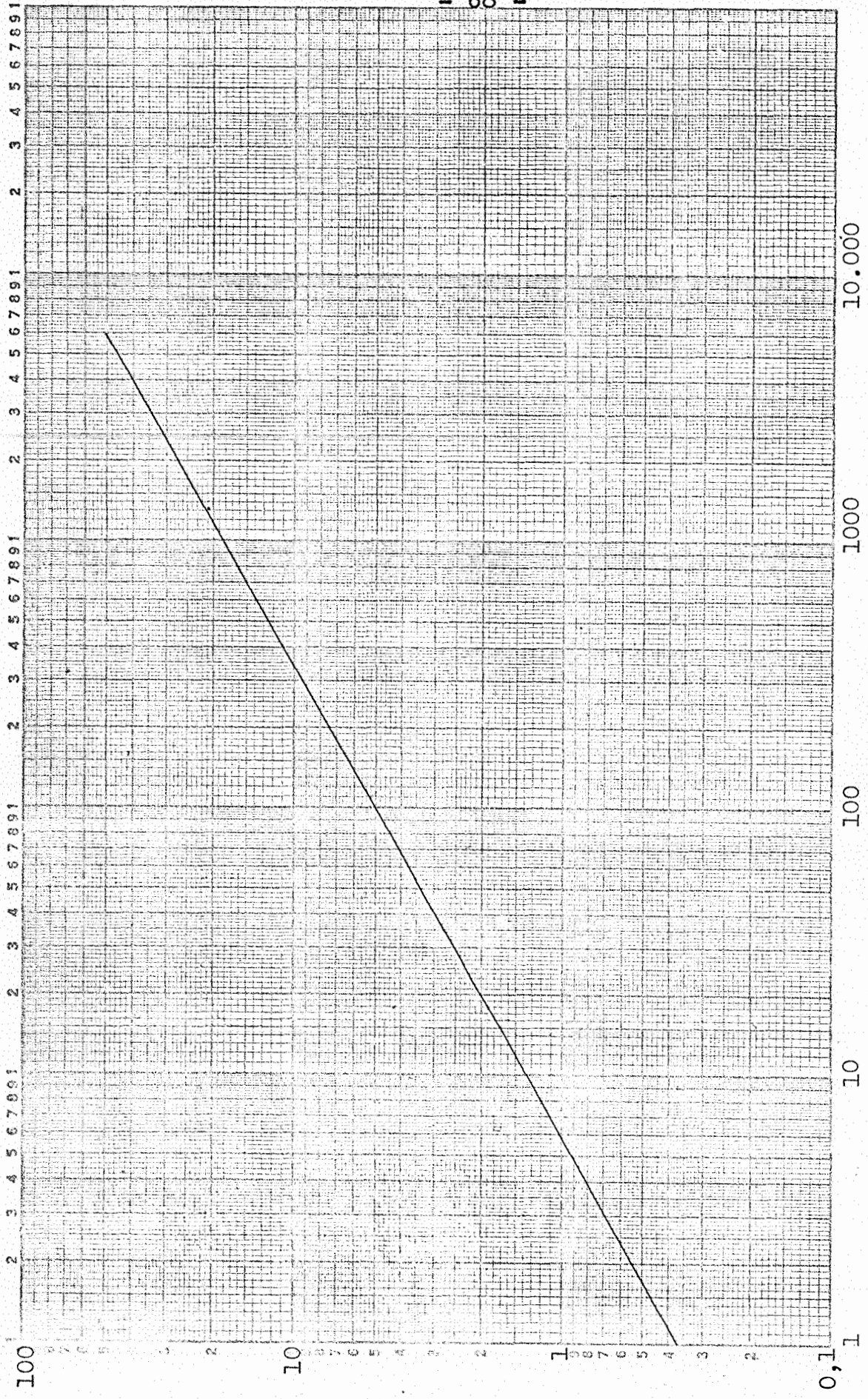


FIGURA 21 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 0,6 litros/seg. Podzólito Vermelho Amarelo-orto. (F = 0,3718 T 0,6654)

INFILTRAÇÃO EM CM

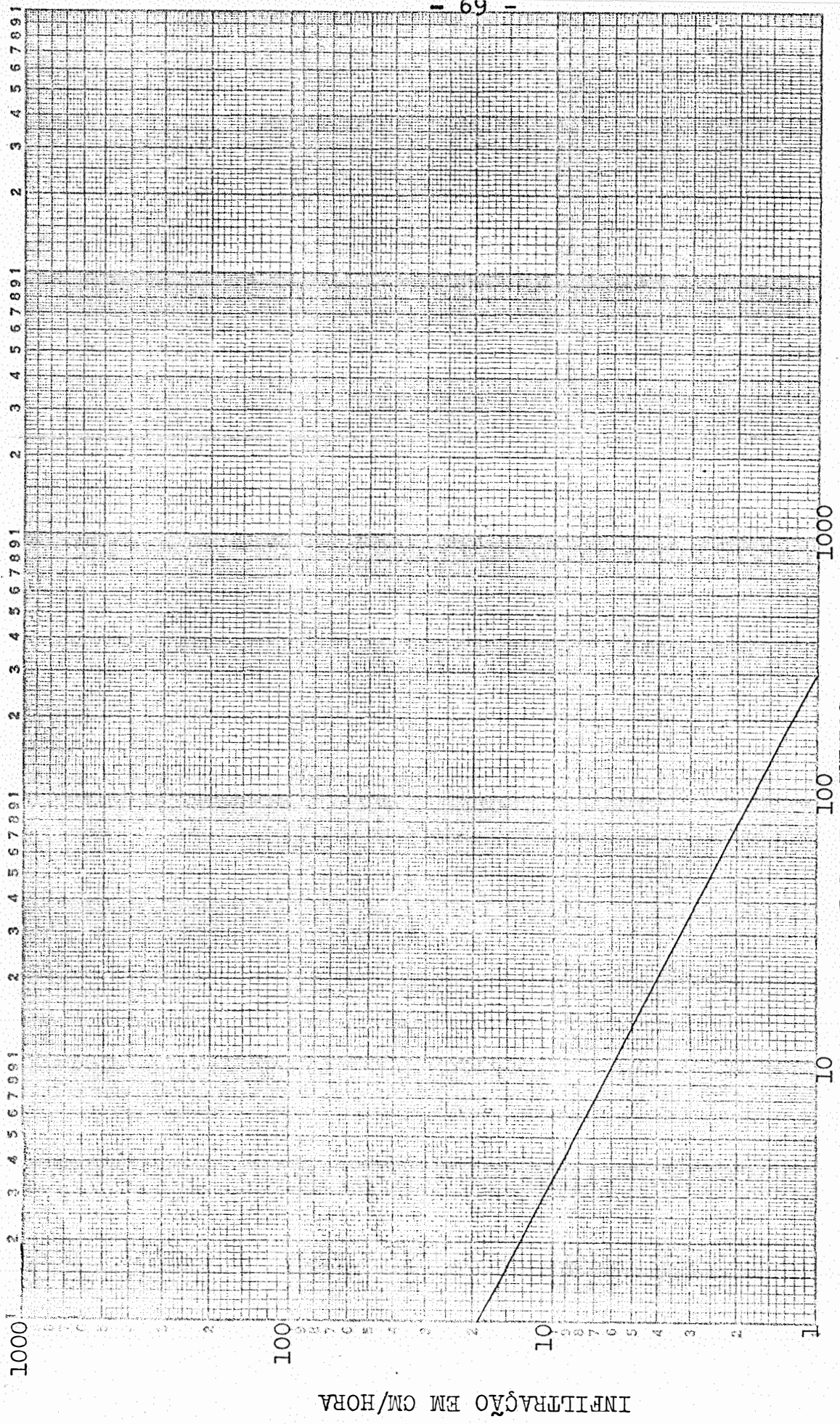


FIGURA 22 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,5 litros/seg. Podzólico Vermelho Amarelo-oroto. (I = 19,52 T^{-0,5181})

INFILTRAÇÃO EM CM/HORA

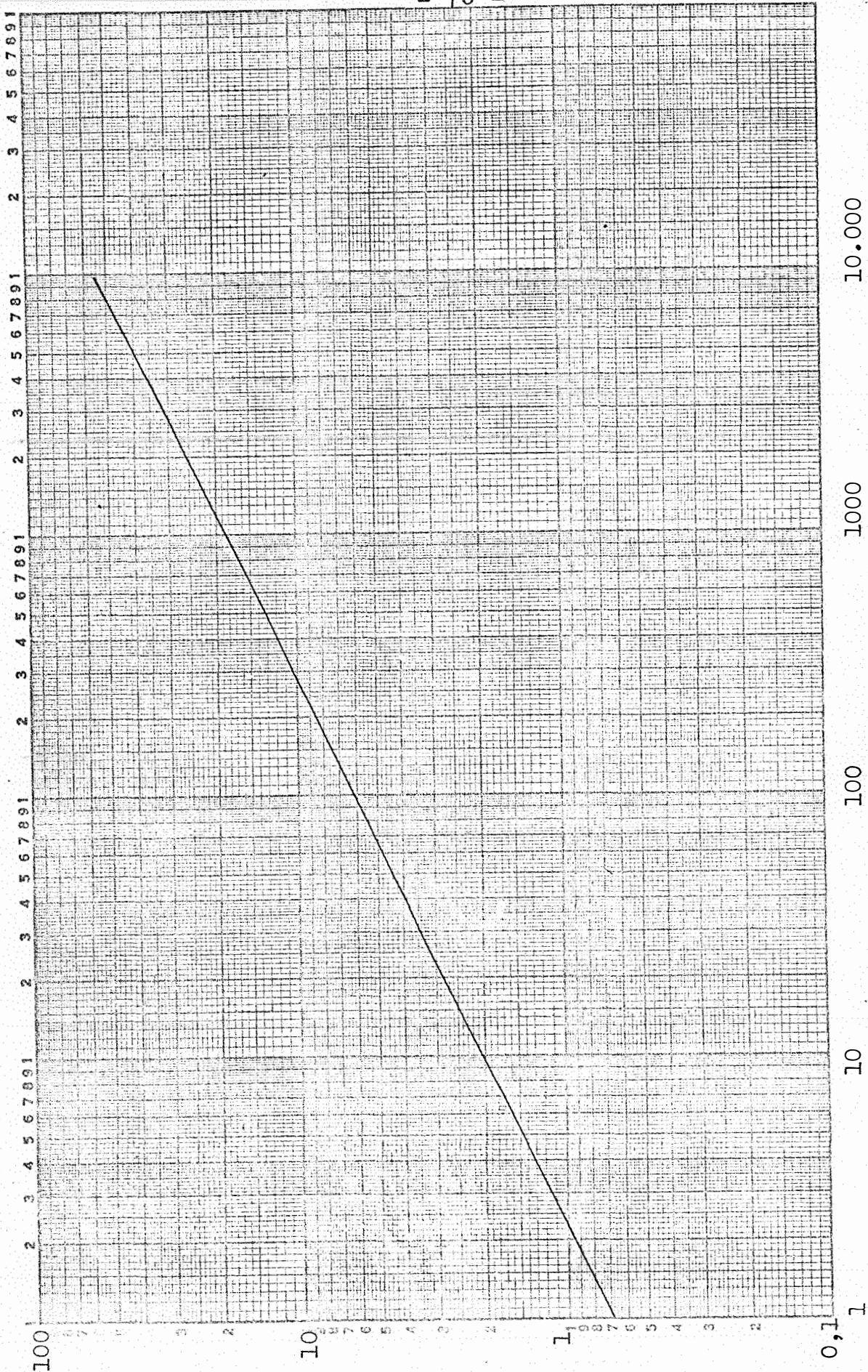


FIGURA 23 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,5 litros/seg. Podzólico Vermelho Amarelo-orto. (F = 0,675 T^{0,4819})

4.2.2 - Solo Latossol Roxo. (Unidade Ribeirão Preto)

Os testes foram realizados em área da Estação Experimental de Ribeirão Preto, representando o solo Latossol Roxo.

Com os dados obtidos e apresentados no QUADRO 45, calculou-se, pelo processo dos quadrados mínimos, a equação de infiltração:

$$I = 9,936 T^{-0,318} \quad \text{onde;}$$

I = intensidade de infiltração em mm/hora;

T = tempo em minutos

Os intervalos de confiança ao nível de 5% de probabilidade para os valores de (K) e (n) foram calculados em:

$$K = 9,936 \pm 2,98; \quad n = - 0,3108 \pm 0,1048$$

No QUADRO 47 consta a análise de variância dos dados do QUADRO 45.

A curva apresentada na FIG. 24, foi construída com os dados constantes do QUADRO 45.

A curva de infiltração acumulada apresentada na FIG. 25 foi calculada da mesma maneira que a da FIG. 21.

O mesmo ocorreu em relação ao cálculo da equação de infiltração acumulada abaixo apresentada:

$$F = 0,2403 T^{0,6892}$$

QUADRO 45 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solo Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto).

Hora	Intervalo de Tempo (minutos)			Vazão a montante (l/s)	Vazão a jusante (l/s)	Infiltração em 40m de sulco (l/s)	Infiltração (cm/hora)
	Vert.1	Vert.2	Média				
7:34	-	-	-	1,2	0,00	-	-
7:43	9	0	-	1,2	0,00	-	-
7:45	11	2	6,5	1,2	0,13	1,07	6,87
7:50	16	7	11,5	1,2	0,35	0,85	5,46
7:55	21	12	16,5	1,2	0,50	0,70	4,50
8:00	26	17	21,5	1,2	0,70	0,50	3,21
8:05	31	22	26,5	1,2	0,70	0,50	3,21
8:10	36	27	31,5	1,2	0,75	0,45	2,89
8:45	71	62	66,5	1,2	0,75	0,45	2,89
8:50	76	67	71,5	1,2	0,80	0,40	2,57
10:00	146	137	141,5	1,2	0,80	0,40	2,57

QUADRO 46 - Umidade do solo na ocasião do teste

Profundidade da Amostra	Umidade
cm	%
0 - 25	26,8
25 - 50	27,4
50 - 75	29,1
75 - 100	29,8

QUADRO 47 - Análise de variância dos dados do QUADRO 45.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,143416	0,143416	49,00 ⁺⁺
Erro	7	0,020488	0,002927	
TOTAL	8	0,177671		

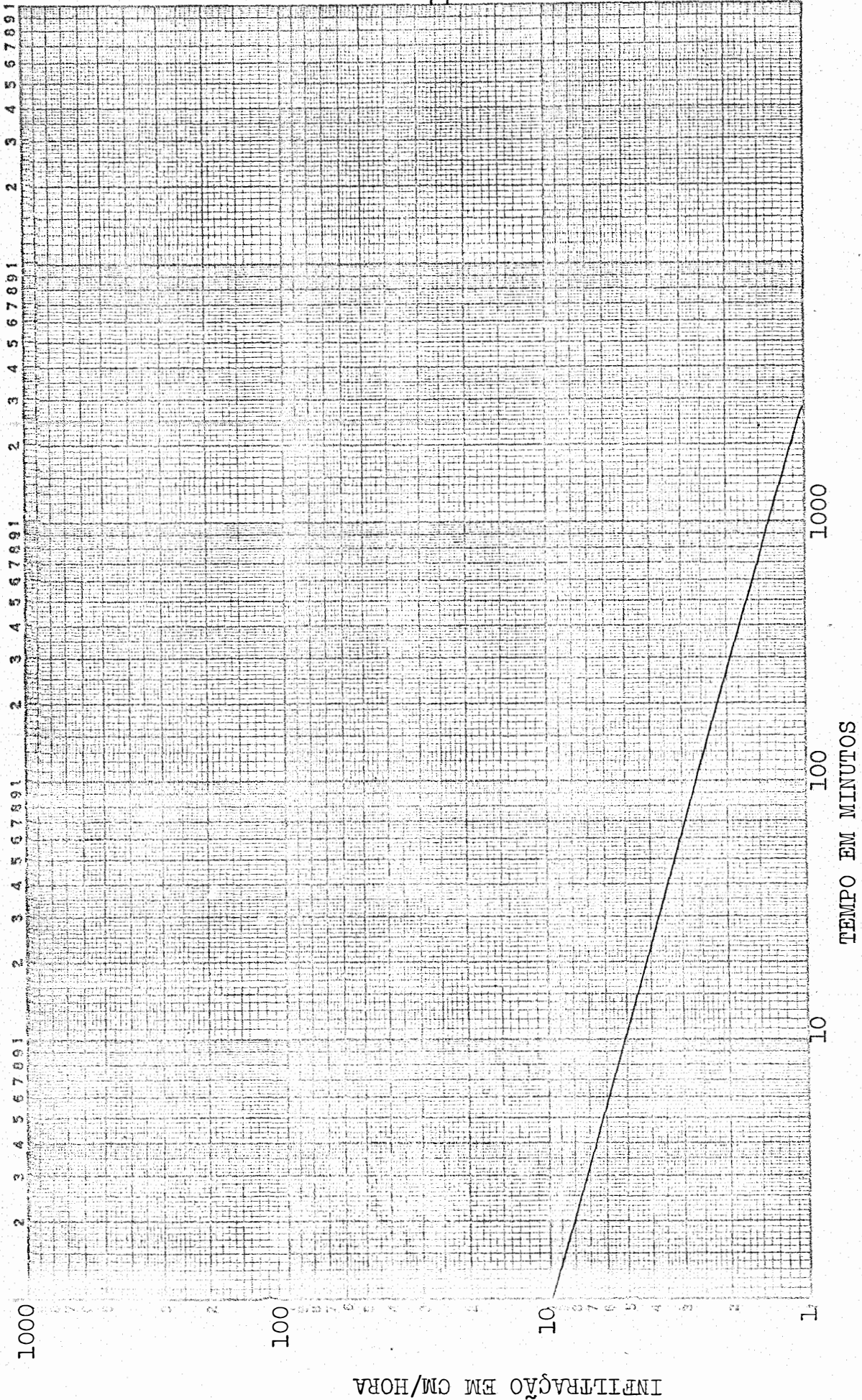


FIGURA 24 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive do sulco 1%.
Vazão constante 1,2 litros/seg. Latossol Roxo. (I = 9,936 T^{-0,318})

INFILTRAÇÃO EM CM

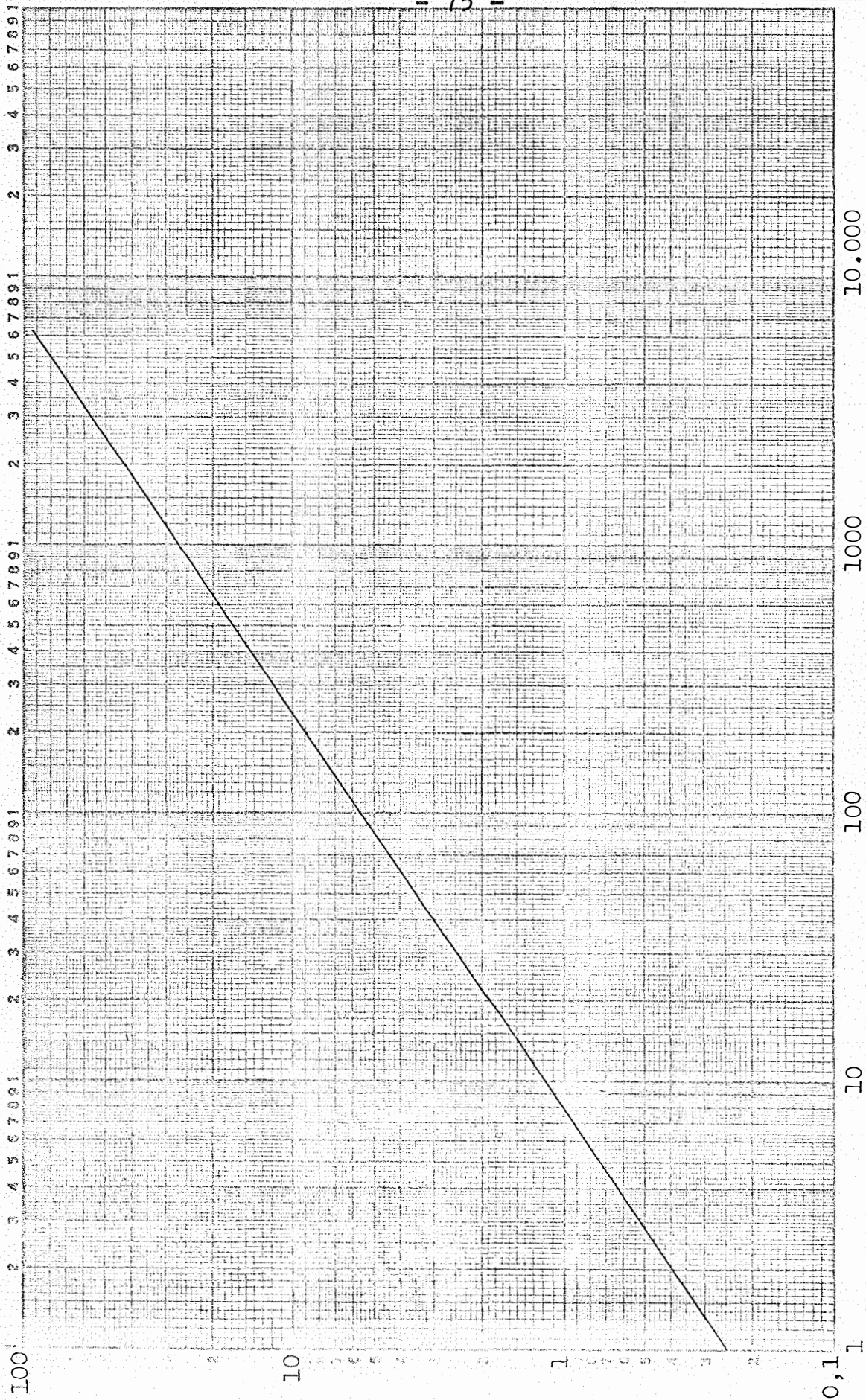


FIGURA 25 - Curva de infiltração acumulada. Declive do sulco 1%. Vazão constante 1,2 litros/seg. Latossol-Roxo. (F = 0,2403 T^{0,6892})

4.2.3 - Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)

Os testes foram realizados em área da Estação Experimental de Pindorama, representando os solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília.

Com os resultados obtidos e apresentados no QUADRO 48, construiu-se a curva de intensidade de infiltração.

Durante todo o transcorrer da segunda fase da experiência, a qual se prolongou de maio a meados de agosto, a umidade do solo se manteve muito elevada. De acordo com o próprio autor da equação, a mesma não se aplica a solos com intensidades de infiltração próximas da constante. Teve-se oportunidade de comprovar esse fato não só para os solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília como para o Latossol Roxo, em um dos últimos testes realizados. Contudo, a equação de intensidade de infiltração calculada foi:

$$I = 82,01 T^{-0,7576}$$

I = intensidade de infiltração em mm/hora;

T = tempo em minutos.

Os intervalos de confiança ao nível de 5% de probabilidade para os valores de (k) e (n) foram calculados em:

$$K = 82,01 \pm 17,08 \quad e \quad n = -0,7577 \pm 0,8227$$

Como se observa, a equação obtida diverge muito das equações encontradas nas unidades anteriores e a equação de infiltração acumulada não foi calculada pelas razões expostas.

No QUADRO 50, consta a análise de variância dos dados do QUADRO 48.

Ficou dito que antes de todos os testes determinou-se a porcentagem de umidade do solo. É de se notar que tanto a intensidade do avanço de água no sulco de irrigação quanto a intensidade de infiltração de água no solo estão intimamente relacionadas com a umidade, variando a primeira proporcionalmente e a segunda, inversamente, com êsse valor.

QUADRO 48 - Intensidade de infiltração da água em sulcos de irrigação. Declive 1%. Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama).

Hora	Intervalo de tempo (minutos)			Vazão a montante (l/s)	Vazão a jusante (l/s)	Infiltração em 40m de sulco (l/s)	Infiltração (cm/hora)
	Vert.1	Vert.2	Média				
7:50	-	-	-	2,2	0,00	-	-
7:56	6	-	-	2,2	0,00	-	-
8:05	15	0	-	2,2	0,00	-	-
8:10	20	5	12,5	2,2	0,30	1,90	12,21
8:15	25	10	17,5	2,2	0,60	1,60	10,28
8:20	30	15	22,5	2,2	0,90	1,30	8,36
8:25	35	20	27,5	2,2	1,20	1,00	6,43
8:30	40	25	32,5	2,2	1,20	1,00	6,43
8:35	45	30	37,5	2,2	1,40	0,80	5,14
8:40	50	35	42,5	2,2	1,70	0,50	3,21
9:30	100	85	92,5	2,2	1,70	0,50	3,21

QUADRO 49 - Umidade do solo na ocasião do teste.

Profundidade da Amostra	Umidade	Média
cm	%	%
0 - 25	13,0 - 12,6 - 12,0	13,9
25 - 50	21,0 - 21,5 - 20,6	20,6
50 - 75	22,5 - 23,9 - 21,3	21,3
75 - 100		

QUADRO 50 - Análise de variância dos dados do QUADRO 48.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,2807	0,2807	40,68 ⁺⁺
Resíduo	6	0,0415	0,0069	
TOTAL	7	0,3222		

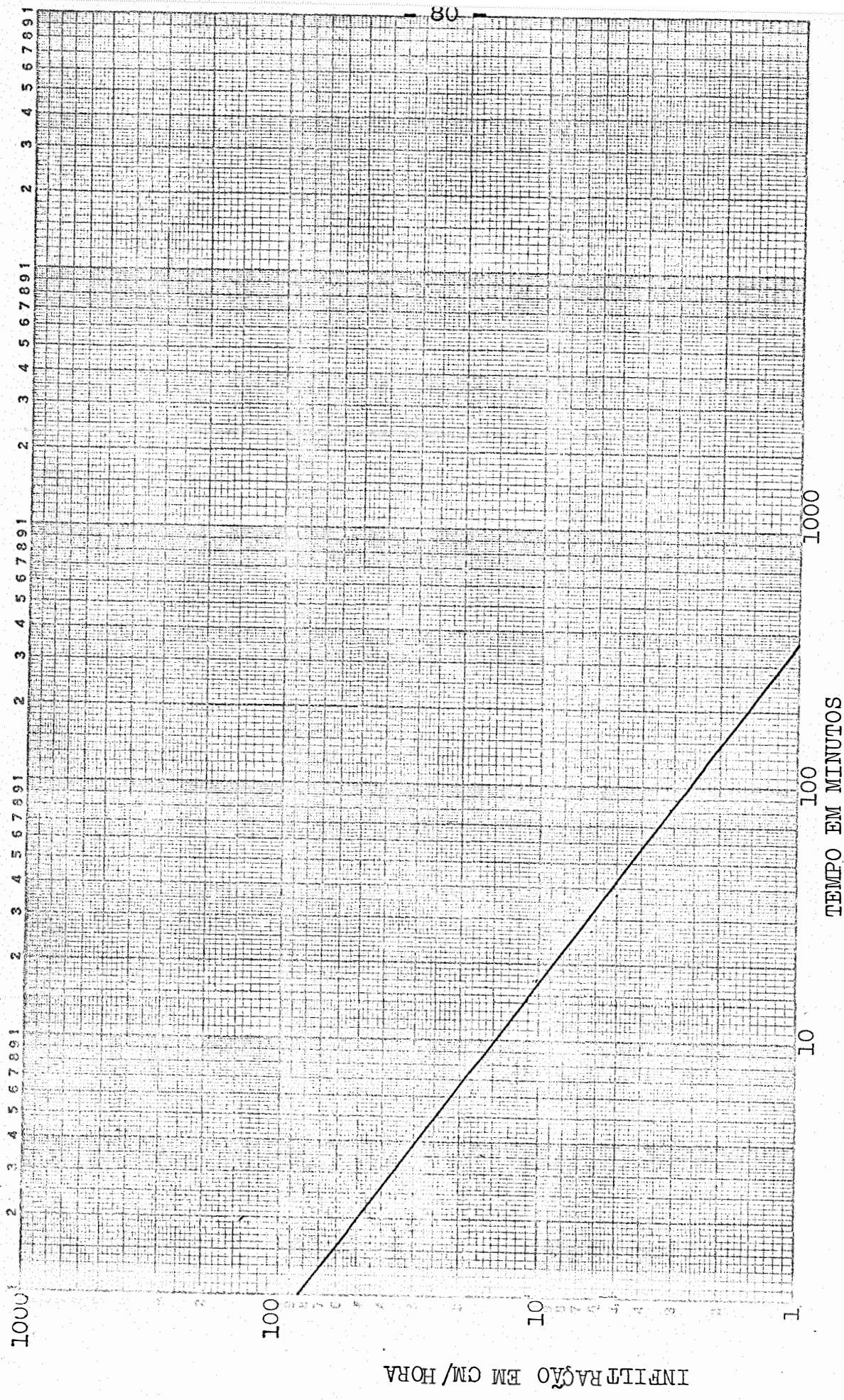


FIGURA 26 - Intensidade de infiltração de água em sulcos de irrigação. Declive do sulco 1‰. Vazão constante 2,2 litros/seg. Solos Podzolizados variação Lins e Marília. (I = 82,01 T^{-0,7576})

INFILTRAÇÃO EM CM/HORA

TEMPO EM MINUTOS

80

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme se observa pelos dados, as vazões empregadas nos testes para determinação das equações de avanço da água nos sulcos foram relativamente altas.

Como os sulcos utilizados apresentavam pequena declividade, o emprêgo de maior volume de água na unidade de tempo foi a maneira encontrada para fazer com que a mesma percorresse todo o sulco em tempo razoável, para que fôsse possível estabelecer também a vazão "crítica" da água, no dizer de TOSELLO et al (1960). A vazão "crítica" é definida pelos citados autores como a vazão acima da qual a quantidade de água infiltrada no sulco é constante, e abaixo da qual torna-se desuniforme a distribuição de água no sulco, afetando a eficiência da irrigação. Sugerem, ainda, que a vazão "crítica" seja uma constante para cada tipo de solo, comprimento, declividade e características hidráulicas do sulco.

Nesse mesmo trabalho consta que somente quando a vazão inicial ultrapassou 5,5 l/s (considerada como a crítica) é que foi possível aplicar uma quantidade de água desejada, num trecho de 60 m de sulco. Informações de tal natureza vem

de justificar plenamente as vazões a que se chegaram para a realização dos testes do presente trabalho, e ainda, em termos de "vazão crítica".

É importante acentuar que TOSELLO et al (1960) obtiveram as conclusões aqui ventiladas, quando trabalharam com sulcos experimentais de 80 a 100m de comprimento e declividades de 1% a 5%, porém os solos eram arenosos.

Uma vez conhecida a vazão crítica, torna-se fácil a escolha da vazão e do declive dos sulcos, nos projetos de irrigação por tal sistema.

Os testes aqui realizados desaconselharam o emprego de sulcos muito extensos, mesmo usando grandes vazões.

Verificou-se que o comprimento dos sulcos deverão situar-se na faixa dos 60 a 80 metros, principalmente para os solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília.

No decorrer dos testes, constatou-se que avanços médios de água nos sulcos próximos de 30 cm/seg não provocaram erosão em nenhum dos solos testados.

Os principais problemas encontrados durante a realização da experiência foram os olheiros de formigas e outras irregularidades do terreno que prejudicaram os resultados, fazendo com que muitos testes fôssem perdidos.

A análise estatística das equações estabelecidas para o cálculo da intensidade de avanço da água nos sulcos apresentou os seguintes resultados:

5.1 - Solo Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul

a) Sulco com 1% de declividade

Não mostrou diferença significativa entre os coeficientes de regressão calculados nos três testes, sendo o

valor médio dêsse coeficiente, para a média dos testes, igual a $1,408 \pm 0,162$.

b) Sulco com 5% de declividade

Também neste caso não houve diferença significativa entre os coeficientes de regressão, sendo o valor dêsse coeficiente, para a média dos três testes, igual a $1,135 \pm 0,096$.

Os coeficientes de regressão médios para as declividades de 1% e 5% diferiram significativamente, como era de se esperar.

5.2 - Solo Latossol Roxo (Unidade de Ribeirão Preto)

a) Sulco com 1% de declividade

Não houve diferença significativa entre os coeficientes de regressão nos dois testes, sendo o seu valor médio igual a $1,356 \pm 0,60$.

b) Sulco com 5% de declividade

Houve diferença significativa entre os coeficientes de regressão, sendo seu valor médio igual a $1,273 \pm 0,30$.

Os coeficientes de regressão médios para as declividades de 1% e 5% diferiram significativamente, como era esperado.

5.3 - Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (Unidade Pindorama)

a) Sulco com 1% de declividade

Não houve diferença significativa entre os coeficientes de regressão dos testes.

O coeficiente de regressão para a média dos testes realizados em data de 1/7/68 foi igual a $1,545 \pm 0,071$.

Para a média dos testes realizados em 7/8/68, foi igual a $1,428 \pm 0,057$.

Êsses dois coeficientes de regressão não diferiram entre si, como seria de esperar.

b) Sulco com 5% de declividade

O coeficiente de regressão para a média dos testes efetuados em julho e agosto de 1968 foram, respectivamente, iguais a $1,219 \pm 0,129$ e $1,138 \pm 0,072$, havendo diferença significativa entre os mesmos.

Os coeficientes de regressão diferiram significativamente também quando se compararam as declividades de 1% e 5%. Isso ocorreu tanto com o primeiro como com o segundo teste. Êsse último era de esperar.

5.4 - Aplicação prática dos resultados

As equações de intensidade de avanço e de infiltração da água em sulcos de irrigação, bem como as curvas delas obtidas, têm aplicação imediata em projetos de irrigação, para o dimensionamento do comprimento do sulco e do tempo para colocar no solo a quantidade de água necessária.

Seja, para exemplificar, que em um sistema de irrigação por sulcos com 1% de declividade em Latossol Roxo pretenda-se aplicar 30 mm de água, com uma vazão de entrada de 1,2 litros/s.

Na curva de vazão "crítica" acumulada, construída para êsse tipo de solo e vazão dada (FIG.25), assinala-se no eixo das ordenadas o valor dessa quantidade de água.

(3 cm), traçando-se daí uma linha horizontal que corta a curva num ponto da abcissa que corresponde a 40 minutos (tempo de irrigação inicialmente obtido).

Admitindo-se que a água deva atingir o final do sulco em 1/4 do tempo obtido para sua permanência no mesmo, toma-se o valor $40/4 = 10$ min. e coloca-se-o no eixo das ordenadas da curva de intensidade de avanço da água para esse mesmo tipo de solo (FIG. 8); uma horizontal tirada desse ponto à curva (1,2 l/seg) determina um ponto de abcissa correspondente ao comprimento do sulco, isto é, 46 metros (aproximadamente). O tempo efetivo de irrigação será então de $40 + 10 = 50$ minutos.

De fato, por cálculo, a orientação seria a seguinte:

Da TABELA 2 - Solo Latossol Roxo

Declive sulco	Vazão de entrada	Tempo de avanço da água no sulco (em segundos)
1‰	1,2 l/s	$T = 2,68 D^{1,4}$

Equação da infiltração acumulada para o tipo de solo em causa (ítem 4.2.2)

$$F = 0,2403 T^{0,6892}$$

que permite calcular-se o tempo total necessário para aplicar $h = 3$ cm de água ao solo, pois que

$$T^{0,6892} = \frac{3}{0,2403}$$

donde

$$T \approx 39 \text{ minutos}$$

Pelo critério de que o avanço d'água atinge o final do sulco em 1/4 do tempo total de irrigação

$$T = 39/4 \approx 10 \text{ minutos ou } 600 \text{ segundos}$$

Entrando-se com a equação

$$T = 2,68 D^{1,4}$$

$$600 = 2,68 D^{1,4}$$

donde

$$D = 47,71 \text{ metros,}$$

confirmando o resultado obtido, gráficamente, através das FIGs. 25 e 8 envolvidas na formulação do exemplo.

6 - CONCLUSÕES

O presente experimento, conduzido com base no método de CRIDDLE (1956), permitiu a obtenção de resultados que poderão ser úteis àqueles interessados em projetos de irrigação por sulcos nos solos aqui discutidos e sobretudo poderá conferir subsídios para novas experiências.

As principais conclusões daqui auferidas se enumeram a seguir

- 1 - Vazões de entrada d'água nos sulcos, conjugadas com declividades dos mesmos que determinaram o avanço médio da água até cerca de 30 cm/seg não provocaram erosão. Conseqüentemente, a vazão, o declive e a forma dos sulcos deverão se combinar com o fim de impedir avanços médios da água superiores a 30 cm/seg.
- 2 - Para os solos estudados o comprimento do sulco não deve exceder 80 m, sendo preferível 60 metros.

- 3 - Para a economia de água, a vazão de irrigação poderá ser reduzida de 2/3 assim que a mesma atingir o final do sulco.
- 4 - Dos testes resultaram duas séries de equações: uma para determinar o avanço da água em sulcos de irrigação, com 1% e 5% de declive, construídos em solos, Podzólico Vermelho Amarelo-orto, Latossol Roxo e solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (TABELAS, 1, 2 e 3) e outra para determinar a intensidade de infiltração nesses solos excepto os Podzolizados (ítens, 4.2.1 e 4.2.2).
- 5 - Com a primeira série de equações da conclusão anterior, pode-se calcular, para os tipos de solos considerados o comprimento máximo admissível para os sulcos de irrigação, para as vazões e declives envolvidos nas equações.
- 6 - Com a segunda série de equações da conclusão 4, pode-se calcular diretamente o tempo necessário de permanência da água nos sulcos de irrigação, a fim de aplicar a quantidade de água desejada na camada de solo considerada.
- 7 - Pode-se comprovar que a equação de infiltração da forma $I = kT^n$ não se aplica a intensidades de infiltração próximas da constante, conforme preconiza KOSTIAKOV (1932).
- 8 - Como sugestão àqueles que pretendem realizar testes similares aos do presente trabalho, visando obter novas equações de avanço da água e de intensidade de infiltração nos sulcos de irrigação, que se apliquem de imediato em projetos de irrigação, recomenda-se a oportunidade do emprego de vazões menores que as aqui utilizadas, bem como de sulcos mais declivosos. A escassez de dados referentes

ao processo de irrigação por sulcos talvez constitua um dos fatores que tem levado os especialistas em irrigação a aconselhar outros sistemas, mesmo nos casos em que êsse método pudesse apresentar vantagens.

7 - RESUMO

O objetivo principal do presente estudo foi obter elementos para auxiliar a realização de projetos de irrigação pelo sistema de sulcos, bem como verificar o comportamento das equações de avanço da água e de intensidade de infiltração, simples e acumulada, nos sulcos para os solos Podzólico Vermelho Amarelo-orto (Unidade Monte Alegre do Sul), Latossol Roxo (Unidade Ribeirão Preto) e Podzolizados de Lins e Marília - Variação Marília (Unidade Pindorama).

Para realizar o estudo, foram construídos sulcos de irrigação com declives de 1‰ e 5‰, em áreas das Estações Experimentais de Monte Alegre do Sul, Ribeirão Preto e Pindorama, tôdas pertencentes ao Instituto Agrônômico e representando alguns dos principais solos do Estado de São Paulo.

A medição de vazões foi feita instalando-se vertedores triangulares, de 90°, de bordos delgados e queda livre em ambas as extremidades dos sulcos.

Para o contrôlo do avanço da água nos sulcos, dividiu-se o mesmo em seções de 10 metros, cronometrando-se o tempo gasto para a água percorrer cada seção.

A umidade existente no solo, antes de cada teste, foi determinada pelo processo gravimétrico padrão. São apresentadas as curvas de avanço da água nos sulcos e respectivas equações, bem como as curvas de infiltração simples e acumulada, com as respectivas equações, para os solos Podzólico Vermelho-Amarelo-orto e Latossol Roxo.

As principais conclusões obtidas, inerentes às condições do experimento foram as seguintes:

- 1) Para os solos estudados, o comprimento do sulco não deve exceder 80 m, sendo preferível 60 metros.
- 2) A vazão e a declividade dos sulcos deverão ser combinadas de maneira a não permitirem intensidades médias do avanço da água, nos sulcos de irrigação superiores a 30 cm/seg.
- 3) Comprovou-se que a equação de infiltração da forma $I = kT^n$ não se aplica a intensidades de infiltração próximas da constante, conforme preconizado por KOSTIAKOV (1932).
- 4) Obtenção das equações de infiltração e de avanço da água nos sulcos de irrigação, calculadas com base nos resultados dos testes, demonstrando-se a aplicação rápida e útil aos projetos de irrigação, através de gráficos, também apresentados.

8 - SUMMARY

The objectives of this paper were to obtain supporting information for furrow irrigation projects and to study the feasibility of the equations of the wet front movement in selected tropical soil and the rate of infiltration of water as well.

Irrigation furrows were constructed with 1% and 5% slopes in the experiment stations at Monte Alegre do Sul, Ribeirão Preto and Pindorama. Discharge measurements were conducted with 90°, thin-edged, free-flow drop, triangle weirs. Water front movement was timed at every 10 m furrow lengths. Soil moisture was determined prior to each run by the oven method. Water front curves and their corresponding equations are presented from Figure 4 through Figure 19. Infiltration rate and accumulated infiltration curves are shown in Fig. 20 through Figure 26 as well as the corresponding equations for the red yellow-podzol, var. ortho, soil and for the Latossol Roxo soil.

The data obtained permite the following conclusions:

- 1 - Furrow length should not exceed 80 m for the conditions of the study, 60 m being the practical length for the experimental sites used.
- 2 - Discharge and furrow length should be combined so as to prevent flow velocities above 30 cm/seg.
- 3 - The infiltration equation $I = kT^n$ should not be applied when the infiltration rates approach the soil constant of infiltration values for the soils studied.

9 - LITERATURA CITADA

- 1) BOUDURANT, J.A. Developing a furrow infiltrometer.
Agric. Eng. 38:602-604. 1957.
- 2) BOUWER, H. Infiltration patterns for surface irrigation.
Agric. Engr. 38: 662-669, 676. 1957.
- 3) MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - Levantamento de Reconhecimento
dos Solos do Estado de São Paulo. Serviço Nacional de
Pesquisas Agronômicas, 1960 (Boletim Nº 12) 605 p.
- 4) CRIDDLE, W.D. et al. Methods for evaluating irrigation
systems. U.S. Dep. of Agric. Soil Cons. Service.
Agric. Handbook 82: 1-23. 1956.
- 5) GRAY, M.D. & BEER, C.E. Factors affecting section of
proper "length-of-run" as applied to furrow irrigation
design. Iowa. Agric. Exp. STA. 1957, 8 p.
- 6) HORTON, R.E. et al. Report of Committee of hydraulics of
infiltration capacity. Soil Sci. Amer. Proc. 51:339-
-417. 1940.

- 7) KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water percolation. Trans. Int. Soc. Sci. Russian. 6th Part A, 17-21. 1932.
- 8) LYON, A.V. & PENNEFATHER, R.P. Furrow irrigation of Community Settlements. J. Coun. Sci. Industr. Res. Aust. V 19. 38-45, 1946.
- 9) MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. In Cingresso Brasileiro de Ciência do Solo. 6^o. Salvador, Bahia. 1957. Anais Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1962. p. 29-38.
- 10) OLITTA, A.F.L. Estudo da infiltração da água em sulcos de irrigação. Variação de características hidráulicas com o crescimento das plantas. Tese para obtenção do título de doutor em Agronomia, apresentada a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 1970. 75 p. (não publicada).
- 11) PHELAN, J.T. Design procedures and research needs for the furrow method of irrigation. In USDA. Hydraulics of surface irrigation. Proceedings of the ARS-SCS 41-43: 45-54. 1960.
- 12) PHILIPS, J.R. The infiltration process and its relevance to irrigation. Presented to irrigation course, Yanco Experimental Farm, 27th October - 7th November, 1952. Regional Pastoral Laboratory, Deniliquin. N.S.W.
- 13) ROTTA, C.L. et al. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul. Bragançia (aguardando publicação).

- 14) SHIBATA, K. Unsteady flow between furrow. Abstrat from Reclamation and Melioration. Agric.Eng. Soc. of Japão. Tokio. Japão nº 1 p. 7. 1956.
- 15) THORNTON, J.F. Summary of hydraulics of furrow irrigation studies in Missouri. Missouri Agric. Exp. Station, 1960. 6p. (cópia datilografada).
- 16) TOSELLO, R.N. Relatório da Seção de Irrigação e Drenagem. Campinas, Instituto Agrônômico, 1956. 11p.
- 17) TOSELLO, R. et al. Um nôvo sistema prático de irrigação de cana-de-açúcar e outras culturas. In Anais do I Congresso Nacional de Conservação do Solo. Campinas, Estado de São Paulo, 17-23 julho. Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura - Secretaria da Agricultura: 509 a 542. 1960.
- 18) VAUGHN, E. et al. Mathematical relationships expressing the hydraulics of surface irrigation. Proceedings of the ARS-SCS workshop on hydraulics of surface irrigation - Agricultural Research Service. U.S. Depart. Of Agric. Denver, Colorado. February 9-10-1960. ARS-41-43. October 1960. p. 29-35.
- 19) WIMBERLY, J.E. Design of furrow irrigation system in sugar cane. (Thesis). Graduate Faculty of Lousiana State University and Agricultural and Mechanical College. Department of Agricultural Engineering, 1962. 74p.