

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DAS
CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO NA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

SERGIO LUIS AMIM

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1985

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se a disposição dos interessados na Biblioteca Central da Referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Sérgio Luis Amim

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: ___/___/___

Francisco de Souza, Ph.D.
Orientador da Dissertação

Luis Carlos Uchôa Saunders, Doutor
Conselheiro

Mardônio Aguiar Coelho, Ph.D.
Conselheiro

Aos meus pais IUSSIF e SEBASTIANA e
aos meus irmãos CARMEM e FABIO

DEDICO.

"Não é paradoxo dizer que nos nossos momentos de ins
piração mais teórica podemos estar o mais próximo
possível de nossas aplicações mais práticas".

(A.N. WHITEHEAD)

AGRADECIMENTOS

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo recebidas.

Ao convênio "Manejo D'Água em Áreas Irrigadas-Determinação da Eficiência e Uniformidade de Distribuição de Água na Irrigação por Sulcos", PDCT/CE-03, pela colaboração financeira.

Ao Professor FRANCISCO DE SOUZA, pela amizade, dedicação e orientação prestada na evolução deste trabalho.

Aos Professores LUIS CARLOS UCHÔA SAUNDERS e MARDÔNIO AGUIAR COELHO, pela colaboração e sugestões apresentadas.

Ao Engenheiro Agrônomo SEBASTIÃO GERALDO AUGUSTO e ao Engenheiro Agrícola SERGIO LUIZ AGUILAR LEVIEN pelo auxílio na condução dos testes de campo.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo convívio alegre e sincero.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	vii
<u>LISTA DE TABELAS EM ANEXO</u>	viii
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	xii
<u>LISTA DE FIGURAS EM ANEXOS</u>	xvi
<u>RESUMO</u>	xvii
<u>ABSTRACT</u>	xix
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
2.1 - <u>Infiltração</u>	3
2.1.1 - Terminologia e Definições	3
2.1.2 - Fatores que afetam o processo de Infiltração..	6
2.1.3 - Tratamento Matemático da Infiltração	9
2.1.4 - Técnicas de Determinação das Características de Infiltração	16
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	34
3.1 - <u>Procedimento Experimental</u>	34
3.2 - <u>Técnicas de Determinação das Características de Infiltração do Solo</u>	39
3.2.1 - Técnica do Cilindro Infiltrômetro	39

	Página
3.2.2 - Técnica do Sulco Infiltrômetro	41
3.2.3 - Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água ...	43
3.2.4 - Técnica do Balanço de Volume Proposto por CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966)	45
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	48
4.1 - <u>Caracterização Físicas do Solo</u>	48
4.2 - <u>Infiltração da Água nos Sulcos</u>	49
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	81
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	84
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	86
ANEXO "A"	92
ANEXO "B"	94
ANEXO "C"	126
ANEXO "D"	130

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Análise Granulométrica e Densidade do Solo ..	48
2	Constantes Numéricas k (cm/min^a) e a da Equação de Infiltração Acumulada de KOSTIAKOV obtidas por 5 Diferentes Técnicas	50
3	Constantes Numéricas k' (cm/hora^a) e n da Equação de Velocidade de Infiltração de KOSTIAKOV	67
4	Análise de Variância para os Valores Médios da Constante Numérica " k "	74
5	Análise de Variância para os Valores Médios da Constante Numérica " a "	75
6	Valores Médios das Constantes Numéricas " k " e " a " da Equação de Infiltração Acumulada ..	76
7	Conteúdo de Água do Solo em Base Volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), Obtidos antes do Início dos Testes	78
8	Efeito do Conteúdo de Água do Solo em Base Volumétrica (θ) sobre os Valores de k , a , k' e n	79

LISTA DE TABELAS EM ANEXO

ANEXO	Página
A-9	Conteúdo de Umidade em Base a Peso Seco (%) Obtidos a Partir dos Dados Experimentais ... 93
B-10	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro para Obtenção da Equação de Projeto 95
B-11	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 1 96
B-12	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 2 97
B-13	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 3 98
B-14	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 4 99
B-15	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 5 100
B-16	Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro - Nº 6 101
B-17	Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro - Nº 1 102
B-18	Teste de Infiltração Realizado com o Sulco

ANEXO	Página
Infiltrômetro - Nº 2	103
B-19 . Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro - Nº 3	104
B-20 Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro - Nº 4	105
B-21 Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro - Nº 5	106
B-22 Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro - Nº 6.....	107
B-23 . Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 1	108
B-24 Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 2	109
B-25 Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 3	110
B-26 Tesde de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 4	111
B-27 Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 5	112

ANEXO		Página
B-28	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (100 m) - Nº 6	113
B-29	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 1	114
B-30	Teste de Infiltração Realizado com a técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 2	115
B-31	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 3	116
B-32	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 4	117
B-33	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 5	118
B-34	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água (30 m) - Nº 6	119
B-35	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 1.....	120

ANEXO		Página
B-36	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 2	121
B-37	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 3	122
B-38	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 4	123
B-39	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 5	124
B-40	Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN <u>et alii</u> , 1966) - Nº 6	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Croquis do Campo Experimental	36
2a	Sistema de Carga Constante para Medição da Infiltração da Água em Sulcos (após AUGUSTO, 1984)	42
2b	Detalhe das Chapas Semicirculares Usadas nas Extremidades do Sulco (após ESPÍNOLA, 1977)..	42
6	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para a Técnica do Balanço de Volume, com a Metodologia Proposta por CHRISTIANSEN et alii (1966) para os Seis (6) Testes Realizados ...	51
7	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica do Cilindro Infiltrômetro para os Seis (6) Testes Realizados	52
8	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica do Sulco Infiltrômetro para os Seis (6) Testes Realizados	53
9	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica de Entrada e Saída - 100 m para os Seis (6) Testes Realizados	54
10	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com	

FIGURA

Página

	a Técnica de Entrada e Saída - 30 m para os Seis (6) Testes Realizados	55
11	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro : Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 1	58
12	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 2	59
13	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 3	60
14	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro(SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)	

FIGURA

Página

	- Teste Nº 4	61
15	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado pa- as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)	
	- Teste Nº 5	62
16	Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado pa- as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)	
	Teste Nº 6	63
17	Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saí da com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)- Tes te Nº 1	68
18	Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saí da com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)- Tes te Nº 2	69

FIGURA

Página

- 19 Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 3 70
- 20 Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 4 71
- 21 Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 5 72
- 22 Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste Nº 6 73

LISTA DE FIGURAS EM ANEXO

ANEXO		Página
C-3	Curva Característica de Umidade para a Profundidade de 15 cm	127
C-4	Curva Característica de Umidade para a Profundidade de 45 cm	128
C-5	Curva Característica de Umidade para a Profundidade de 75 cm	129
D-23	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 1 ...	131
D-24	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 2 ...	132
D-25	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 3 ...	133
D-26	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 4 ...	134
D-27	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 5 ...	135
D-28	Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN <u>et alii</u> (1966) - Teste nº 6 ...	136

RESUMO

Os testes de campo foram realizados entre setembro e dezembro de 1984, na Fazenda Experimental do Vale do Curu, CE-Brasil, em seis baterias de sulcos, onde foram realizados seis testes para cada uma das seguintes técnicas de determinação das características de infiltração: cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída para 100 m e 30m de comprimento de sulco e balanço de volume com a metodologia proposta por CHRISTIANSEN et alii (1966).

Em todos os testes de infiltração foi determinado o conteúdo de água do solo para posterior avaliação de sua influência na determinação das constantes numéricas da equação de infiltração proposta por KOSTIAKOV.

Com resultados dos testes de campo, chegou-se as seguintes conclusões:

- Tomando como padrão a técnica do balanço de volume, o método de entrada e saída para os dois comprimentos de sulco estudados superestima a infiltração, enquanto, a sulco infiltrômetro subestima;

- Os valores médios de "k" e "a" da equação de KOSTIAKOV obtidos com o cilindro infiltrômetro diferiram estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, dos valores médios do balanço de volume, enquanto aqueles valores obtidos pelas técnicas de entrada e saída e

sulco infiltrômetro, não apresentaram diferenças significativas;

- O conteúdo inicial de água do solo, nas condições do experimento, não interferiu na obtenção das constantes "k" e "a", da equação de infiltração acumulada.

ABSTRACT

Fiel tests were conducted from september to december 1984, at the "Vale do Curu" Experimental Station, CE, Brazil, in six furrow sets. Six tests were carried on for each of the following infiltration techniques: cylinder infiltrometer, furrow infiltrometer, inflow-outflow with 100 m and 30 m furrow-length, and volume balance CHRISTIANSEN etal equation.

Soil water content was determined in order to assess its influence on infiltration.

The results showed that:

- Considering balance volume as a standard technique, inflow-outflow methods overestimate infiltration, while furrow infiltrometer underestimate;

- KOSTIAKOV "k" and "a" values obtained by cilinders were statistically different from the ones obtained by volume balance, while inflow-outflow and furrow infiltrometer "k" and "a" did not show statistical significance;

- Initial soil moisture content, at experimental conditions, had no effect on empirical constants "k" and "a".

1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a adaptação de tecnologias para utilização e preservação dos recursos hídricos, são objetivos intimamente ligados ao processo de melhoramento do padrão de vida de uma nação. A água e o solo são dois recursos básicos essenciais para a produção de alimentos, os quais, através dos anos, têm ocasionado a diminuição gradual do potencial de produção agrícola em muitas regiões, devido à falta de um manejo apropriado.

O aumento da produção de alimentos depende da utilização de várias técnicas, dentre as quais, se destaca a prática de irrigação que, quando bem empregada, pode proporcionar ótimos resultados. Para que a irrigação tenha sua participação decisiva na produção de alimentos é importante que além de outros aspectos, o método utilizado apresente o máximo de eficiência, tornando-se necessário fazer a determinação dos diversos parâmetros, destacando-se dentre eles, a infiltração.

A infiltração é definida como o processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície, verticalmente. É um fenômeno complexo, dependente de inúmeras variáveis relacionadas às características físicas, químicas e morfológicas do solo, apresentando uma dependência especial do conteúdo inicial de água do perfil. Especificamente na irriga-

ção por sulcos, deve ser enfatizado a importante influência exercida pela geometria da seção de escoamento e pelo fluxo superficial da água, que determinam a condição física e a grandeza da área de infiltração.

Em que pese o fato da existência de várias técnicas de determinação das características de infiltração, como o cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída e balanço de volume, este parâmetro ainda é muitas vezes estimado de forma imprecisa. Tem sido reconhecido por muitos autores (CRIDDLE et alii, 1966; DAVIS e FRY, 1963; SINGH e CHAUHAM, 1973 e KARMELI et alii, 1978) que as técnicas que reproduzem as condições nas quais a irrigação se desenvolve, devem ser as preferidas.

O presente trabalho objetiva avaliar a representatividade das constantes numéricas da equação de infiltração de KOSTIAKOV, obtidas através das técnicas do cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída para o comprimento total do sulco (100 m), entrada e saída para um segmento do sulco (30 m) e balanço de volume através da metodologia proposta por CHRISTIASSEN et alii, (1966).

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Infiltração

A infiltração é um parâmetro básico para o dimensionamento de projetos de irrigação. Assim sendo, o conhecimento deste processo, e suas relações com as propriedades do solo, é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água.

2.1.1 - Terminologia e Definições

Para WISLER e BRATER (1954), infiltração é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo e se move para baixo, em direção ao lençol d'água.

A ABID (1978) considera a infiltração como sendo o movimento descendente da água no solo, atravessando a superfície ou, a penetração da água líquida no solo, quer quando cai como chuva, quer quando aplicada na irrigação ou quando provém de uma corrente de água que passa sobre o solo.

Outros autores (BAVER et alii, 1973); SWARTZENDRUBER

e HILLEL, 1973; REICHARDT, 1975; BERNARDO, 1982) definem infiltração como sendo a entrada descendente de água no solo, através de sua superfície.

O termo "capacidade de infiltração" foi primeiramente definido por HORTON (1940), como sendo a velocidade máxima na qual um dado solo, em uma determinada condição, pode absorver as precipitações. Este autor reporta ainda que os termos capacidade de infiltração e velocidade de infiltração têm sido algumas vezes confundidos. A infiltração pode assumir valores desde zero até um valor máximo o qual é chamado capacidade de infiltração. Assim, se a intensidade de precipitação é menor que a quantidade máxima que o solo pode absorver, não se pode referir à capacidade de infiltração e sim à velocidade de infiltração..

RICHARD (1952) citado por SWARTZENDRUBER e HILLEL (1973) propôs o termo "taxa de infiltração" em lugar de "capacidade de infiltração", e velocidade de infiltração em lugar de taxa de infiltração, mas esta sugestão não tem sido adotada.

HILLEL (1970) propôs o termo "infiltrabilidade do solo" para definir o fluxo máximo que o solo pode absorver através de sua superfície, quando a água é aplicada sob pressão atmosférica.

O uso do termo "infiltrabilidade" proposto por HILLEL (1970) evita a contradição capacidade-intensidade do termo "capacidade de infiltração", permitindo inclusive, maior liberdade para utilizar "taxa de infiltração" num sentido

mais amplo que aquele usado por RICHARD (1952), e não interfere com o uso mais geral do termo "velocidade de infiltração" (SWARTZENDRUBER e HILLEL, 1973).

Na irrigação por sulcos ou corrugações, somente uma parte da superfície está em contato com a água; assim sendo, toda água que infiltra entra pela área molhada. Desta maneira a taxa de entrada é chamada de taxa de infiltração no sulco (SHOCKLEY et alii, 1959).

VILLELA e MATTOS (1975), consideram velocidade de infiltração como a velocidade média com que a água atravessa o solo, ou ainda, é a vazão dividida pela área da seção reta de escoamento.

KARMELI et alii (1978), descrevem taxa de infiltração como a água absorvida pelo solo, quando esta é aplicada em sua superfície.

Uma distinção deve ser feita entre os termos infiltração ("infiltration") e quantidade de água infiltrada ("intake"). Infiltração pode ser usada em referência ao volume de água movendo-se através de uma unidade de área molhada na superfície do sulco, o qual resulta em unidades de lâmina. Quantidade de água infiltrada refere-se ao volume total de água absorvida ao longo do comprimento ou em um segmento de sulco. "Infiltration" é função somente do tempo, enquanto "intake" é função do tempo e da área molhada do sulco (FANGMEIER e RAMSEY, 1978).

Para BERNARDO (1982), infiltração acumulada é a quantidade total de água infiltrada durante determinado tempo.

Ela é geralmente expressa em centímetros, referindo-se à altura da lâmina d'água, ou área, que infiltrou na superfície do solo, em litros por unidade de superfície.

2.1.2 - Fatores que Afetam o Processo de Infiltração

Vários fatores afetam o processo de infiltração, dentre eles se destacam: o conteúdo inicial de água do solo, o tempo de infiltração, as condições da superfície do solo, a existência de camadas menos permeáveis ao longo do perfil, o tipo de preparo do terreno, a presença de ar aprisionado, a lâmina d'água mantida sobre o solo durante a irrigação, a viscosidade e a temperatura da água e do solo, e as propriedades físicas do solo (PHILIP, 1957; BOWER, 1960, ERIE, 1962; DAVIS e FRY, 1963; ISRAELSEN e HANSEN, 1965; HILLEL, 1970; VILLELA e MATTOS, 1975; RAMSEY, 1976; DAKER, 1976, KARMELI et alii, 1978; BERNARDO, 1982; REZENDE e SCALOPPI, 1985).

TISDALL (1960) citado por MONTENEGRO (1975) investigou a influência do umedecimento prévio do solo na velocidade de infiltração. Observou que em solos mais secos a velocidade de infiltração inicial era bastante alta, e que, no solo umedecido, quanto maior for o tempo de aplicação d'água, menor efeito teria sobre a velocidade durante as primeiras horas de infiltração. O teor de umidade no solo seria, provavelmente, o principal fator a afetar a velocidade de infil

tração inicial.

ESPÍNOLA (1977) determinou que o conteúdo de água do solo não interferiu nos resultados finais de capacidade de infiltração da água no solo.

Quando a infiltração se faz em um solo inicialmente sêco, o gradiente de sucção mostra-se, a princípio, muito mais elevado que o gradiente gravitacional, e a infiltração inicial no sentido vertical aproxima-se da infiltração no sentido horizontal. A água contida em um sulco tenderá, portanto, a infiltrar-se lateralmente tão rápida e facilmente, quanto verticalmente. De outra parte, quando a infiltração ocorre em um solo inicialmente úmido, o gradiente de sucção apresenta-se pequeno, desde o início, tornando-se desprezível em muito menos tempo (HILLEL, 1970; BAVER et alii, 1973).

DIEBOLD (1954) estudando taxas de infiltração em solos moderadamente compactados de diferentes texturas encontrou que em solos de textura média, as taxas de infiltração foram mais altas do que em solos franco siltosos. Segundo o autor isto se explica porque solos com maior teor de silte, depois da primeira irrigação, são caracterizados por uma inadequada penetração de umidade.

A diminuição da taxa de infiltração em solos texturalmente heterogêneos pode ser devida ao carreamento de partículas mais finas, obturando o espaço poroso de camadas de textura mais grossa (KRAMER et alii, 1982);

Para BROWNING (1939) em determinados tipos de solo,

as alterações em seu volume são grandemente responsáveis pela diminuição da taxa de infiltração. Entretanto, em outros solos, estas alterações não produzem nenhum efeito. Solos com presença de argilas expansivas, em geral, sofrem profundas reduções no tamanho dos poros ao serem umedecidos, o que conseqüentemente, diminui a taxa de infiltração.

OLITTA (1981) acredita que com o aumento da declividade, ocorrerá uma redução da infiltração na irrigação por sulcos, equivalente ao decréscimo no perímetro molhado, decorrente do aumento da velocidade da água.

RAMSEY (1976) concluiu em seus estudos que para repetidas irrigações no mesmo sulco, a taxa de infiltração básica diminui de uma irrigação para outra e é linearmente dependente do perímetro molhado. Aumentando o perímetro molhado pela diminuição da declividade, aumentando a vazão ou alterando a configuração do sulco, pode-se prever um aumento no volume infiltrado (FANGMEIER e RAMSEY, 1978).

Tem sido reconhecido que a variação da lâmina de fluxo com o tempo e distância, são fatores importantes na determinação da taxa na qual a água infiltra no sulco durante uma irrigação (BONDURANT, 1957; RAMSEY, 1976; KARMELI et alii, 1978; SOUZA, 1981; STRELKOFF e SOUZA, 1984).

OLITTA (1981) não acredita que o coeficiente de rugosidade venha causar grandes variações que possa afetar a capacidade de infiltração com o transcorrer da irrigação. Entretanto, foi comprovado por COLLINS e CAMPBELL (1967) citado por OLITTA (1981), trabalhando com cana-de-açúcar, que ha

verá um aumento da infiltração acumulada com o desenvolvimento da cultura quando plantada na base do sulco.

Para DAVIS e FRY (1963), a taxa de infiltração na irrigação por sulcos depende do espaçamento, da forma e das dimensões do sulco, diferenças de compactação do solo da cabeceira até o final do sulco e o efeito da velocidade de fluxo sobre a superfície do solo.

2.1.3 - Tratamento Matemático da Infiltração

Tem-se reconhecido que a taxa de infiltração diminui com o tempo e a aproximação de um valor constante para tempos muito longos tem sido a base para o desenvolvimento de muitas equações simples (RAMSEY, 1976).

O uso de equações empíricas, representativas da infiltração da água no solo, tem uma considerável validade, porque elas contêm parâmetros que podem ser ajustados para levar em conta as complexidades que foram eliminadas na análise matemática, na tentativa de se chegar a uma solução do problema (BAVER et alii, 1973).

Em geral, a predição para taxa de infiltração do solo envolve dois passos distintos: a adoção de uma função (equação de infiltração) para ser usada e a determinação dos valores das constantes numéricas da equação (SOUZA, 1981).

O número de constantes numéricas depende da equação de infiltração escolhida. Se "z" é definido como o volume

de água infiltrado por unidade de área de infiltração e "t" como tempo de oportunidade de infiltração, então "z" poderá ser expresso, por exemplo, por uma das seguintes equações:

- Infiltração Acumulada

$$z = k t^a \text{ (KOSTIAKOV)} \quad (1)$$

$$z = k t^a + c_1 \text{ (SCS)} \quad (2)$$

$$z = k t^{0,5} + At \text{ (PHILIP)} \quad (3)$$

- Velocidade de Infiltração

$$I = \frac{dz}{dt} = k' t^n \quad (4)$$

$$I = k' t^n \quad (5)$$

$$I = 0,5 k' t^{-0,5} + A \quad (6)$$

onde, z = lâmina infiltrada acumulada (L)

I = velocidade de infiltração (L/T)

k = constante que representa a velocidade de infiltração no tempo unitário (L/T^a)

a , c_1 e A = constantes numéricas

$$k' = a \times k$$

$$n = a - 1$$

Em projetos ou nas avaliações de áreas irrigadas, duas equações de infiltração têm sido usadas (KARMELI et alii, 1978). A equação de KOSTIAKOV (1) e a equação de KOSTIAKOV modificada:

$$I = k' t^n + c \quad (7)$$

onde, c = taxa de infiltração num tempo $t = \infty$

Pela integração da equação (7) pode-se obter a in-

filtração acumulada:

$$z = k t^a + ct \quad (8)$$

onde, $k = \frac{k'}{n + 1}$ e $a = n + 1$

FANGMEIER e RAMSEY (1978), estudando as aplicações das equações de KOSTIAKOV e de PHILIP na irrigação por sulcos concluíram que as duas equações estimam igualmente os valores de lâminas infiltradas durante a fase de avanço e também para as fases seguintes ao avanço; no entanto a aplicação da equação de PHILIP resulta em maiores valores de lâminas infiltradas durante a recessão, visto que a equação de KOSTIAKOV subestima a infiltração durante a recessão. A equação de PHILIP tende a dar melhores resultados na análise do balanço de volume.

Segundo ELLIOTT e WALKER (1982), a equação de KOSTIAKOV modificada deve ser preferida devido as seguintes razões: os solos possuem uma taxa de infiltração básica, a qual é representada pela constante "c"; dependendo do tipo de solo e do tempo total de irrigação, a taxa de infiltração básica pode ser alcançada bem antes do final de uma dada irrigação; a equação possui uma substancial flexibilidade, a qual é útil na descrição das características de infiltração dos solos. Enquanto, apesar da equação de KOSTIAKOV modificada produzir estimativas da infiltração um pouco melhor que a de KOSTIAKOV, o processo de obtenção de suas constantes é mais complexo (FANGMEIER e RAMSEY, 1978).

RAMSEY (1976) determinou que a constante "k" da equação de infiltração é dependente da unidade de área usada para seu cálculo, isto é, do comprimento característico transversal ao fluxo, que pode ser a largura ou o perímetro molhado e, conseqüentemente da geometria do sulco. Este mesmo resultado foi encontrado por STRELKOFF e SOUZA (1984); entretanto, estes autores determinaram ainda, que os valores da constante "a" da equação de KOSTIAKOV e o coeficiente de rugosidade de MANNING (n), não sofreram alterações em seus valores quando a largura transversal ao fluxo ou perímetro molhado foram usados como comprimento característico.

Conforme STRELKOFF e SOUZA (1984), tornou-se comum expressar o fenômeno da infiltração da água em sulcos, através de uma equação simples (por exemplo, a equação de KOSTIAKOV (1)). No entanto, a lâmina de irrigação exerce uma marcante influência na área sobre a qual a infiltração está ocorrendo e, por conseguinte, sobre o volume infiltrado por unidade de comprimento do sulco (A_z). Considerando o símbolo z, como volume infiltrado por unidade de área superficial, pode-se escrever:

$$A_z (\tau, y) = \int_{w_l}^{w_r} z ds \quad (9)$$

onde, s = é o comprimento do arco ao longo do perímetro molhado do sulco tomado positivamente para um lado e negativamente para o outro;

w_l e w_r = são valores do comprimento do arco na superfí-

cie livre em pontos à esquerda e à direita, respectivamente, sendo o perímetro molhado total igual a $w = w_l + w_r$;

τ = é o tempo de oportunidade de infiltração;

y = a lâmina

Uma outra equação representativa da infiltração em sulcos pode ser escrita, levando-se em consideração o espaçamento do sulco. Sendo "z" o volume infiltrado e "w" o espaçamento, podemos escrever:

$$z(\tau, y) = \frac{1}{W} \int_w z(\tau s) ds \quad (10)$$

As duas equações acima mencionadas fornecem uma estimativa mais real da infiltração, no entanto, são equações complexas e de difícil aplicação. Assim sendo, um estudo foi conduzido pelos autores, STRELKOFF e SOUZA (1984), na tentativa de encontrar uma formulação precisa e de menor complexidade que as equações (9) e (10). Foi testado uma série de aproximações em um modelo matemático da irrigação por sulcos e comparadas com determinações de campo. Estas aproximações, em ordem decrescente de complexidade são:

$$1. A_z = \int_w k_i \tau^{a_1} ds \quad (11) \quad 4. A_z = k_4 \tau^{a_4} w(y_0) \quad (14)$$

$$2. A_z = k_2 \tau^{a_2} w(y) \quad (12) \quad 5. A_z = k_5 \tau^{a_5} B(y_0) \quad (15)$$

$$3. A_z = k_3 \tau^{a_3} (y) \quad (13) \quad 6. A_z = K_6 \tau^{a_6} B(y_n) \quad (16)$$

onde, A_z = é o volume infiltrado por unidade de comprimento do sulco;

"k" e "a" = são constantes numéricas;

τ = é o tempo de oportunidade de infiltração;

W = é o perímetro molhado;

B = é a largura da lâmina d'água;

y = é a lâmina localizada em cada estação ao longo do sulco;

y_0 = é a lâmina na cabeceira do sulco;

y_n = é a lâmina normal

Os resultados encontrados, indicam que a melhor aproximação dos valores medidos experimentalmente foi conseguido com o modelo 2, onde o comprimento característico transversal usado, foi o perímetro molhado computado com a lâmina de irrigação localizada. Por outro lado, o uso do modelo 6, onde o comprimento característico transversal foi a largura, computada a partir da lâmina normal de irrigação, não proporcionou boa aproximação entre o volume infiltrado computado e medido. O estudo também indicou que não há grande diferença no cálculo do volume infiltrado se $B(y)$, $W(y_0)$ ou $B(y_0)$ forem usados como comprimento característico transversal para o cálculo da infiltração.

Com o objetivo de comparar o efeito das condições superficiais do solo sobre o valor de "k" e "a" da equação

de infiltração de KOSTIAKOV, AZEVEDO et alii (1975), realizaram três testes de infiltração em sulcos já irrigados e em sulcos recém-preparados e não submetidos ainda à irrigação. Os valores de "k" resultantes dos testes de infiltração em solos recém preparados (não irrigados), foram 3,3 vezes superior ao valor obtido em solos já irrigados. Esse maior valor de "k", encontrado em solos recém-preparados, é explicado devido a natureza rugosa, atorroada e solta da superfície deste solo. Os valores de "a" da equação da KOSTIAKOV, não irrigados, foram aproximadamente iguais aos encontrados em sulcos já irrigados.

FOK (1970) estudando o movimento bi-direcional da infiltração, concluiu que uma simples equação de potência representa o processo. O expoente da equação de infiltração pode ser expresso como a soma das equações de movimento horizontal e vertical da água no solo. O mesmo expoente varia com a largura e a lâmina do canal e os valores finais são aproximadamente iguais ao expoente da equação de movimento da água do solo no sentido vertical.

AZEVEDO et alii (1975), pesquisando o efeito do conteúdo de água nas constantes da equação de KOSTIAKOV, encontrou que, em geral o valor de "k" diminuiu com o aumento de conteúdo da água no solo, isto é, a velocidade de infiltração da água no solo diminuía à medida que as condições de umidade inicial do solo aumentaram. Eles determinaram, também, que não existe nenhuma relação entre o conteúdo inicial de água da camada superficial do solo e o valor de "a", isto

é, o teor de água do solo não exerce nenhuma influência sobre a declividade da curva de infiltração.

Para REZENDE e SCALOPII (1985), as características de infiltração de um solo, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação superficial, não podem ser baseadas apenas no expoente da equação de infiltração obtida. Para esses autores, tanto o coeficiente como o próprio expoente caracterizam a infiltração da água no solo, pelo menos durante os períodos de aplicação de água que prevalecem na prática da irrigação.

2.1.4 - Técnicas de Determinação das Características de Infiltração

+ Diversas são as técnicas existentes para se determinar as características de infiltração da água no solo. Dentre elas destacam-se: cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída do fluxo d'água num dado segmento do sulco e balanço de volume. x

Um cilindro infiltrômetro mede primordialmente a taxa de movimento vertical de água no solo a partir de um reservatório de superfície, se estiver protegido por um outro cilindro cheio d'água (KARMELI et alii, 1978).

+ As vantagens do uso desta técnica são: uma pequena quantidade de água é requerida para o teste e a facilidade

de transporte e instalação. Suas desvantagens são: os efeitos do movimento de água na superfície, durante o processo de irrigação superficial, não são considerados; inicialmente, o movimento da água no cilindro é vertical até que a água passe além da extremidade do cilindro, quando se torna também radial; distúrbios no solo durante a instalação pode produzir efeitos significativos na infiltração; o ar aprisionado abaixo da superfície e entre os cilindros reduz a infiltração (BONDURANT, 1957; KARMELI et alii, 1978). X

Para estudos de taxa de infiltração, LEWIS (1937), recomenda cilindro de 46 centímetros de diâmetro e 38 centímetros de comprimento, os quais proporcionam resultados comparáveis à infiltração da água no solo durante a irrigação. Para maior precisão a taxa de infiltração deve ser medida em pontos de localização diferentes.

Um estudo de infiltração, conduzido por ARONOVICI (1955), com variações do diâmetro do cilindro de 1,4 a 30 centímetros, permitiu concluir que o aumento no conteúdo de umidade inicial, produziu substancial efeito na taxa de infiltração e na magnitude do declínio da mesma. A relação entre o diâmetro do cilindro e a taxa de infiltração é curvilínea. A cada incremento de 2,5 centímetros no diâmetro do cilindro, a taxa de infiltração decresceu 1,3 centímetros por hora, até o diâmetro de 10 centímetros. Acima de 10 centímetros a cada incremento de 2,5 centímetros no diâmetro do cilindro, a taxa de infiltração decresceu de 0,05 centímetros por hora. Com cargas constantes de água 2,5; 5,0 e 11 centí-

metros sobre a superfície do solo, as taxas de infiltração foram 2,0; 2,8 e 3,5 centímetros por hora, respectivamente. O uso de uma bordadura em torno do cilindro de medição de infiltração decresceu a cada incremento de profundidade do cilindro infiltrômetro.

A velocidade de infiltração final é superestimada pelo cilindro infiltrômetro. Uma pequena melhoria é obtida com cilindro duplo, o qual está em concordância com as observações práticas (BOUWER, 1960).

Cilindros medidores com 8 a 60 centímetros de diâmetro e comprimento de 45 centímetros são recomendados por ERIE (1962). O cilindro medidor pode às vezes ser envolvido por um cilindro menor, usado como proteção.

Para controle do movimento lateral da água através do solo, abaixo do cilindro, o qual é causa de altos valores obtidos com pequenos cilindros, as pesquisas mais recentes recomendam o uso de dois cilindros concêntricos, com a colocação de água em ambos, porém, as medições da água infiltrada são feitas somente no cilindro central (BERTRAND, 1965).

MERRIAM (1968) recomenda cilindros com 25 centímetros ou mais de diâmetro e comprimento de 30 a 38 centímetros. Devem ser carvados à 15 centímetros de profundidade em linhas retas, sem oscilações, para não haver fendilhamento ao redor da margem. O cilindro medidor deve receber de 10 a 30 centímetros de lâmina d'água.

X BERNARDO (1982) recomenda a utilização de dois cilin

dro, sendo o menor com diâmetro de 25 centímetros e o maior 50 centímetros, ambos com 30 centímetros de altura. Devem ser instalados concêntricos, na vertical e enterrados a 15 cm.

* SLATER (1957) determinou que tanto o diâmetro como o comprimento exercem pouca influência na infiltração, quando esta é controlada pela superfície do solo impermeável. Ao contrário, quando o fator controlador são camadas de menor permeabilidade abaixo da superfície do solo, o diâmetro e o comprimento têm considerável importância. Grandes cilindros apresentam vantagens em tais casos. Porém, o seu uso aumenta o trabalho no caso de ser necessário a obtenção de várias repetições. A necessidade de repetição justifica o uso de cilindros relativamente pequenos neste tipo de investigações.

Em um estudo de utilização de cilindro infiltrômetros duplos em um solo arenoso, SWARTZENDRUBER e OLSON (1961) observaram um aumento considerável da taxa de infiltração quando a parede do cilindro externo aproximou-se da parede do cilindro interno. O mesmo efeito se reproduzia quando o diâmetro do cilindro interno foi reduzido para menos de 30 centímetros.

Em seus estudos BERTRAND (1965) determinou que o ar aprisionado em uma coluna de solo abaixo da frente de umedecimento pode causar variações na taxa de infiltração, variações estas que dependem do tamanho do cilindro empregado e da profundidade na qual os cilindros são cravados no solo.

ESPÍNOLA (1977) comparando métodos de determinação da infiltração concluiu que o cilindro infiltrômetro produ-

X Ziu valores de lâminas infiltradas mais elevadas e atribuiu este resultado ao método de instalação do equipamento, pois a entrada irregular do cilindro medidor no solo, pode deformar a estrutura, quebrando ou compactando o solo. Por outro lado, a presença de fissuras no contato solo-parede do cilindro infiltrômetro, em conjunto com outros fatores (umidade e quebra ou compactação do solo), poderão proporcionar alto grau de variação nos valores obtidos por este método o que recomendaria a instalação dos cilindros com um certo período de antecedência às diversas determinações, para observar o comportamento das variações ocorridas. Todos estes resultados e recomendações estão em concordância com BERTRAND (1965). X

AUGUSTO (1984) determinou maiores valores da constante "k" da equação de infiltração de KOSTIAKOV com o uso do cilindro infiltrômetro e atribuiu este resultado à técnica de instalação e também ao cálculo da lâmina infiltrada. No sulco, a inundação é parcial e o cálculo da lâmina infiltrada é feito em função da largura da zona de fluxo, enquanto no cilindro infiltrômetro a inundação é total e o cálculo da lâmina é feito em função da seção transversal do cilindro onde as mesmas são feitas.

X Os coeficientes obtidos com o método do cilindro infiltrômetro podem ser sensivelmente inferiores aos obtidos por outros métodos, desde que cuidados sejam tomados no processo de instalação do mesmo (DAVIS e FRY, 1963). X

A metodologia de medição das características de in-

filtração com o cilindro infiltrômetro subestima a infiltração para pequenos valores de tempo, devido ao movimento ser somente vertical, e superestima para grandes valores de tempo quando a água passa além das paredes do infiltrômetro, tornando o movimento também radial (SINGH e CHAUHAM, 1973).

✕ Conforme ESPÍNOLA (1977) o método do cilindro infiltrômetro não oferece resultados compatíveis para os cálculos dos parâmetros da irrigação por sulcos, porém, seus dados ajustados por regressão, oferecem boa aproximação da estimativa da capacidade de infiltração do sulco infiltrômetro. Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados por BOUWER (1960). ✕

KARMELI et alii (1978) usaram um cilindro infiltrômetro para medir a infiltração na irrigação por sulcos, porém os dados tomados foram descartados devido a variação e a pequena taxa de infiltração obtida com o infiltrômetro.

A localização e o número de determinações com o cilindro é uma decisão que o técnico deve tomar, a qual é baseada no tipo de solo, com barreira ou homogêneo. Geralmente três determinações são o mínimo recomendado (ERIE, 1962). ✕

✕ O sulco infiltrômetro (BONDURANT, 1957) foi projetado para aproximar às condições existentes durante uma irrigação e medir diretamente a taxa de infiltração de água no sulco. Uma seção transversal do sulco de 30,5 centímetros de comprimento (1,0 m é recomendado por BERNARDO, 1982), é isolada pelo uso de duas placas de metal. O nível d'água é mantido constante na seção transversal, permitindo uma osci-

lação máxima de 2,0 centímetros (BERNARDO, 1982), por um mecanismo de válvula. ✕

Segundo BONDURANT (1975) e KARMELI et alii (1978), as vantagens do sulco infiltrômetro são: necessita de pouco suprimento de água; o nível d'água no sulco pode ser constante para representar a lâmina aplicada durante uma irrigação; e, além do mais, o infiltrômetro é um sulco real. Suas desvantagens são: o infiltrômetro não considera a variabilidade das características do solo ao longo dos sulcos; o infiltrômetro não leva em consideração os efeitos de mudança na seção transversal do sulco durante as irrigações nem a orientação das partículas do solo e depósitos causados pelo escoamento da água.

SHULL (1961) projetou um sulco infiltrômetro modificado (By-Pass) para medição da infiltração durante a irrigação. O nível d'água dentro do infiltrômetro é mantido constante igual ao do sulco adjacente, por um mecanismo de válvulas localizadas na entrada e saída do infiltrômetro. Para SHULL as possíveis variações na lâmina d'água devem ser atribuídas às irregularidades do fundo do sulco.)

✕ Segundo ERIE (1962) o uso do sulco infiltrômetro para medições da taxa de infiltração apresenta a mesma desvantagem do cilindro infiltrômetro, pois somente uma pequena porção da área é levada em consideração. ✕

De acordo com NANCE Jr. e LAMBERT (1968) citados por AUGUSTO (1984), um infiltrômetro deve ser pequeno o suficiente para ser transportado facilmente, ser simples, ter movi-

mento de água na área de teste para simular as condições naturais do processo de irrigação, ter a lâmina d'água constante e não necessitar de toda área para teste.

Os valores da taxa de infiltração determinados com o sulco infiltrômetro são mais precisas que aquelas determinadas com o cilindro infiltrômetro, porque a influência das paredes do sulco são levadas em consideração. Entretanto, nenhum desses métodos asseguram o efeito da velocidade de fluxo e a subsequente orientação das partículas do solo na taxa de infiltração (DAVIS e FRY, 1963).

O uso do sulco infiltrômetro para um estudo das características de infiltração do solo, pode ser realizado com sucesso. Entretanto, uma possível superestimação pode ocorrer dentro dos limites de obtenção dos valores de infiltração no campo. Quando a vazão de entrada e saída são conhecidas, os coeficientes da equação gerada pelo sulco infiltrômetro podem ser ajustados para que os volumes infiltrados sejam determinados mais acuradamente (KARMELI et alii, 1978).

DAVIS e FRY (1963) concluíram que tanto o cilindro como o sulco infiltrômetro podem superestimar a taxa de infiltração em sulcos, para os solos de textura média a grossa e subestimar em solos de textura média a fina. Atribuíram este fato, devido os solos de textura média a fina apresentarem-se fendilhados após o processo de secagem. Quanto ao processo de instalação, recomendam locais livres de fendilhamento.

FANGMEIER e RAMSEY (1978) chegaram a conclusão de

que o sulco infiltrômetro subestima a infiltração para o tempo total de irrigação. Isto se explica porque quando a água está em movimento sobre a superfície do solo, as partículas menores estão em suspensão e não bloqueiam os espaços porosos.

X ESPÍNOLA (1977) encontrou que os valores da capacidade de infiltração no sulco diferiram, consideravelmente, daqueles obtidos pelo cilindro infiltrômetro. Em termos de valor médio, o sulco infiltrômetro apresentou uma capacidade de infiltração seis (6) vezes menor do que a do cilindro infiltrômetro. Esta discrepância é atribuída, em parte, ao cálculo da lâmina infiltrada. No sulco a inundação é parcial e o cálculo da lâmina é feito em função da largura da zona de fluxo. X

† AUGUSTO (1984) encontrou constantes numéricas da equação de infiltração ligeiramente elevadas com o sulco infiltrômetro, e atribuiu este resultado à influência marcante do perímetro molhado na infiltração em sulcos, e ao confinamento da água que não leva em consideração o movimento da mesma sobre a superfície. †

PARA BONDURANT (1957) a infiltração em sulcos varia com o perímetro molhado, a permeabilidade relativa e a área do fundo do sulco, assim como a área das paredes do mesmo; desta maneira, torna-se necessário obter uma relação apropriada entre a lâmina de fluxo e a área molhada quando o sulco infiltrômetro é usado. Para um sulco de dada forma a relação entre os diversos parâmetros citados acima é refletido na

largura da lâmina de fluxo movimentando-se no sulco. BONDURANT concluiu que o sulco infiltrômetro prediz satisfatoriamente a infiltração básica na maioria dos testes.

QUEIROZ FILHO et alii (1957) citados por ESPÍNOLA (1977), recomendaram o uso dos dados de infiltração do sulco infiltrômetro para fins de parametrização de sistemas por sulcos, porque além de ser facilmente manejado, utiliza equipamento barato, e de fácil construção e utiliza uma área maior do que no caso do cilindro infiltrômetro, dando maior representatividade a informação de campo.

X A técnica de entrada e saída (CRIDDLE et alii, 1956), permite determinar a taxa de infiltração em sulcos, nas condições normais de irrigação, pela determinação da vazão de entrada e saída do fluxo d'água que passa pelos mesmos. X

X A vazão de entrada no sulco menos a vazão de saída, num dado intervalo de tempo, é igual a taxa de infiltração mais a variação de armazenamento superficial. Entretanto, depois de um período inicial de enchimento, a taxa de variação de armazenamento torna-se pequena podendo ser desprezada. Desta maneira, a diferença entre a vazão de entrada e a vazão de saída em um dado tempo, pode ser assumida como representante da taxa de infiltração em solos (SCHOCKLEY et alii, 1959). X

As vantagens desta técnica são: a influência do movimento d'água nas características de infiltração é considerada; uma substancial porção do sulco (usualmente 30 a 75 metros) fornece uma grande amostra da área de infiltração. En-

tretanto, algumas desvantagens são destacáveis: muitos instrumentos de medição de vazão em sulcos, geralmente, obstruem o fluxo causando uma elevação da lâmina d'água, aumentando assim a área da seção transversal de infiltração; o aumento da superfície de armazenamento entre os instrumentos de medição dos fluxos é geralmente abandonado, e assume-se que a diferença entre fluxos de entrada e o de saída é a taxa de infiltração para a porção de sulco entre os dois instrumentos de medição; o tempo que passa da leitura no primeiro instrumento (vazão de entrada) para a leitura no instante de medição de vazão de saída torna-se significativo, o que não permite medições precisas de taxas de infiltração inicial em sulcos (KARMELI *et alii*, 1978).

MERRIAM (1968) recomenda a técnica de entrada e saída do fluxo d'água para a determinação da taxa de infiltração, para fins de avaliação da irrigação por sulcos. Entretanto, para um trabalho mais detalhado devem ser incluídas as determinações da taxa de infiltração com a técnica do cilindro infiltrômetro.

NANCE Jr. e LAMBERT (1970) desenvolveram um método de entrada e saída do fluxo d'água modificado e compararam os resultados obtidos com os do método do sulco infiltrômetro modificado. O método de entrada e saída modificado, difere do original por não necessitar de todo o comprimento do sulco para a realização do teste. O sulco infiltrômetro foi modificado para que o comprimento e a lâmina d'água fossem iguais aos do método de entrada e saída modificados. Compa-

rando os resultados, os autores observaram que em dois dos três testes realizados, o método de entrada e saída modificada apresentou taxa de infiltração mais alta que o sulco infiltrômetro modificado, enquanto no outro, a taxa de infiltração foi aproximadamente a mesma. A explicação dos autores para a maior taxa de infiltração constatada na metodologia de medição de entrada e saída do fluxo d'água foi o movimento da água na superfície do sulco; no entanto, eles não entraram em detalhes nessa explicação.

Em seus estudos, que foram somente preliminares, DAVIS e FRY (1963), indicaram algumas relações em solos de textura arenosa. O movimento do fluxo na superfície do sulco tem alguma tendência a vedar a superfície, causando um relativo decréscimo na taxa de infiltração como tempo. Os infiltrômetros não apresentam este efeito. Esta conclusão é exatamente oposta aquela de FANGMEIER e RAMSEY (1978).

✕ No tocante ao comprimento do sulco para a realização do teste, MERRIAM (1968), recomenda para solos de rápida a moderada taxa de infiltração segmentos de sulcos com 30 metros, e para sulcos com taxa de infiltração lenta, 60 metros. Uma variação de 30 a 75 metros é recomendada por KARMELI et alii (1978). Em solos argilosos, o segmento de sulco deve ser no máximo de 40 metros e em solos arenosos 20 metros (BERNARDO, 1982). AUGUSTO (1984), trabalhando em solo franco, usou o comprimento total do sulco (80 metros). ✕

Como foi dito anteriormente, o método de entrada e saída do fluxo d'água superestima a taxa de infiltração de-

vido aos instrumentos utilizados na medição de vazão de entrada e saída obstruírem o fluxo, aumentando a lâmina d'água e o perímetro molhado, com um conseqüente efeito de incrementar a taxa de infiltração (DAVIS e FRY, 1963; KARMELI et alii, 1978).

Para SINGH e CHAUHAM (1973) o método de entrada e saída possui limitações por não considerar o efeito do avanço da água no sulco e negligenciar as variações de armazenamento superficial. A primeira leitura do volume perdido por escoamento superficial é feita alguns minutos após a frente de avanço passar na última estação, o que não fornece valores de infiltração reais quando subtraído do volume de entrada; conseqüentemente, para pequenos valores de tempo o método de entrada e saída gera valores elevados de infiltração.

ELLIOTT e WALKER (1982) concluíram que os valores da constante "c" da equação de KOSTIAKOV modificada pode ser melhor determinada pelo método de entrada e saída do fluxo d'água do que pelo sulco infiltrômetro, por razões do primeiro reproduzir melhor as condições reais de irrigação.

REZENDE e SCALOPPI (1985) afirmam que as determinações de vazão de entrada e saída, em um segmento de sulco, superestimaram significativamente a quantidade de água infiltrada. Este resultado vem reforçar a recomendação de que a infiltração não deve ser avaliada considerando-se apenas um segmento reduzido do comprimento total do sulco, principalmente, devido a variabilidade espacial do solo. Além disso, a determinação efetiva da infiltração inicia-se somente a

água ter atingido a saída do segmento de controle do sulco, o que geralmente demora algum tempo, o suficiente para introduzir erros significativos nos valores dos parâmetros da equação obtida. Outra limitação é que o método não considera a variação de volume de água superficial entre duas determinações sucessivas de vazão. Assim, os acréscimos de volume de água armazenado temporariamente na superfície do solo, notadamente durante a fase inicial do teste, ou mesmo eventuais decréscimos, devido à possível redução da vazão na entrada do segmento de controle do sulco, são atribuídos à infiltração. Este comportamento proporciona lâminas infiltradas superiores aquelas efetivamente observadas, notadamente nos períodos iniciais do teste de infiltração.

AUGUSTO (1984) recomenda o método de entrada e saída do fluxo d'água para se determinar as características de infiltração do solo, para estudos de avaliação de irrigação por sulcos, uma vez que elas podem ser obtidas no momento da irrigação. Além do mais, este método utiliza como infiltrômetro um comprimento de sulco bem mais representativo e os instrumentos de medição de vazão são fáceis de instalar e operar, além de apresentarem boa precisão. Entretanto, para elaboração de projetos o autor recomenda o método do sulco infiltrômetro o qual também expressa bons resultados.

A equação de balanço de volume tem sido extensivamente usada para determinação das características de infiltração na irrigação superficial. Sua aplicação requer as medições da frente de avanço, da lâmina de fluxo nas várias es

tações ao longo do sulco e a correspondente área da seção transversal do fluxo (SINGH e CHAUHAM, 1973; KARMELI et alii, 1978; SOUZA, 1981).

Para KARMELI et alii (1978) as vantagens da técnica de balanço de volume são: o sulco não é danificado e as condições normais da prática de irrigação serão satisfatoriamente consideradas se uma razoável aproximação do armazenamento superficial puder ser obtida; somente os dados de avanço e a área da seção transversal ao fluxo são necessários para a determinação das características de infiltração. Suas desvantagens são: a equação de infiltração é confiável somente durante o estágio inicial da irrigação, isto é, os dados são obtidos somente durante o tempo requerido para a frente de avanço atingir o final do sulco de irrigação; estimativas precisas do armazenamento superficial são difíceis de serem obtidas.

Um método para calcular a taxa de infiltração a partir da técnica do balanço de volume foi apresentado por CHRISTIANSEN et alii (1966). Em seus estudos ficou comprovado que a taxa de avanço em sulcos proporciona uma base para o cálculo da função de infiltração sem qualquer distúrbios das condições naturais. Entretanto, deve ser lembrado que as determinações são feitas durante a fase de avanço, o que representa somente os primeiros estágios de uma irrigação normal pelo método do sulco.

SINGH e CHAUHAM (1973) desenvolveram uma metodologia de determinação das características de infiltração, baseada

na razão da água em sulcos e concluíram que quando a taxa de infiltração é pequena, tendendo a zero, a distância de avanço é uma função linear do tempo e uma taxa de infiltração constante, a distância de avanço aproxima-se de um valor constante igual ao coeficiente "f" da função de avanço ($x = f^{th}$). Os resultados foram comparados com os obtidos a partir da metodologia proposta por CRIDDLE et alii (1956) e CHRISTIANSEN et alii (1966), que permitiu concluir que a metodologia proposta pelos autores, produz resultados comparáveis aqueles obtidos pelo método de CHRISTIANSEN et alii (1966). Para pequenos valores de tempo, ambas as metodologias produzem valores de infiltração acumulada menores que o método proposto por CRIDDLE et alii (1956). Para grandes valores de tempo as três metodologias produzem valores de infiltração acumulada praticamente iguais.

Comparando o método do balanço de volume e do sulco infiltrômetro, SMERDON (1963), observou que o segundo apresentou valores da taxa de infiltração 8% superior ao primeiro e concluiu recomendando a metodologia do balanço de volume para a determinação das características de infiltração.

FANGMEIER e RAMSEY (1978) comparando os métodos de GILLEY (1968) e dos próprios autores para a determinação das características de infiltração do solo, todos eles baseados na técnica de balanço de volume, determinaram que as constantes numéricas obtidas pelo método de GILLEY, foram mais precisas para a fase de avanço. Entretanto, durante as fases seguintes ao avanço, as constantes de infiltração determina-

das pelo método de GILLEY subestimaram a infiltração. O método desenvolvido por estes autores para a determinação das constantes numéricas de infiltração apresentou bons resultados para as fases subsequentes ao avanço (armazenamento e depleção). Entretanto, durante as fases de avanço e recessão, o método destes autores subestimou a infiltração.

KARMELI et alii (1978) usando o método de CHRISTIANSEN et alii (1966) concluíram que este apresentou uma total inabilidade para representar adequadamente a taxa de infiltração do solo estudado, em razão dos valores de armazenamento superficial usados para o cálculo serem os reais e não os extrapolados como no exemplo de CHRISTIANSEN.

Comparando três metodologias de determinações das características de infiltração, CHRISTIANSEN et alii (1966), SINGH e CHAUHAM (1973) e GILLEY (1968), REZENDE e SCALOPPI (1985) observaram algumas particularidades interessantes. Em virtude dos parâmetros da equação de infiltração revelarem valores bem distintos entre esses métodos, observa-se que essas diferenças refletiram-se nos valores de lâminas infiltradas em cada estação. Assim, para maiores valores de tempo de infiltração, o método de GILLEY proporcionou lâminas infiltradas significativamente superiores aos outros dois métodos. Por outro lado, à medida que o tempo para a infiltração foi sendo reduzido nas estações mais distantes do ponto de derivação de água, o método de GILLEY resultou em valores de lâminas infiltradas inferiores aos métodos de CHRISTIANSEN e de SINGH e CHAUHAM.

Muitos estudos adicionais devem ser feitos antes que um infiltrômetro possa ser usado com confiança na medição da taxa de infiltração instantânea em sulcos (DAVIS e FRY, 1963) .

Com os resultados apresentados nesta revisão, constata-se o quanto são confusos e contraditórios os estudos sobre o fenômeno da infiltração. Particularmente, no que diz respeito às técnicas utilizadas para obtenção das constantes numéricas da equação de infiltração, o autor não chegou a um consenso sobre uma técnica que consiga sobressair-se em relação às demais, devido a desuniformidade no emprego das mesmas, no tocante ao comprimento do sulco utilizado para os testes com o sulco infiltrômetro e entrada e saída, bem como, o diâmetro do cilindro e a profundidade de instalação do mesmo, o que vem de certa forma, reforçar a importância e necessidade de estudos relativos ao fenômenos ora abordado.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consta de um experimento conduzido no período de setembro a dezembro de 1984, na área irrigada na Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), no município de Pentecoste, estado do Ceará.

A referida fazenda dista 110 km de Fortaleza e fica localizada entre os paralelos $3^{\circ}45'$ e $4^{\circ}00'$ latitude sul, entre os meridianos $39^{\circ}15'$ e $39^{\circ}30'$ a oeste de Greenwich, com altitude de 47 metros.

O clima da região é semi-árido (Bshi) de acordo com a classificação de KOEPPEN. Apresenta uma média anual de precipitação em torno de 900 mm, com temperatura média anual e umidade relativa de aproximadamente 26°C e 73%, respectivamente (COELHO, 1971).

O solo é aluvial eutrófico, argila de alta atividade, horizonte a fraco, textura arenosa, de acordo com os critérios de classificação adotados pela equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo do Ministério da Agricultura, e Typic Torrifluvente de acordo com o sistema americano de classificação, 7^a aproximação (COELHO, 1971).

3.1 - Procedimento Experimental

O presente experimento foi conduzido em seis (6) diferentes baterias de sulcos. Cada bateria foi composta de três (3) sulcos, sendo dois laterais chamadas "bordaduras" e um central "sulco-teste". As bordaduras receberam o mesmo tratamento do sulco teste correspondente. As baterias eram separadas entre si por dois sulcos de proteção conforme a FIGURA 1.

Foram utilizados sulcos de forma parabólica com declividade de 0,00315 m/m, espaçados de 1,0 m e com 100 m de comprimento.

Todos os sulcos foram construídos utilizando-se sulcadores tracionados mecanicamente, assegurando uma satisfatória uniformidade de forma e dimensões, em toda sua extensão.

Neste experimento foram realizados seis (6) testes para cada uma das seguintes técnicas de determinação das características de infiltração: cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída para 100 e 30 m de comprimento de sulco e balanço de volume proposto por CHRISTIANSEN et alii (1966).

Todas as baterias foram projetadas para receber uma vazão de 0,5 l/s, proporcionados por sifões corrugados de uma polegada de diâmetro, flexíveis, com controle de carga hidráulica.

As determinações das vazões de entrada e saída foram efetuadas através de calhas Parshall de 2 e 1 polegada de garganta, assentadas imediatamente antes da estação "00" e

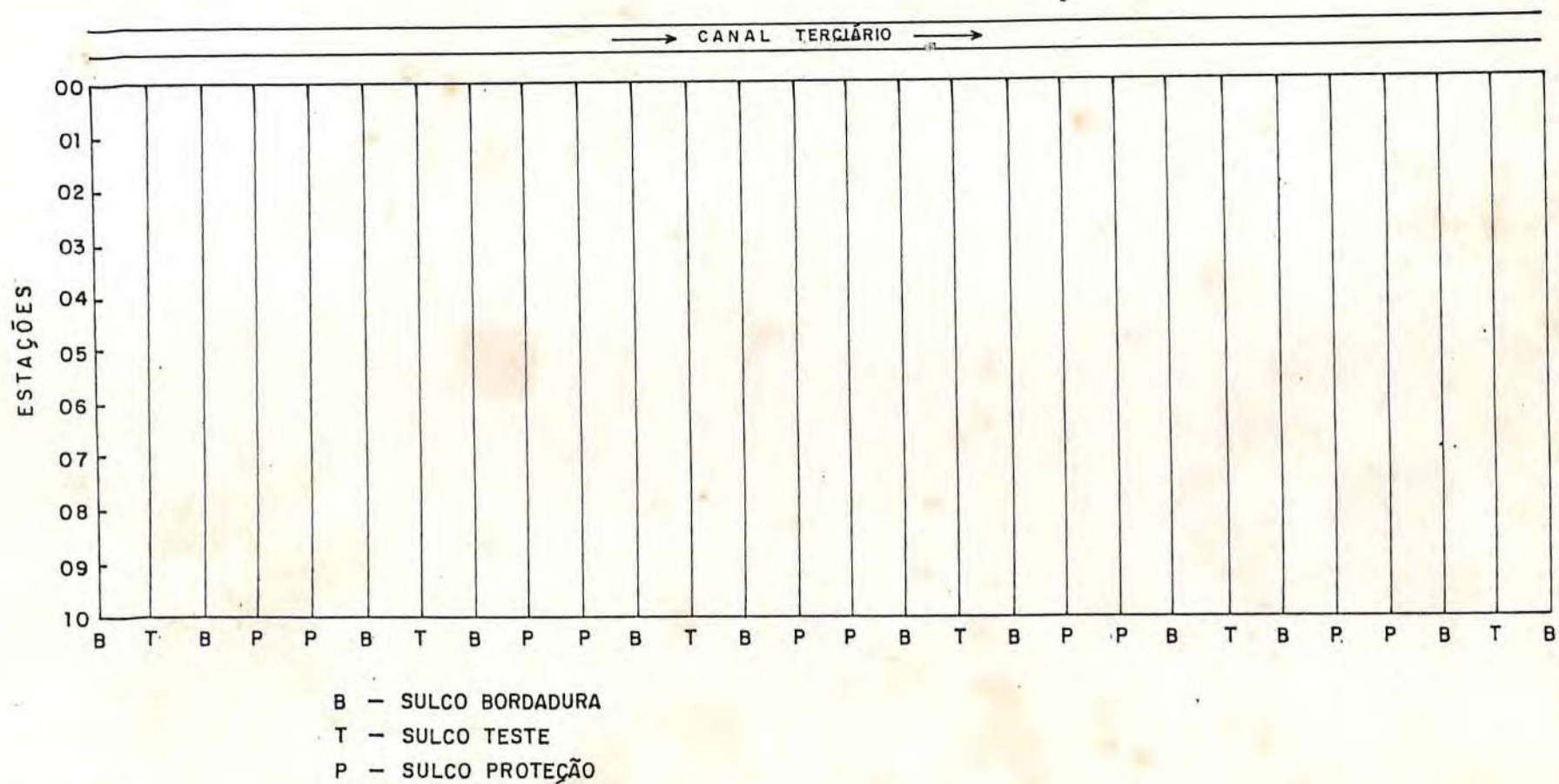


FIGURA 1 - Croquis do Campo Experimental

imediatamente após a estação "10" (para o comprimento de 100 m), ou estação "03" (para comprimento de 30 m) no início e no final dos sulcos-teste, respectivamente.

No campo, os sulcos-teste foram piquetados em intervalos de 10 m para locação das estações. A primeira estação foi assentada a 7,0 m do início dos sulcos a fim de possibilitar a estabilidade do fluxo antes da chegada da água na primeira calha Parshall.

As quatro primeiras baterias foram irrigadas para elevar o conteúdo de água do solo à capacidade de campo nas profundidades de 15, 30, 45 e 60 cm, com lâminas de 11, 22, 33 e 44 mm, respectivamente. Os tempos de irrigação para as mesmas baterias são 5, 30, 86 e 180 min, obtidos com a equação do projeto ($Z = 0,58 t^{0,39}$), ver TABELA 10 (ANEXO "B").

Outra bateria (5^a), ao lado, de igual tamanho (100 m), foi construída especialmente para realizações de testes de infiltração pelo método de entrada e saída, com a intenção de se fazer o maior número de testes possíveis em um período de tempo menor, sendo que neste caso, sem a preocupação de um número de horas de irrigação específico. Adotou-se como medida padronizadora 180 minutos de teste. Uma outra bateria (6^a), com 30 m de comprimento, foi construída também para a realização deste tipo de ensaio, objetivando comparar os seus resultados com os obtidos nas baterias com 100 m de extensão. A duração do teste foi o mesmo adotado para a 5^a bateria.

Todos os testes de infiltração relativos à técnica

de entrada e saída, foram conduzidos nas baterias números 4 e 5 para 100 m de comprimento de sulco e número 6 para 30 m de comprimento de sulco. Os testes com o cilindro e o sulco infiltrômetro foram realizados nos sulcos proteção e bordaduras em todas as baterias, e os locais de instalação dos mesmos, escolhidos aleatoriamente. Os dados utilizados para aplicação da técnica do balanço de volume, foram extraídos das baterias números 1, 2, 3 e 4.

Dois tensiômetros foram instalados no ponto de projeto (final do sulco) em cada uma das seis (6) baterias de sulco. O ponto de projeto é aquele ao longo do sulco, onde se deseja aplicar a lâmina requerida do projeto. Todos os testes de infiltração foram realizados quando os tensiômetros acusavam uma tensão equivalente a um consumo de 40% de água disponível, de acordo com a curva característica de água do solo.

Em todos os testes de infiltração foi determinado o conteúdo de água do solo (na base de peso seco) para posterior avaliação de sua influência nas características de infiltração, TABELA 9 (ANEXO "A"). As amostras de solo, foram coletadas, sempre antes de cada teste, utilizando-se um traço de rosca a uma profundidade de 15 cm. Para os testes de infiltração de entrada e saída, a coleta foi efetuada em três pontos escolhidos previamente: no início, meio e no final do sulco. Especificamente, para os testes com o cilindro e sulco infiltrômetro a coleta foi efetuada próximo do local de instalação dos mesmos.

Todos os testes de infiltração realizados neste experimento tiveram por finalidade gerar as constantes numéricas da equação de KOSTIAKOV (equação 1).

3.2 - Técnicas de Determinação das Características de Infiltração do Solo

3.2.1 - Técnica do Cilindro Infiltrômetro

O infiltrômetro constou de dois cilindros concêntricos de ferro, com 25 e 50 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura. As bordas inferiores dos cilindros eram bizeladas, para permitir sua penetração sem alterar a estrutura do solo.

No cilindro interno é que realizou-se todas as determinações para obtenção das curvas de infiltração do solo e o externo se presta para evitar infiltração lateral a partir do cilindro interno.

O local de instalação do infiltrômetro era representativo das condições do campo a ser irrigado. Evitou-se locais com compactação ou rachaduras, raízes de plantas e pedregosidade, ou outros empecilhos que viesse a comprometer o teste.

Os cilindros foram introduzidos no solo a uma profun-

didade de 10 a 15 cm aproximadamente, por intermédio de golpes sucessivos com uma vara de cano de 2 polegadas, aplicados sobre uma prancha de madeira apoiada sobre os cilindros, de modo que sua penetração fosse a melhor possível na vertical, com o propósito de evitar a deformação da estrutura e promover o perfeito contato do solo com as suas paredes. Os dois cilindros foram nivelados, com a utilização de um nível de pedreiro.

Um plástico fino foi colocado no interior do cilindro interno e simultaneamente encheu-se com água a zona exterior e interior do infiltrômetro até uma determinada altura. O plástico foi, então retirado e, imediatamente, fez-se a primeira leitura com uma régua graduada. As leituras do nível d'água e o tempo em que se fez as medições foram anotadas e repetidas em intervalos de 1, 2, 5, 5, 10, 10, 15, 15, 30, 30, 30, 30 min até estabilizar.

Toda vez que o nível d'água descendia aproximadamente 5,0 cm, reabastecia-se novamente ambos os cilindros até o nível inicial. É oportuno ressaltar que as lâminas d'água no interior dos dois cilindros eram mantidas aproximadamente iguais.

Os valores de tempo acumulado (t) e lâminas infiltradas acumuladas (z) foram analisados através de regressão linear e as equações de infiltração acumulada ($z = kt^a$) e velocidade de infiltração ($I = k't^n$) obtidas. As referidas determinações constam do ANEXO "B" (TABELAS 11 a 16).

3.2.2 - Técnica do Sulco Infiltrômetro

O sistema para medição da infiltração no sulco-infiltrômetro constou de um reservatório com capacidade para 100 l, destinado a manter o nível d'água constante, FIGURA 02 a.

A leitura do nível d'água no reservatório foi feita através de um dispositivo externo transparente de aproximadamente 1,00 cm de ϕ sobre uma escala previamente determinada, conectada a uma mangueira na sua parte superior para aplicação do princípio dos vasos comunicantes.

Isolou-se 1,0 m de sulco por meio de duas chapas de ferro semi-circulares com 30 cm de raio, FIGURA 02 b, instaladas perpendicularmente à seção transversal do sulco à uma profundidade de aproximadamente 15 cm.

Deve ser ressaltado que a seleção do local para a instalação do infiltrômetro seguiu os mesmos critérios citados anteriormente para o cilindro-infiltrômetro.

O reservatório foi assentado e nivelado com a utilização de um nível de pedreiro, próximo ao infiltrômetro, e o seu volume completado, fechando-o hermeticamente em seguida com auxílio de uma veda rosca. Cobriu-se a seção do sulco infiltrômetro com uma lona plástica e adicionou-se água até uma largura aproximadamente igual à média das lâminas dos dois sulcos laterais, os quais foram irrigados com a vazão de projeto. A extremidade da mangueira de entrada de ar foi fixada ao nível da água no infiltrômetro e o registro de saí

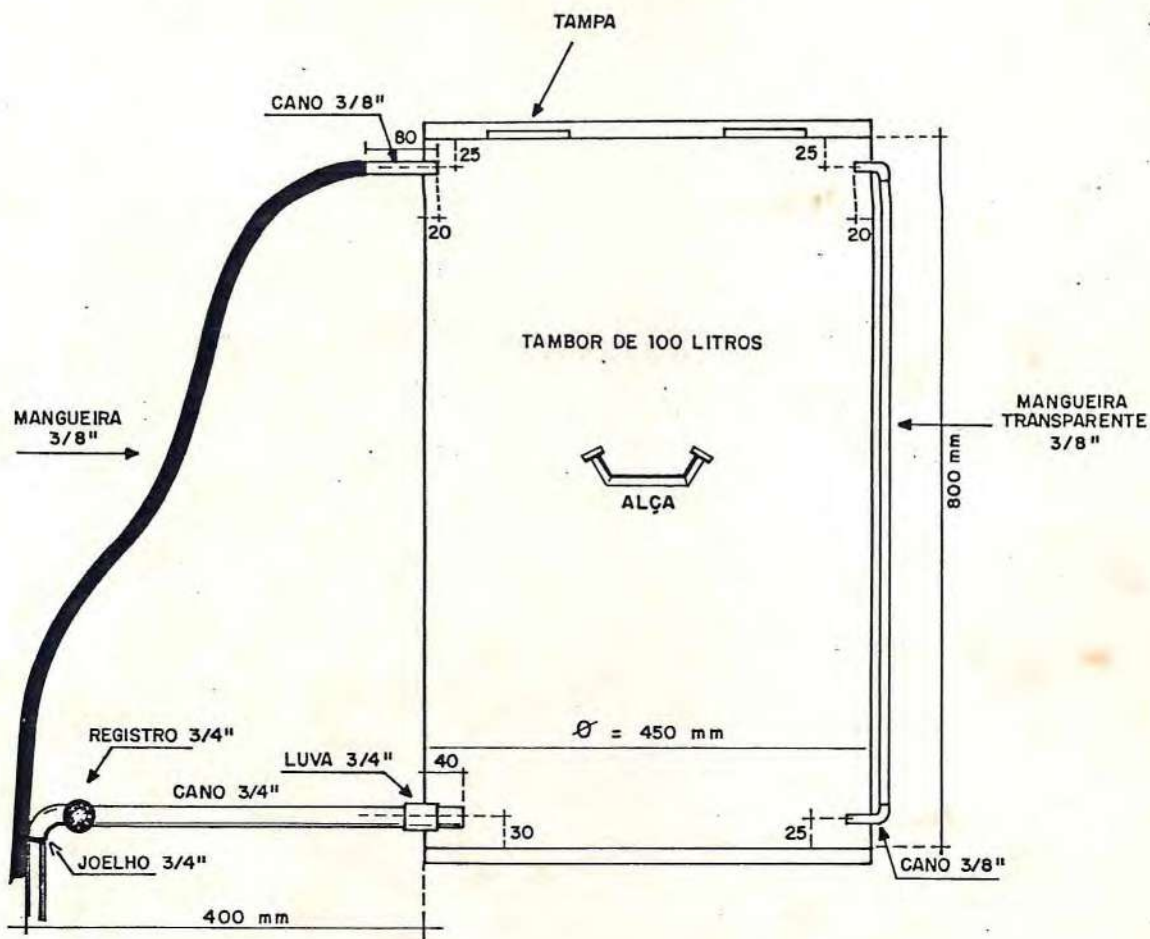


FIGURA 2a - Sistema de Carga Constante para Medição da Infiltração da Água em Sulcos (após AUGUSTO, 1984)

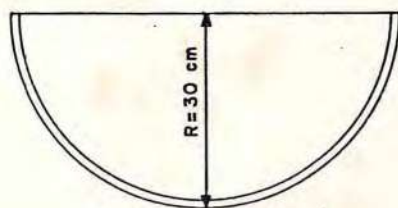


FIGURA 2b - Detalhe das Chapas Semicirculares Usadas nas Extremidades do Sulcô (após ESPÍNOLA, 1977)

da d'água do reservatório foi aberto. Retirou-se a lona plástica, rápida e cuidadosamente, e fez-se o primeiro registro, nunca antes dos três primeiros minutos de teste, devido à oscilação da água no reservatório. As leituras subsequentes são feitas nos mesmos tempos citados para o cilindro infiltrômetro.

À medida que o nível d'água diminui no interior do infiltrômetro, entra ar pela mangueira conectada na parte superior do reservatório, permitindo assim, a saída d'água pelo registro (princípio dos vasos comunicantes) até cobrir novamente a ponta inferior da mangueira. Este processo continua até a estabilização da lâmina infiltrada.

O cálculo da lâmina infiltrada foi feita pelo quociente entre o volume de água infiltrada e a área da zona de fluxo (obtido multiplicando-se o comprimento do sulco pelo espaçamento).

As determinações feitas com o sulco infiltrômetro são apresentadas no ANEXO "B" (TABELA 17 e 22). Os valores de tempo acumulado e lâminas acumuladas são utilizadas para obtenção das equações de infiltração acumulada e velocidade de infiltração por meio de análise de regressão linear.

3.2.3 - Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água

Esta técnica requer somente as medições da vazão de

entrada e de saída em uma seção do sulco para estimar a infiltração.

Neste experimento, esta técnica foi usada para dois comprimentos de sulco, 30 a 100 m (o maior comprimento, segue a recomendação de AUGUSTO (1984), e o menor está de acordo com a recomendação de vários autores para o tipo de solo em questão).

Assentou-se em nível duas calhas Parshall para medição de vazão, no início e final do sulco; a calha de 2 polegadas de garganta era instalado imediatamente antes da estação "0", e a de 1 polegada após a última estação.

Deixou-se normalizar o fluxo d'água na calhas de 2 polegadas para então serem tomadas as leituras de lâminas d'água, utilizando uma régua graduada; tais leituras eram efetuadas a 2/3 da garganta da calha, registradas nos seguintes intervalos de tempo: 3, 5, 5, 10, 10, 15, 15, 15, 15, etc, até o final do teste.

Quando a frente de avanço da água atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e a última estação, considerou-se o tempo "zero" de infiltração.

Todas as leituras na calhas de 1 polegada foram efetuadas da mesma maneira que na calha de 2 polegadas.

Considerou-se a diferença entre a vazão de entrada e a de saída, como a velocidade de infiltração para seção do sulco considerada.

Os valores de tempo acumulado e velocidade de infil-

tração foram analisados através de regressão linear, obtendo-se a equação da velocidade de infiltração do solo. A equação de infiltração acumulada foi obtida através da integração da equação da velocidade de infiltração. Ver ANEXO "B", TABELAS 23 a 34.

3.2.4 - Técnica do Balanço de Volume Proposto por CHRISTIANSEN et alii (1966)

A aplicação desta técnica, requer as medições da variação de entrada da água no sulco, bem como a taxa de avanço em cada estação. Os seis testes foram realizados com os dados das baterias números 1, 2, 3 e 4, sendo três com as baterias número 4 e um para cada uma das demais baterias.

No desenvolvimento de sua metodologia CHRISTIANSEN et alii (1966) fez duas suposições:

- (1) a lâmina infiltrada pode ser expressa por uma equação simples do tipo proposto por KOSTIAKOV ($z = kt^{\frac{1}{2}}$);
- (2) a distância de avanço da água no sulco é uma função potencial do tempo, ou seja,

$$s = f t^h \quad (17)$$

onde, s = distância de avanço
 t = tempo correspondente

f e h = constantes

A equação geral de balanço de volume pode ser escrita da seguinte maneira:

$$Qt_1 = \bar{y} EL + \bar{z} EL \quad (18)$$

onde, Q = vazão de entrada da água no sulco
 t_1 = um valor de tempo correspondente ao avanço da água a uma distância s
 E = espaçamento entre sulco
 L = comprimento do sulco
 \bar{y} = lâmina d'água média na superfície
 \bar{z} = lâmina d'água média que infiltrou no sulco no tempo t_1
 Qt_1 = volume de água que entra no sulco no tempo t_1
 $\bar{y}EL$ = volume da água superficial remanescente
 $\bar{z}EL$ = volume da água infiltrado no solo

Dividindo a equação (18) pelo espaçamento entre sulco (E), temos:

$$q \cdot t_1 = \bar{y} L + \bar{z} L \quad (19)$$

onde, q = vazão por unidade de largura

A equação acima pode ainda ser escrita da seguinte maneira:

$$\frac{q \cdot t_1}{L} = \bar{y} + \bar{z} \quad (20)$$

onde o termo \bar{z} esquerda representa a lâmina d'água que entra no sulco, para cada comprimento unitário.

A lâmina média superficial (\bar{y}) foi determinada plotando em papel log-log $\frac{q \cdot t}{L}$ versus o tempo (t_1), FIGURA 23 a 28 (ANEXO "D"). O coeficiente da equação gerada é considerado o valor de \bar{y} . De posse desse valor, pode-se então determinar a lâmina que infiltrou no solo em cada estação (\bar{z}), pela subtração de \bar{y} aos valores de $\frac{q \cdot t}{L}$.

As constantes numéricas "k" e "a" da equação de infiltração acumulada de KOSTIAKOV, são obtidas através de regressão linear dos valores de \bar{z} com seus respectivos tempos (t_1). A inclinação da reta é o valor de "a", enquanto a ordenada a origem para $t_1 = 1$ representa a expressão $\frac{FK}{a + 1}$, onde k é o coeficiente da equação de infiltração acumulada, F é uma função beta que torna a expressão mais exata, podendo ser obtida da seguinte maneira:

$$F = \frac{(a-1) - h(a-1) + 2}{h + 1} \quad (21)$$

onde; h = é o expoente da equação (17)

Os testes relativos a esta técnica se encontram no ANEXO "B" TABELAS 35 a 40.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização Física do Solo

O resultado da análise das características físicas do solo é apresentado na TABELA 1. De acordo com o Laboratório de Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola-UFC. O solo, em todo perfil estudado, é franco arenoso (TABELA 1) com densidade do solo variando de 1,35 na camada mais profunda a 1,61 na camada superficial. As FIGURAS 3, 4 e 5 (ANEXO "C") apresentaram as curvas características de umidade do solo para três profundidades consideradas.

TABELA 1 - Análise Granulométrica e Densidade do Solo

Profundidade (cm)	D _s	Fração Granulométrica (%)			Classificação Textural
		Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	
0-15	1,61	64	23	13	Franco Arenoso
15-45	1,37	62	22	16	Franco Arenoso
45-75	1,35	69	20	11	Franco Arenoso

4.2 - Infiltração da Água nos Sulcos

A TABELA 2 apresenta as constantes "k e a" da equação de infiltração acumulada de KOSTIAKOV, obtidas por cinco (5) diferentes técnicas de campo (cilindro infiltrômetro, sulco infiltrômetro, entrada e saída para 30 e 100m de comprimento de sulco e balanço de volume proposto por CHRISTIANSEN et alii, 1966). Os dados de campo são encontrados no ANEXO "B" (TABELAS 11 a 40).

Com a finalidade de estudar a variabilidade existente entre os testes de infiltração, dentro de cada técnica utilizada, os dados de infiltração acumulada foram plotados para cada equação, $z = k t^a$, com as constantes da TABELA 2, e são apresentados nas FIGURAS 6 a 10. A exemplo do que foi sugerido por vários autores (DAVIS e FRY, 1963; SINGH e CHAUHAM, 1973; FANGMEIER e RAMSEY, 1978 e REZENDE e SCALOPPI, 1985), a técnica do balanço de volume é tomada como padrão para comparação, devido a mesma permitir a determinação simultânea do volume de água que entra no sulco e do volume de água armazenado temporariamente na superfície do mesmo, para cada incremento de avanço. Assim sendo, pode-se obter, através de uma simples subtração, o volume infiltrado em cada estação pré-estabelecida. Além do mais, a técnica reproduz as condições normais da prática de irrigação sem ocasionar qualquer tipo de distúrbio no sulco, e permite um regime de fluxo livre, sem obstrução.

Nas FIGURAS 6 a 10, observa-se de uma maneira geral,

TABELA 2 - Constantes Numéricas k (cm/min^a) e a da Equação de Infiltração Acumulada de KOSTIAKOV* Obtidas por 5 Diferentes Técnicas.

Repetições	Cilindro Infiltrômetro		Sulco Infiltrômetro		Entrada e Saída - 30m		Entrada e Saída - 100m		Balanço de Volume	
	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a
1	0,80	0,39	0,14	0,51	0,27	0,51	0,40	0,50	0,23	0,55
2	0,70	0,35	0,17	0,58	0,60	0,50	0,40	0,47	0,12	0,65
3	0,71	0,32	0,12	0,62	0,34	0,56	0,19	0,60	0,17	0,67
4	0,75	0,38	0,16	0,57	0,17	0,74	0,17	0,63	0,26	0,50
5	0,80	0,37	0,11	0,63	0,35	0,57	0,30	0,53	0,35	0,43
6	0,68	0,32	0,13	0,50	0,24	0,71	0,08	0,83	0,29	0,47
Média	0,74	0,36	0,14	0,57	0,57	0,60	0,26	0,59	0,24	0,55

*: $z = k t^a$

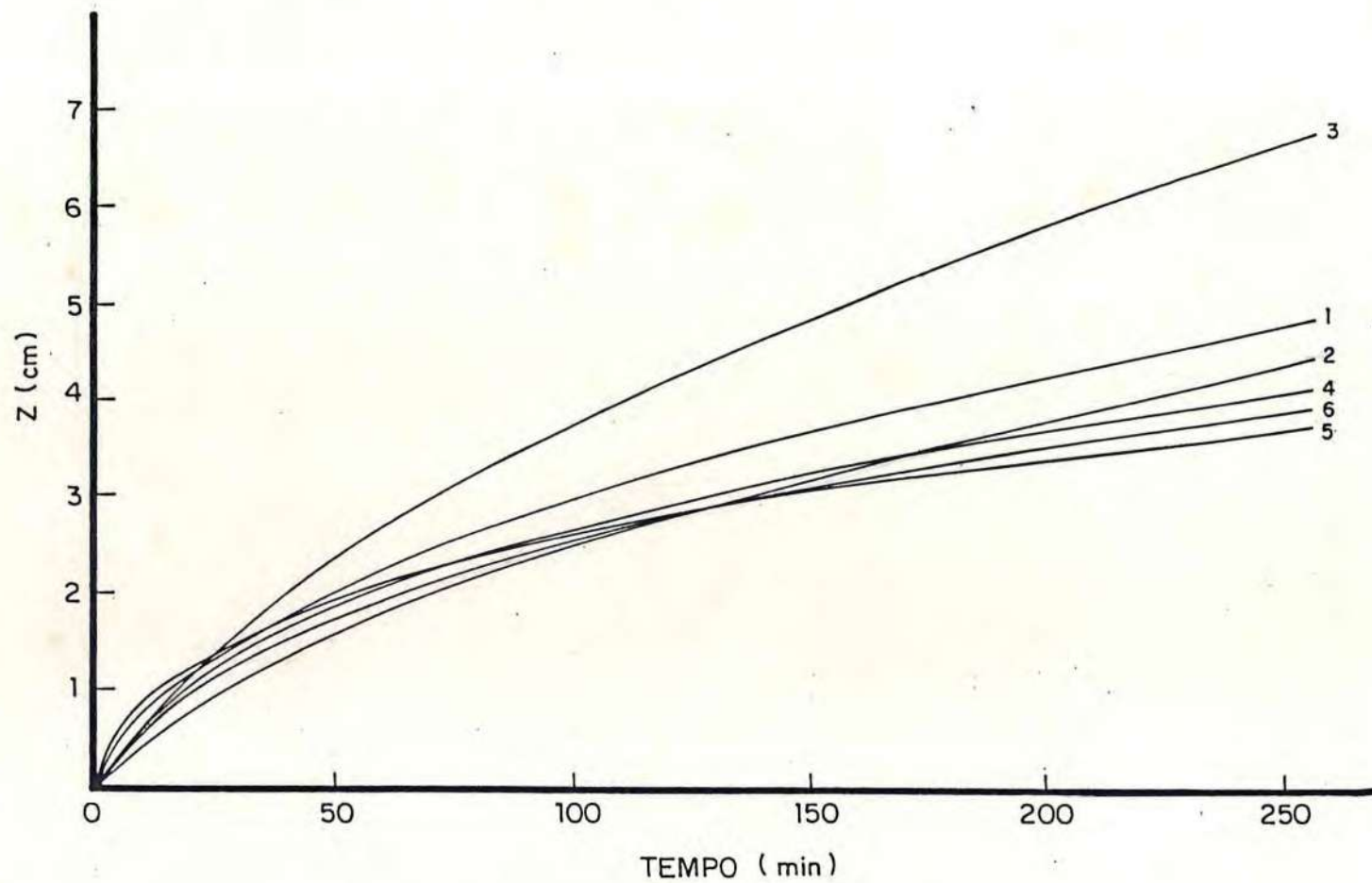


FIGURA 6 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para a Técnica do Balanço de Volume, com a Metodologia Proposta por CHRISTIANSEN et alii (1966) para os Seis (6) Testes Realizados

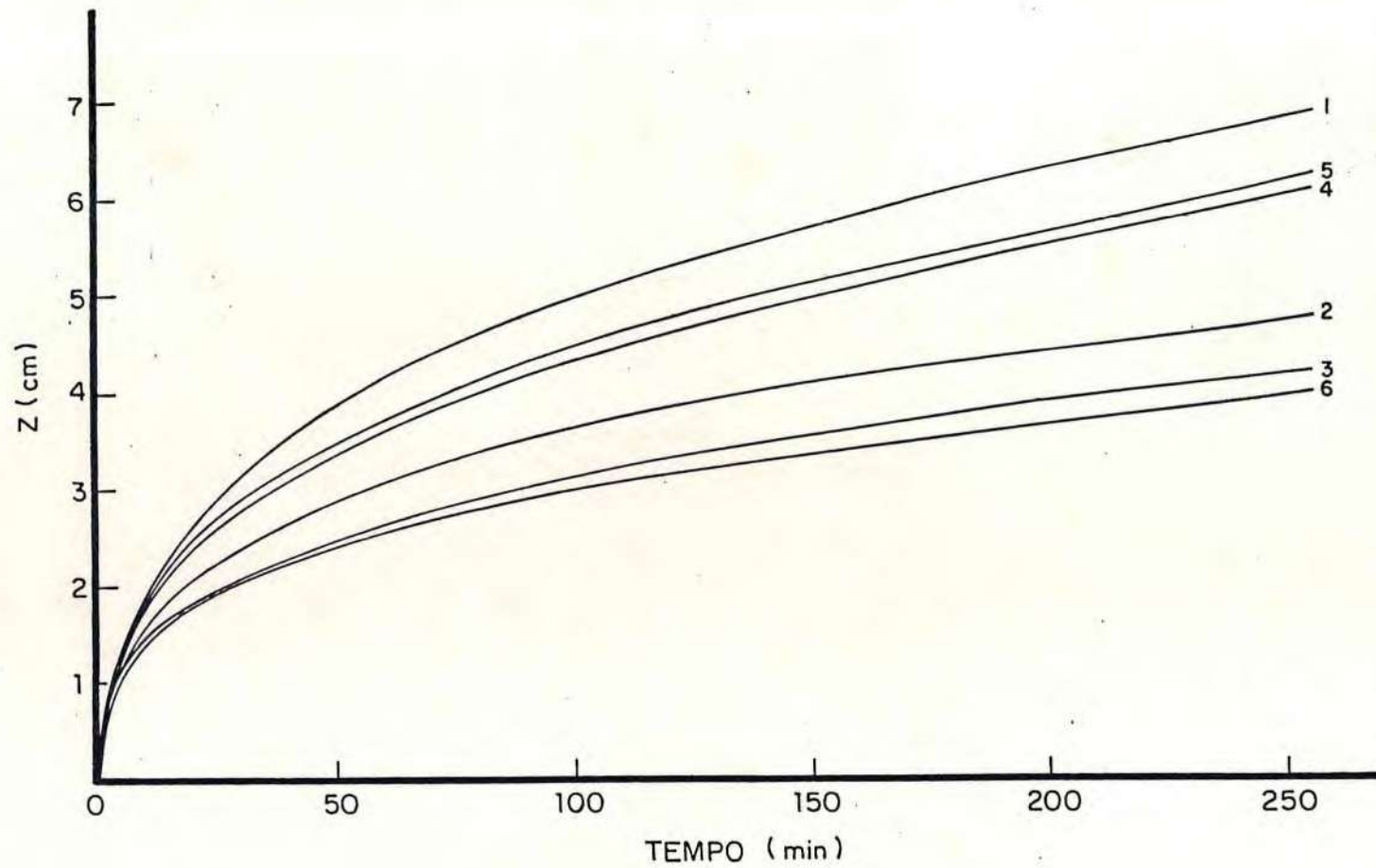


FIGURA 7 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica do Cilindro Infiltrômetro para os Seis (6) Testes Realizados

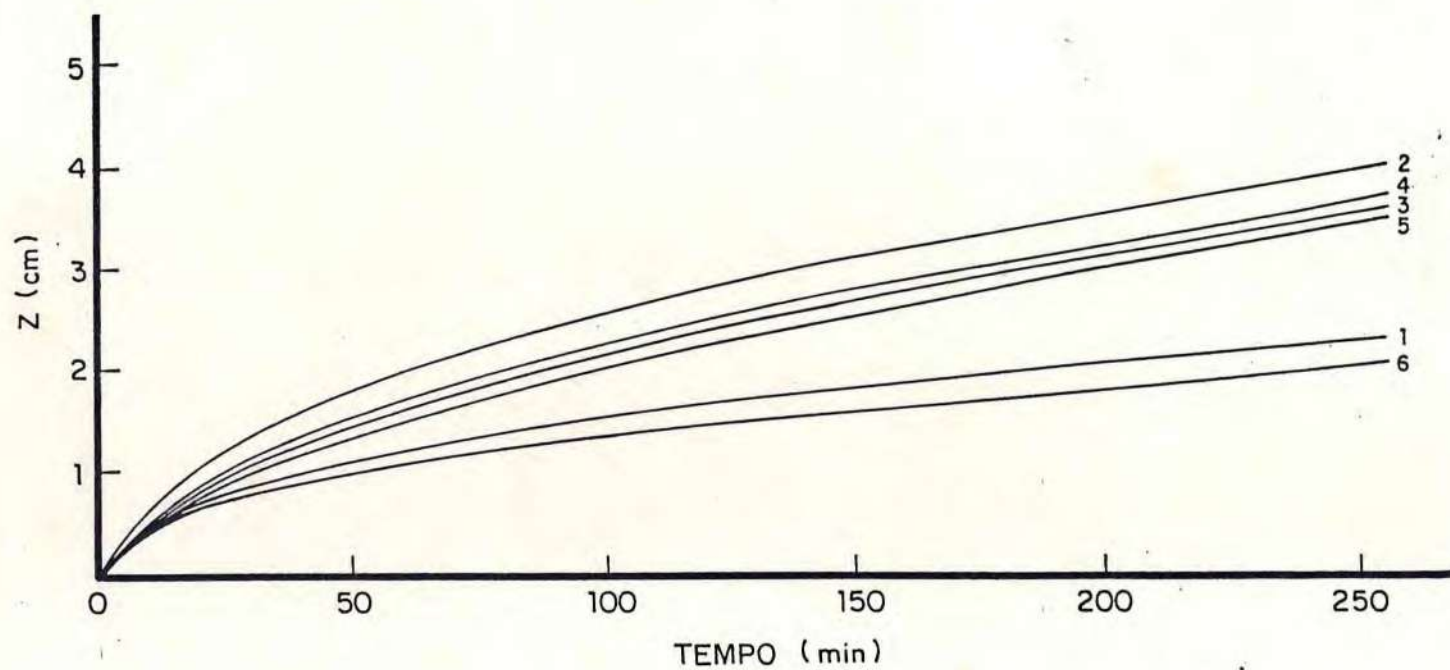


FIGURA 8 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica do Sulco Infiltrômetro para os Seis (6) Testes Realizados

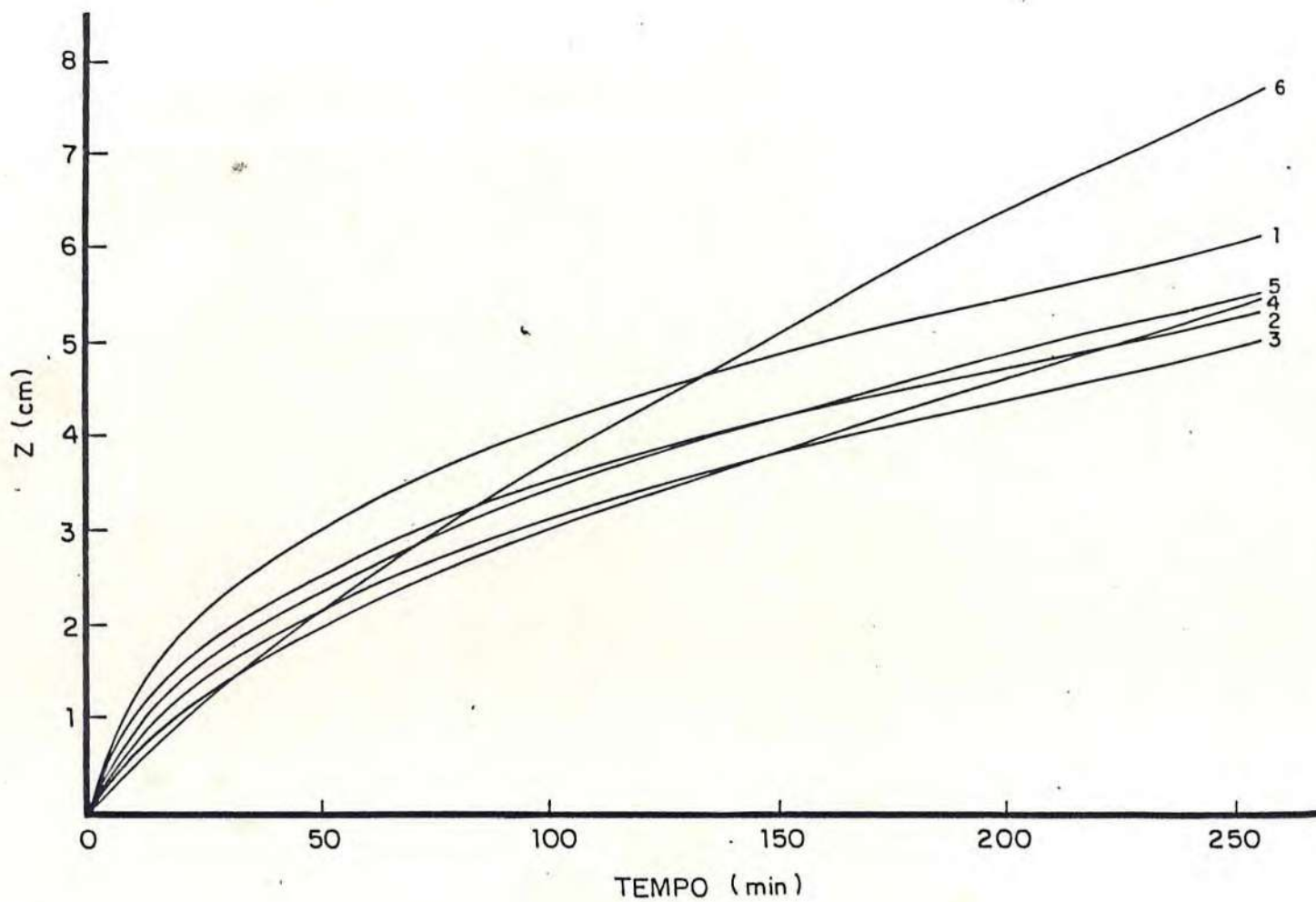


FIGURA 9 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica de Entrada e Saída - 100m pa
ra os Seis (6) Testes Realizados

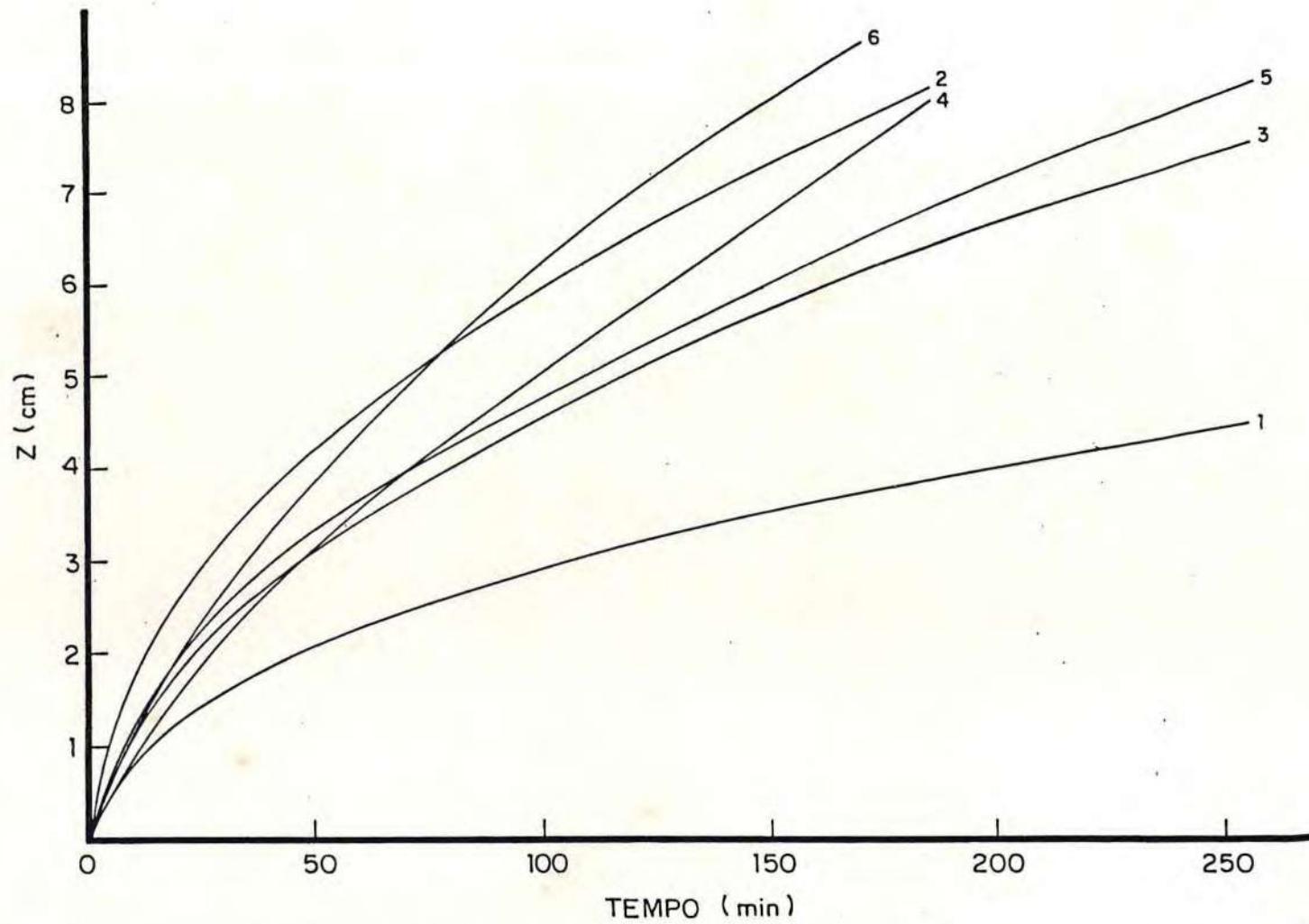


FIGURA 10 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado com a Técnica de Entrada e Saída - 30m pa
ra os Seis (6) Testes Realizados

a grande variabilidade existente entre testes de uma mesma metodologia, seja para o cilindro, sulco infiltrômetro, ou entrada e saída com 100 e 30 m de comprimento. Para estes últimos, é constatado que as curvas de infiltração acumulada não tendem à estabilização (regime assintótico) o que é comumente esperado depois de um certo período de tempo de infiltração. Nota-se também que a maior variabilidade, bem como as maiores lâminas infiltradas foram obtidas com a técnica em questão. Estes resultados são compatíveis com aqueles encontrados por KARMELI et alii (1978).

Com relação aos resultados do sulco infiltrômetro e do cilindro infiltrômetro observa-se, que ocorre o processo de estabilização (a declividade das curvas torna-se muito pequena), porém, no sulco infiltrômetro este processo inicia-se para menores valores de lâminas infiltradas, enquanto que no cilindro infiltrômetro isto ocorre para maiores valores. Vale ressaltar que esta estabilização não é total em face da própria natureza da equação aqui utilizada.

Uma pequena variabilidade foi constatada para o balanço de volume, com a metodologia proposta por CHRISTIANSEN et alii (1966), o que reforça a tese de que esta técnica proporciona estimativas mais seguras das constantes numéricas "k e a" da equação de infiltração acumulada. Entretanto, deve ser considerado, que este método apresenta, também, suas limitações, como foi apresentado no item 2. Especificamente, para o método de CHRISTIANSEN et alii (1966), onde a infiltração segue uma equação simples do tipo proposto por KOSTIAKOV

(equação 1) e o avanço da água no sulco é uma função potencial do tempo ($s = ft^h$), SINGH e CHAUHAM (1973) afirmam que há um supercondicionamento. Estes autores consideram que uma das equações deveria ser assumida e a outra resultaria da solução do problema.

Observa-se na TABELA 2, que a técnica de entrada e saída nos dois comprimentos estudados (100 e 30m) proporcionam maiores valores de "k", em relação ao balanço de volume. Os menores valores dessa constante (k), foram proporcionados pelo sulco infiltrômetro. A constante "a" para as técnicas de entrada e saída e sulco infiltrômetro não apresentaram grandes diferenças em relação ao balanço de volume. O cilindro infiltrômetro foi a técnica que proporcionou valores diferenciados tanto para a constante "k" como para "a" em relação ao balanço de volume.

Para comparar mais detalhadamente entre si as diversas técnicas de obtenção das constantes da equação de infiltração acumulada, foram construídas as FIGURAS 11 a 16 que são representações gráficas dos dados apresentados na TABELA 2, plotados em escala normal. Fica evidente nestas figuras, que a técnica do cilindro infiltrômetro proporcionou os maiores valores da constante numérica "k", uma vez que as curvas para o cilindro infiltrômetro estão acima das demais nos primeiros momentos do processo. Isto se deve ao método de instalação do equipamento que por mais cuidadoso que seja, não permite uma penetração regular do cilindro medidor, causando uma deformação na estrutura, compactando o solo, e também proporcionando o aparecimento de espaços vazios entre

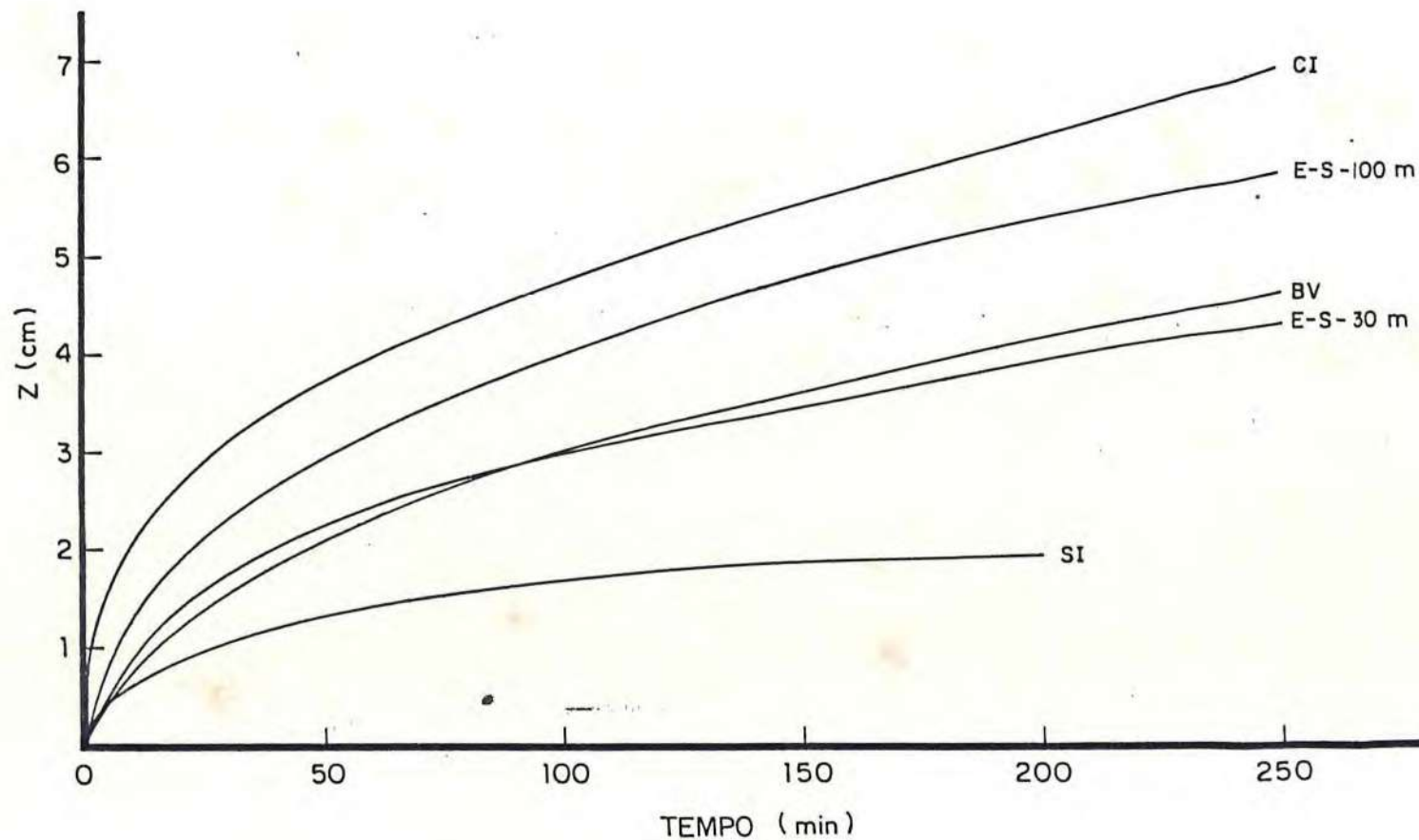


FIGURA 11 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 1

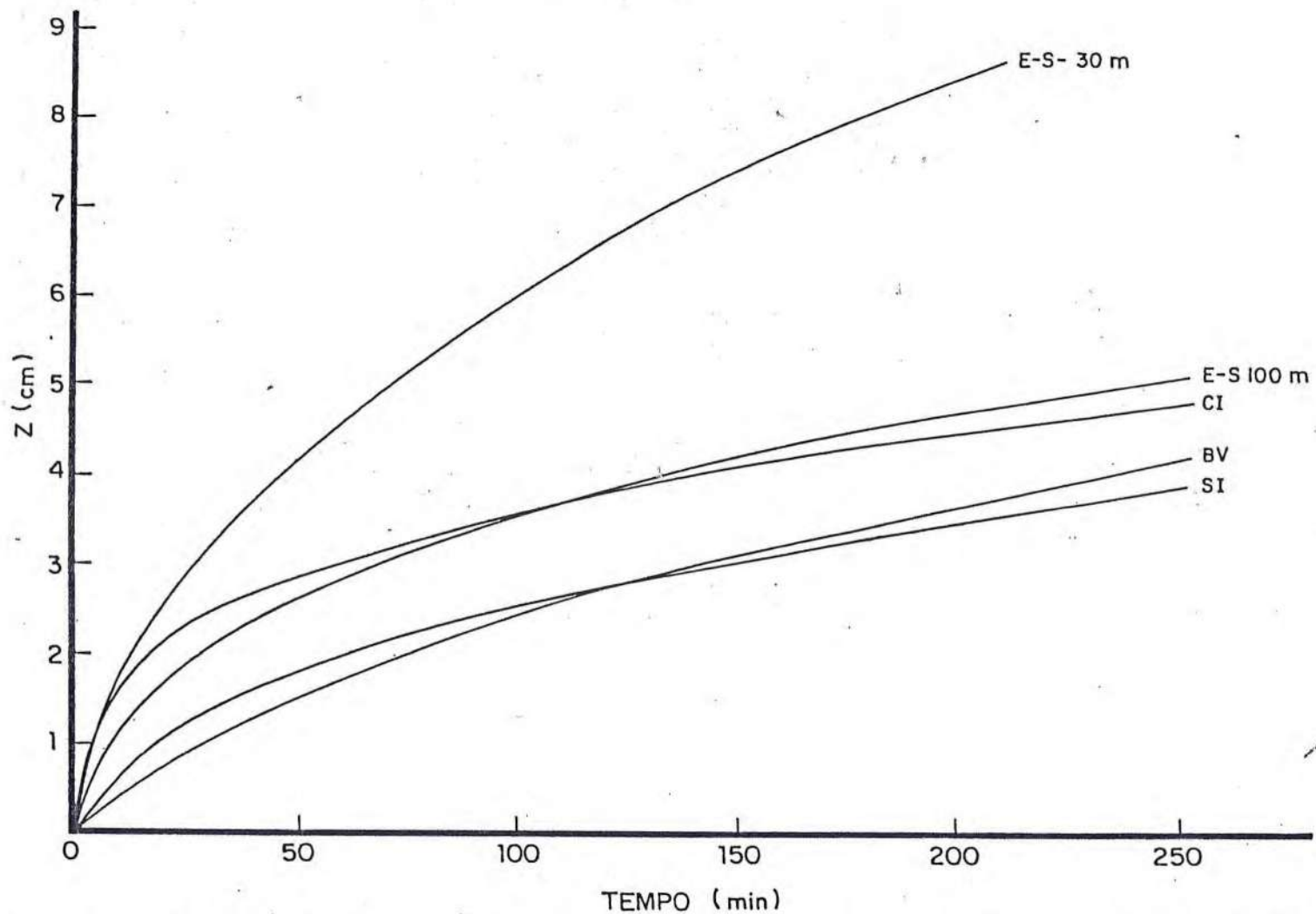


FIGURA 12 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 2

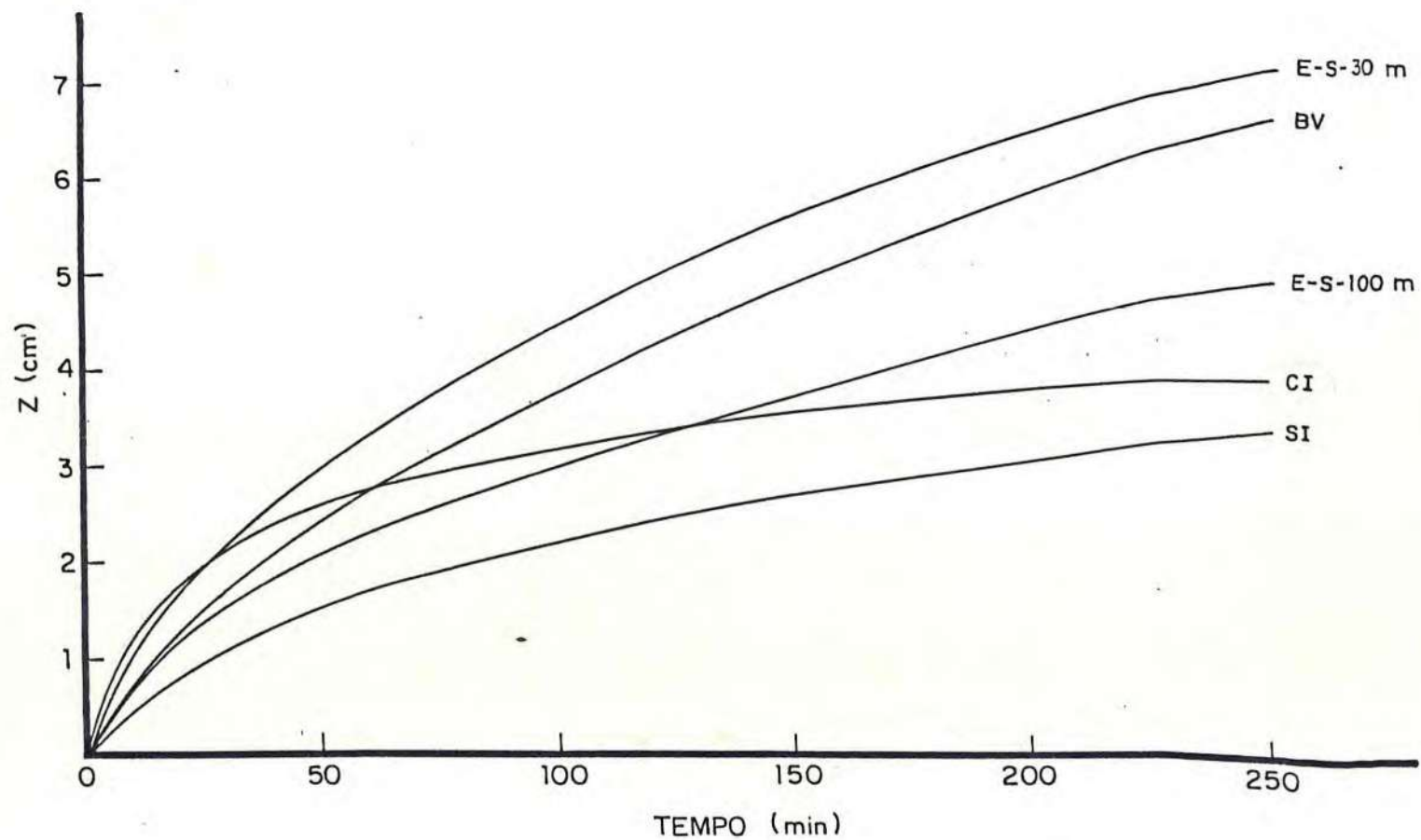


FIGURA 13 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100m (E-S-100m), Entrada com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 3

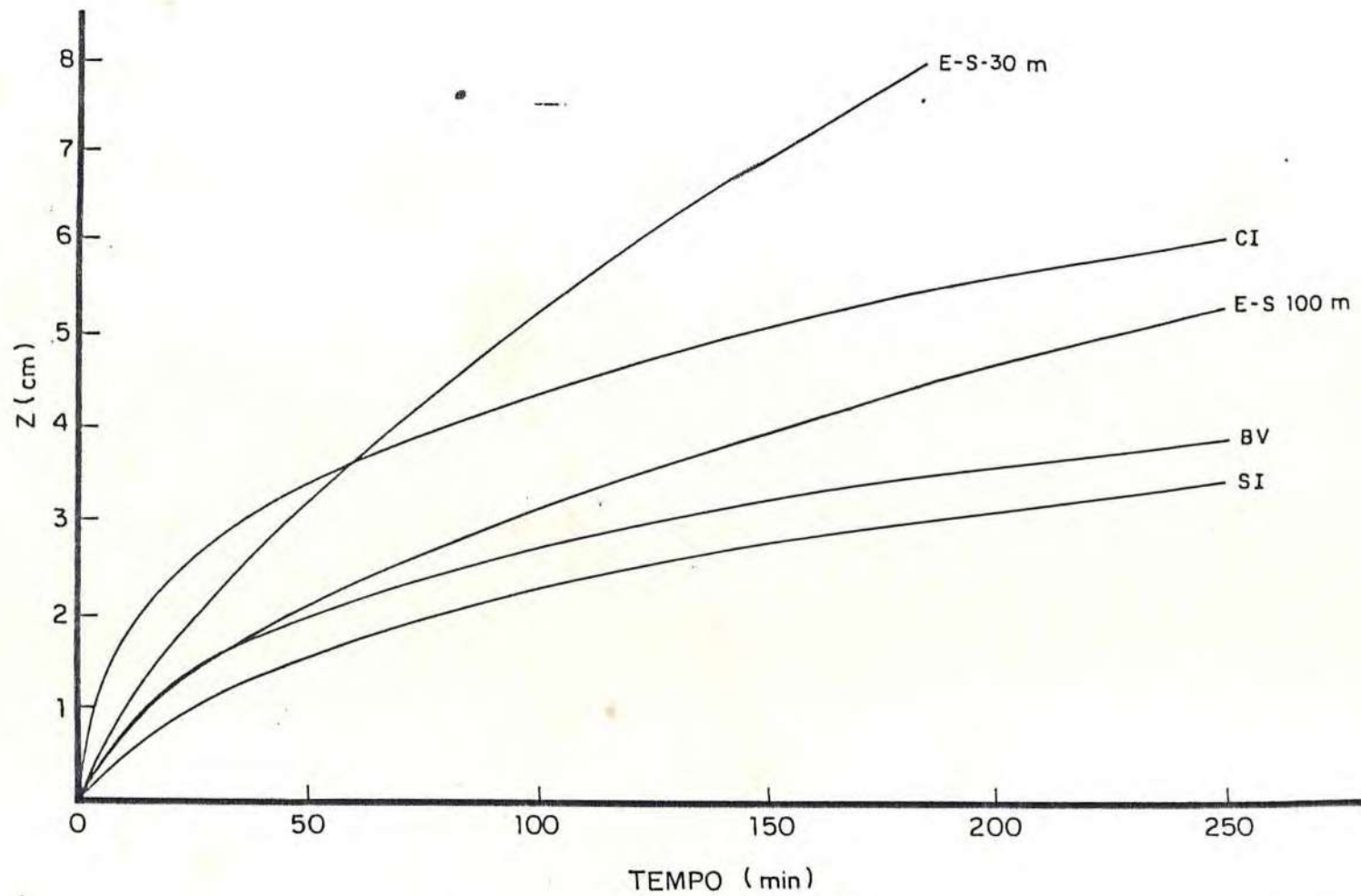


FIGURA 14 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100,) , Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 4

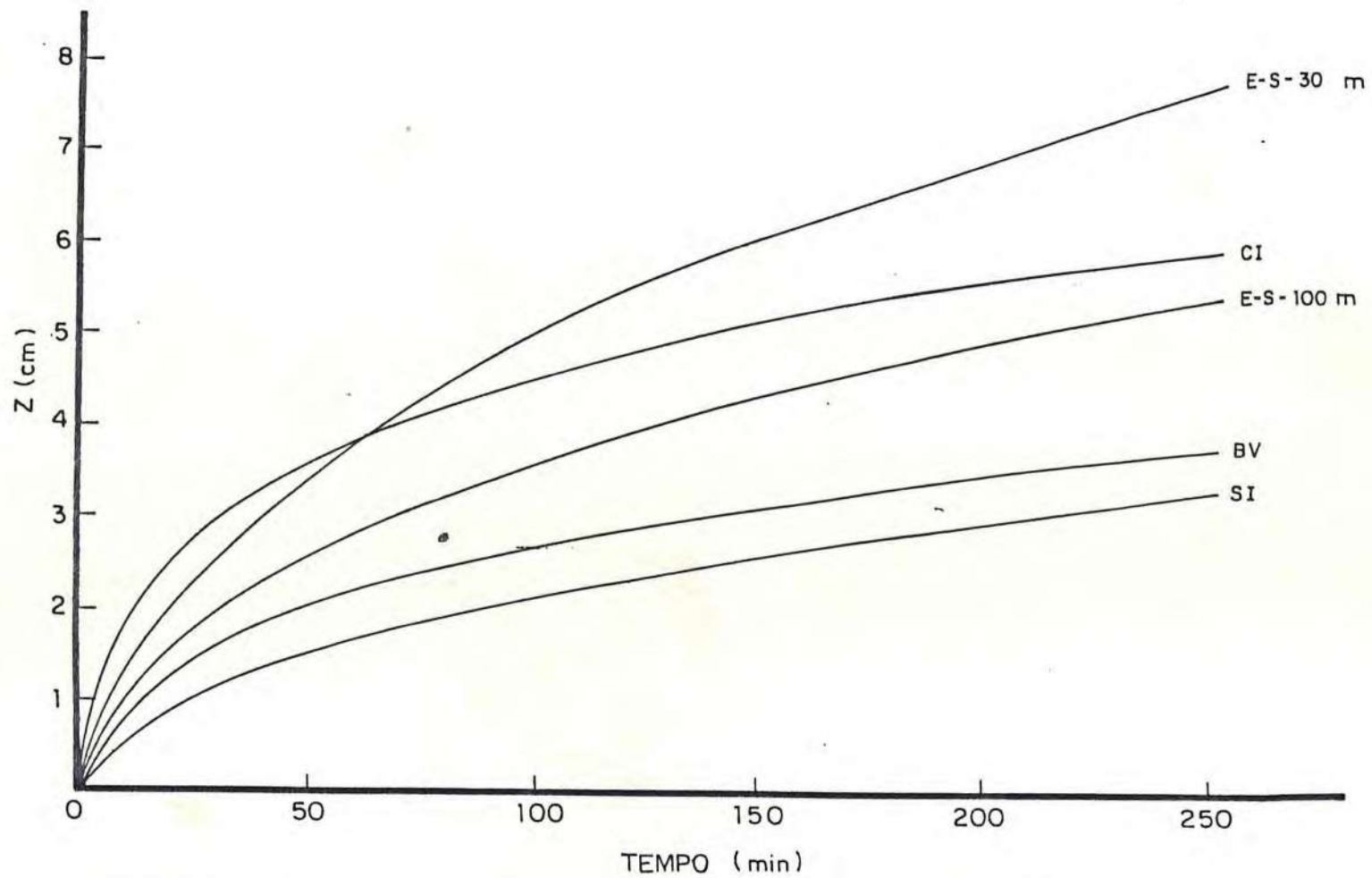


FIGURA 15 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 5

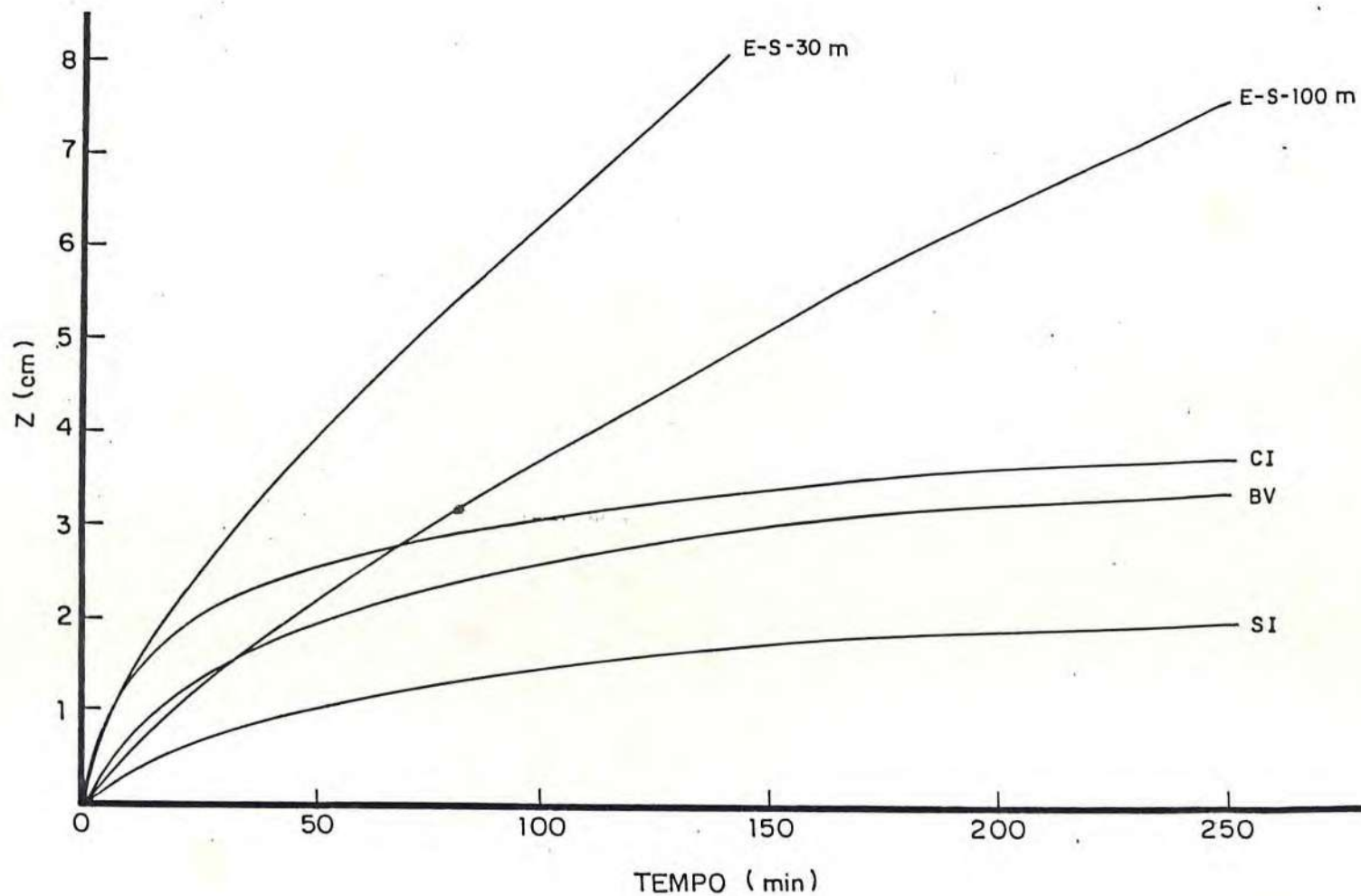


FIGURA 16 - Infiltração Acumulada Vs Tempo Acumulado para as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 6

a parede do cilindro e o solo. Neste particular, BERTRAND (1965) e ESPÍNOLA (1977) recomendam a instalação dos cilindros com um certo período de antecedência às diversas determinações, como solução alternativa ao problema gerado pelo método de instalação do infiltrômetro. A magnitude de grandeza do valor de "k" do cilindro infiltrômetro, foi tão superior em relação às outras técnicas, que observando as FIGURAS 11 a 16, nota-se que a infiltração foi superestimada para pequenos valores de tempo, onde o expoente da equação ainda não exerce muita influência, enquanto que, para maiores valores de tempo o cilindro infiltrômetro superestimou também a infiltração em relação ao balanço de volume. Parte destes resultados são confirmados por ESPÍNOLA (1977) e AUGUSTO (1984).

* Também nas FIGURAS 11 a 16, fica constatado o fato de que a técnica de entrada e saída, para os dois comprimentos estudados (100 e 30m), superestima a infiltração em relação ao balanço de volume. Isto pode ser explicado pelo efeito bloqueador do instrumento utilizado para medição de vazão instalado na saída do sulco, que proporciona uma lâmina superficial superior aquela observada em condições de fluxo livre. Além do mais, a técnica de entrada e saída não considera a variação de volume de água superficial entre duas determinações sucessivas de vazão. Desta maneira os possíveis acréscimos e decréscimos do volume de água armazenado temporariamente na superfície do solo, devido as alterações na vazão de entrada do sulco, são atribuídos a infiltração, acarretando assim lâminas infiltradas superiores aquelas efetiva

mente observadas. Este efeito é mais pronunciado nos primeiros minutos de realização do teste. Outra observação importante, é que um período de tempo considerável é passado até que a primeira leitura seja efetuada no medidor de vazão localizado na saída do sulco, que pode vir a introduzir erros nos parâmetros obtidos da equação de infiltração.* Ainda com relação as FIGURAS 11 a 16 pode ser observado, que os maiores valores de infiltração acumulada são obtidos com a técnica de entrada e saída para 30 m de comprimento de sulco. A razão disto é que o pequeno segmento de sulco utilizado, não leva em consideração a variabilidade espacial do solo. Este resultado contradiz a recomendação de BERNARDO (1982), que para solos arenosos indica um comprimento de sulco de no máximo 20m. Apesar do solo onde o presente estudo foi conduzido ser franco arenoso, para este tipo de solo (aluvial) é recomendado o uso de um comprimento de sulco mais representativo da área em estudo, quando do desenvolvimento de testes de infiltração com a técnica de entrada e saída, a fim de obter-se constantes numéricas mais aproximadas daquelas oriundas da técnica do balanço de volume. Os resultados acima descritos são confirmados por DAVIS e FRY (1963), KARMELI et alii (1978) e REZENDE e SCALOPPI (1985).

Com relação à técnica do sulco infiltrômetro observa-se uma tendência em subestimar a infiltração em relação ao balanço de volume. Isto se deve a que, quando a água não está em movimento no sulco, como é o caso do sulco infiltrômetro, as menores partículas do solo não permanecem em sus-

pensão e, portanto, pode, bloquear parte dos espaços porosos. Este resultado é comparável aquele obtido por FANGMEIER e RAMSEY (1978).

Na TABELA 3 são apresentados os valores das constantes numéricas k' e n da equação de velocidade de infiltração (equação 4) derivada da equação de infiltração acumulada (equação 1).

As FIGURAS 17 a 22 são as representações gráficas da TABELA 3 plotados em escala normal. Nota-se que o cilindro infiltrômetro apresenta uma tendência em subestimar a velocidade de infiltração básica, o que é atribuído a influência dos pequenos valores dos expoentes da equação de velocidade de infiltração (n), (TABELA 3). Também é observado uma elevada velocidade de infiltração para pequenos valores de tempo. Este efeito é atribuído aos grandes valores de k' obtidos. A velocidade de infiltração básica (VIB) apresenta-se mais elevada para a técnica de entrada e saída e com menores valores para o sulco infiltrômetro, pelos mesmos motivos já discutidos. Certamente, a estabilização da velocidade de infiltração, isto é, a tendência a alcançar um valor constante (VIB), não seja possível através da técnica de entrada e saída.

Observando-se outra vez a TABELA 2, pode-se verificar os valores médios de " k " e " a " da equação de infiltração acumulada, que foram estudadas através de uma análise de variância, apresentando significância ao nível de 5% de probabilidade (TABELAS 4 e 5).

O teste de Tukey, foi aplicado, por ser mais preci-

TABELA 3 - Constantes Numéricas k' (cm/hora^a) e n da Equação de Velocidade de Infiltração de KOSTIAKOV*.

Repetições	Cilindro		Sulco		Entrada e Saída - 30 m		Entrada e Saída - 100 m		Balanço de Volume	
	k'	n	k'	n	k'	n	k'	n	k'	n
1	1,54	-0,61	0,58	-0,49	1,11	-0,49	1,55	-0,50	1,20	-0,45
2	1,03	-0,65	1,06	-0,42	2,32	-0,50	1,29	-0,53	1,12	-0,35
3	0,84	-0,68	0,94	-0,38	1,89	-0,44	1,33	-0,40	1,77	-0,33
4	1,35	-0,62	0,94	-0,43	2,60	-0,26	1,41	-0,37	1,01	-0,50
5	1,35	-0,63	0,91	-0,37	2,06	-0,43	1,39	-0,47	0,88	-0,57
6	0,81	-0,68	0,50	-0,50	3,12	-0,39	1,99	-0,17	0,93	-0,53

$$* I = k't^n$$

$$k' = a k$$

$$n = a-1$$

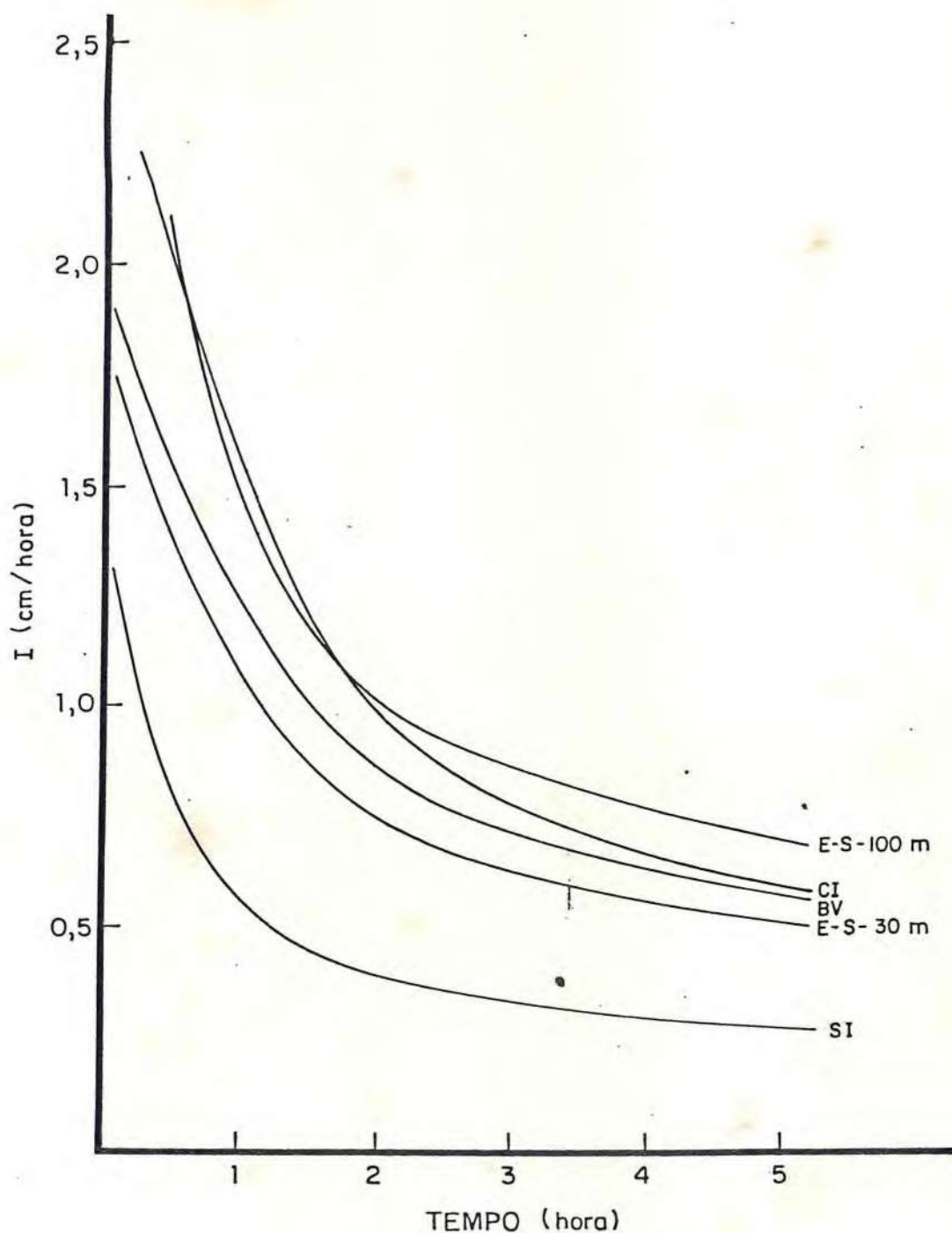


FIGURA 17 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 1

Vm 0 + 100 + 100

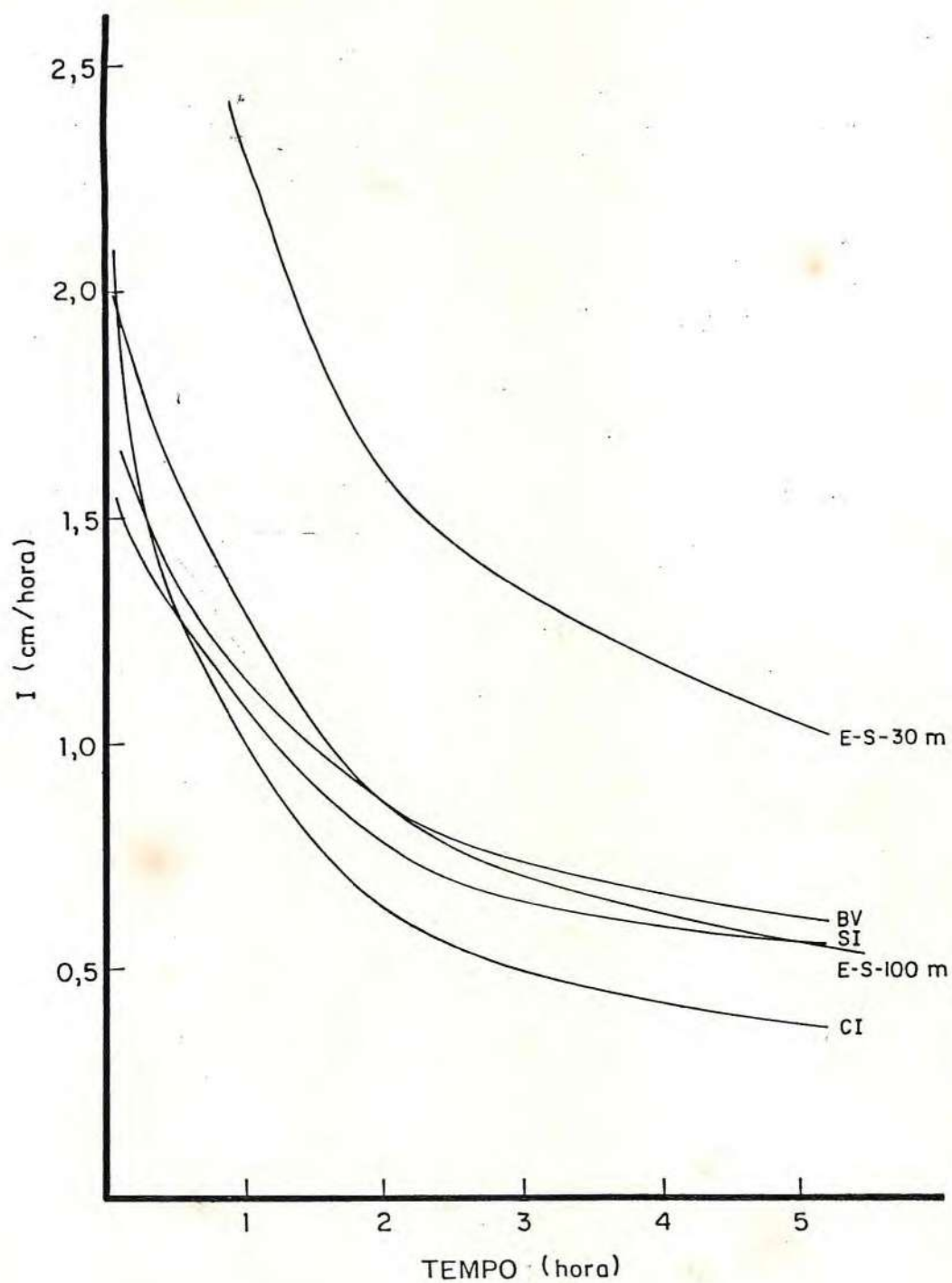


FIGURA 18 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m) Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 2

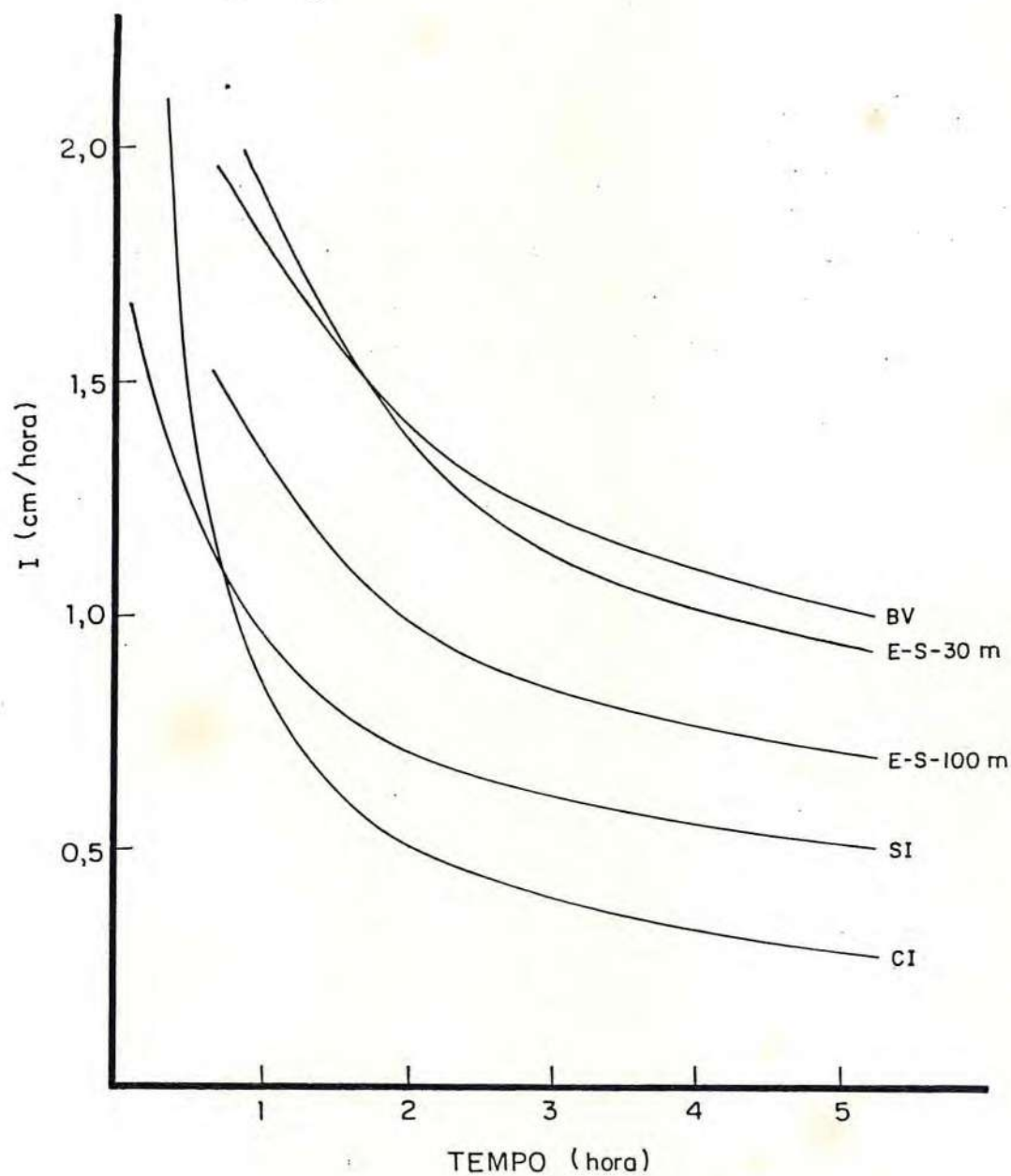


FIGURA 19 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 3

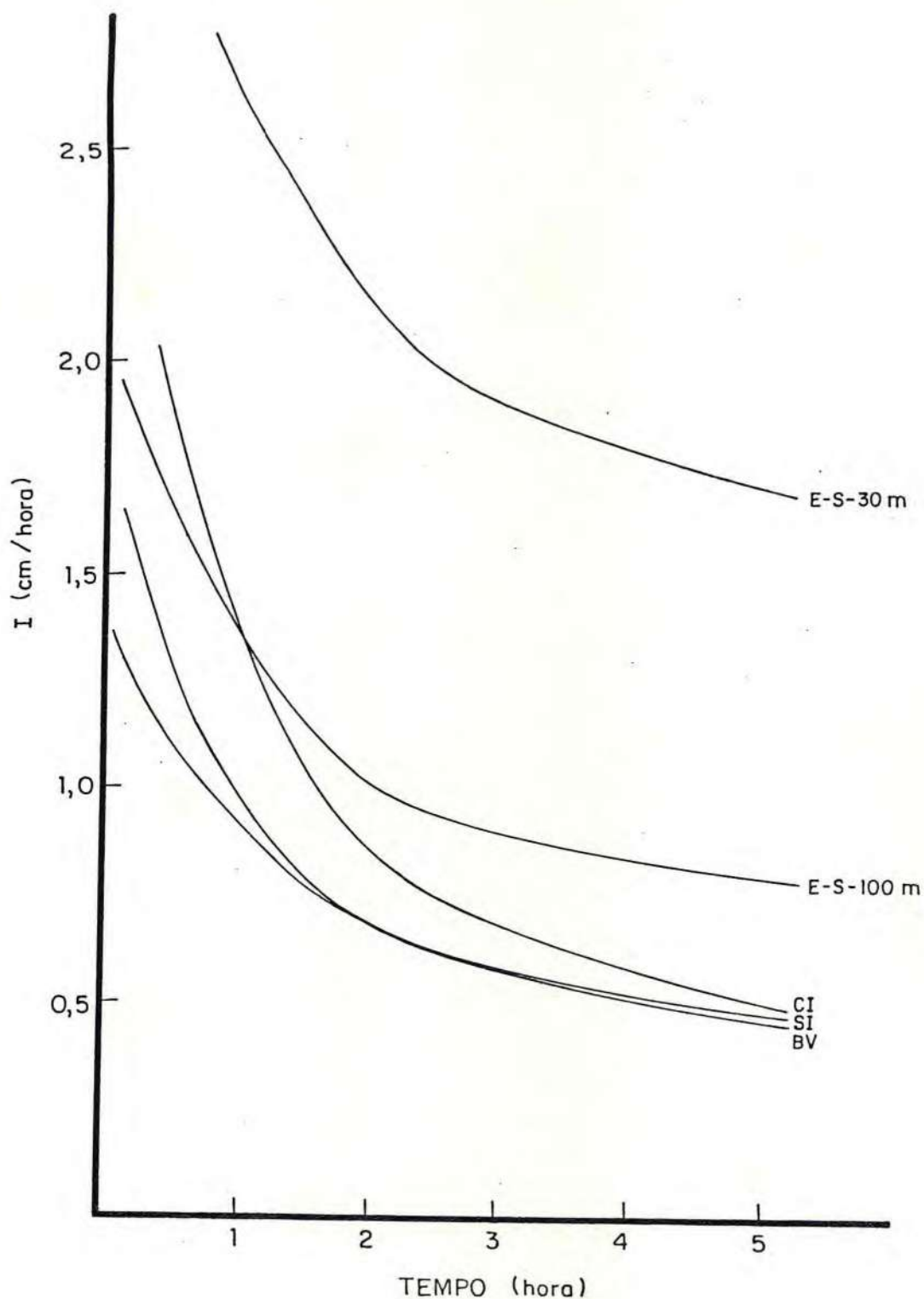


FIGURA 20 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV)- Teste nº 4

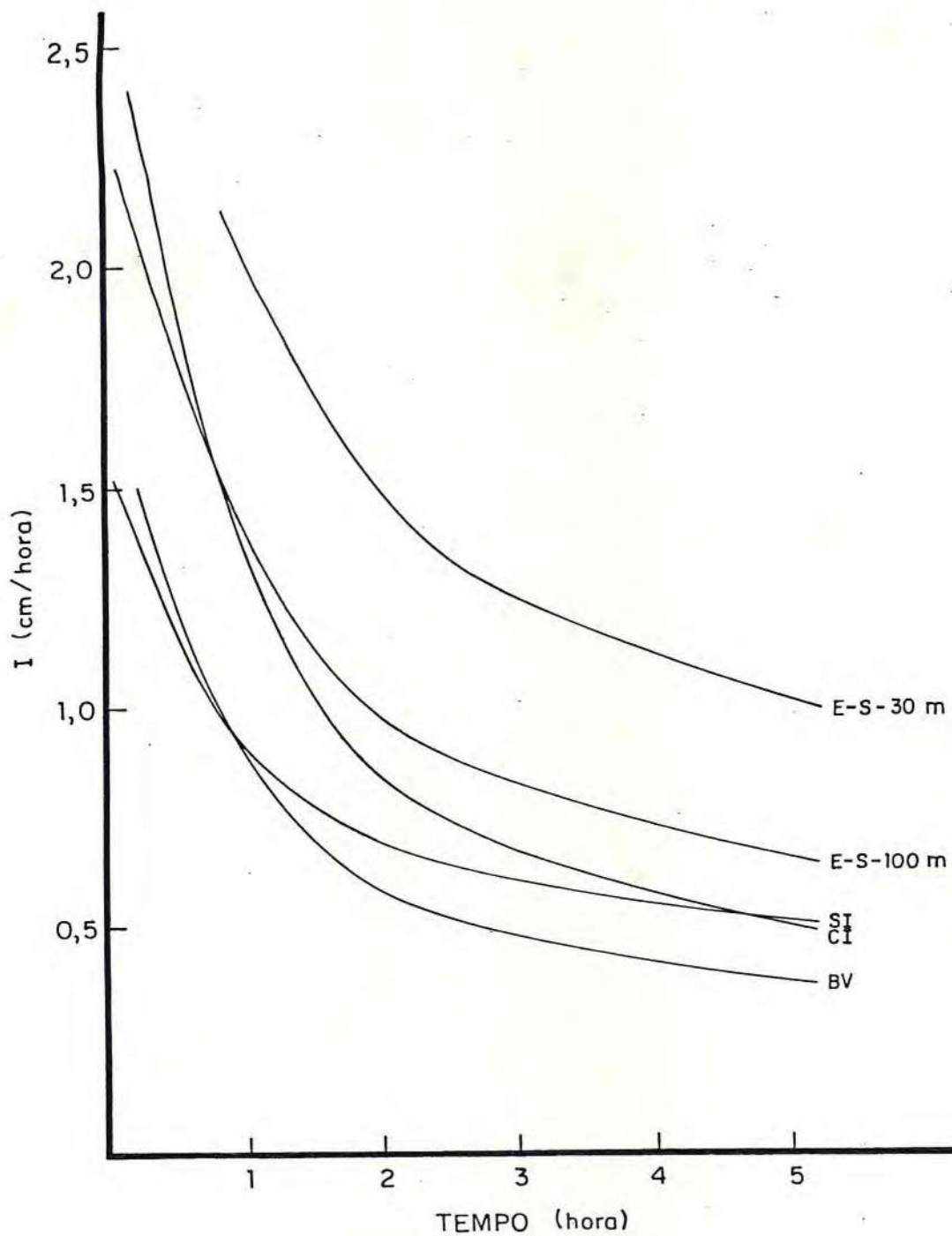


FIGURA 21 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 5

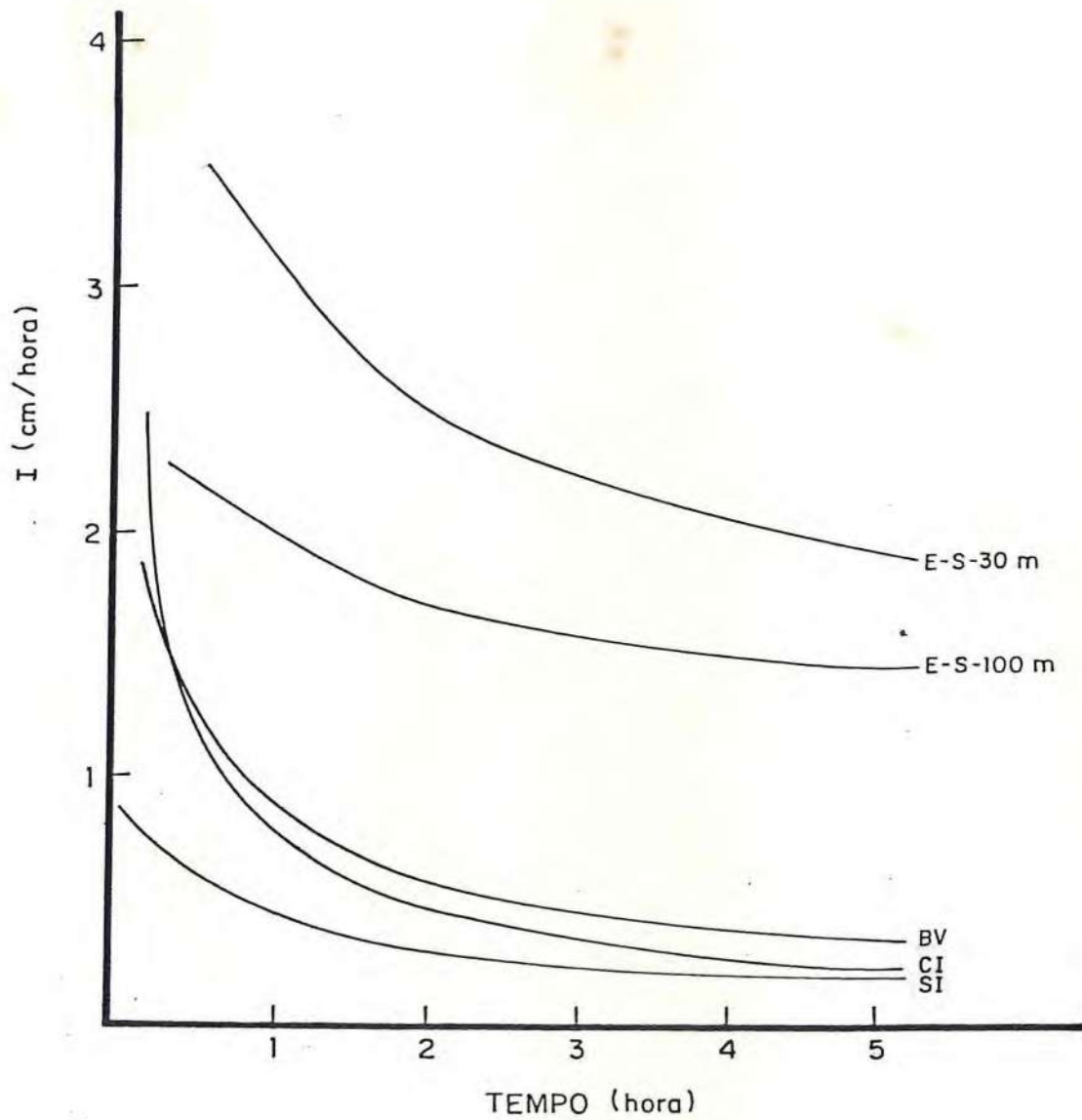


FIGURA 22 - Velocidade de Infiltração Vs Tempo Acumulado com as Técnicas do Cilindro Infiltrômetro (CI), Sulco Infiltrômetro (SI), Entrada e Saída com 100 m (E-S-100m), Entrada e Saída com 30 m (E-S-30m) e Balanço de Volume (BV) - Teste nº 6

TABELA 4 - Análise de Variância para os Valores Médios da Constante Numérica "k".

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F
Tratamento	4	0,3276	33,16*
Resíduo	25	0,00988	
T O T A L	29	-	-

C.V = 29,23%

* = Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 5 - Análise de Variância para os Valores Médios da Constante Numérica "a".

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F
Tratamento	4	0,0615	7,53*
Resíduo	25	0,00817	
T O T A L	29	-	-

C.V = 16,99%

* = Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

so (ALBUQUERQUE, 1980), para verificação de quais médias diferiam estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade (TABELA 6).

TABELA 6 - Valores Médios das Constantes Numéricas "k" e "a" da Equação de Infiltração Acumulada.

Constantes Numéricas	Cilindro Infiltrômetro	Sulco Infiltrômetro	E-S-30m	E-S-100m	B.V.
\bar{k}	0,74 a	0,14 c	0,33 b	0,26 bc	0,24 bc
\bar{a}	0,36 a	0,57 b	0,60 b	0,59 b	0,55 b

Nas linhas, as médias assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na TABELA 6 fica constatado que os valores médios de "k" e "a" do cilindro infiltrômetro diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade dos valores médios de "k" e "a" do balanço de volume. Fica mais uma vez evidenciado, que a técnica do cilindro infiltrômetro não expressa o fenómeno da infiltração na irrigação por sulcos, por não representar as condições normais da prática de irrigação. Este resultado é compatível com a recomendação de CRIDDLE et alii (1966).

Em que pese o fato das técnicas de entrada e saída e sulco infiltrômetro apresentarem alguma diferença em relação ao balanço de volume, a TABELA 6 revela que não há significância ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey, tanto para o valor médio de "k" como para o de "a". Isto pode ser atribuído ao fato de que as constantes numéricas para as técnicas em questão foram obtidas em um sulco real, com a infiltração ocorrendo no sentido vertical e horizontal simultaneamente, ao contrário do cilindro infiltrômetro em que somente o componente vertical atua. Este resultado confirma a recomendação de DAVIS e FRY (1963), os quais afirmam que o sulco infiltrômetro proporciona estimativas das constantes "k" e "a" mais acuradas que o cilindro infiltrômetro, porque a influência das paredes dos sulcos são levadas em consideração. Entretanto, esta técnica não proporciona condições para que o efeito da velocidade de fluxo e a subsequente orientação das partículas do solo sejam consideradas.

A TABELA 7 apresenta os conteúdos de umidade em base volumétrica, obtidos a partir dos dados da TABELA 9 (ANEXO "A"), e densidade do solo retirados da TABELA 1. Os conteúdos de umidade acima referidos, foram tomados imediatamente próximo ao local de instalação do cilindro e do sulco infiltrômetro, enquanto que para a técnica de entrada e saída foram obtidos no início, no meio e no final do sulco, sempre antes do início do teste.

TABELA 7 - Conteúdo de Água do Solo em Base Volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) obtidos antes do Início dos Testes.

Repetição	Cilindro Infiltrômetro	Sulco Infiltrômetro	Entrada e Saída-30m	Entrada e Saída-100m
1	0,122	0,116	0,131	0,104
2	0,138	0,137	0,154	0,134
3	0,143	0,140	0,160	0,140
4	0,151	0,142	0,164	0,166
5	0,153	0,151	0,180	0,170
6	0,164	0,163	0,193	0,195

Através da regressão linear foi determinado estatisticamente o efeito do conteúdo de água nas constantes numéricas k , a , k' e n apresentados anteriormente nas TABELAS 2 e 3. Os coeficientes de determinação (R^2) que aparecem na TABELA 8, juntamente com as equações que expressam k , a , k' e n em função de θ indicam que estas constantes não sofreram modificações com a mudança do conteúdo de água. Estes coeficientes de determinação calculados mostraram que, no máximo 60% da variação de " k " é explicado pela variação de umidade do solo, o que é um valor muito baixo.

Torna-se oportuno ressaltar, que os dados de conteúdo de água para os testes de balanço de volume nas repetições 2, 3 e 4, são os mesmos usados para o teste de entrada e saída com 100m de comprimento de sulco nas mesmas repetições. Para as repetições 1, 5 e 6 os dados de umidade foram

TABELA 8 - Efeito do Conteúdo de Água do Solo em Base Volumétrica (θ) Sobre os Valores de k , a , k' e n

Metodologia	$K(\theta)$	R	R^2	$a(\theta)$	R	R^2	$K'(\theta)$	R	R^2	$n(\theta)$	R	R^2
C.I.	$0,409\theta^{-0,304}$	0,446	0,199	$0,17\theta^{-4,21}$	0,50	0,250	$0,086\theta^{-1,33}$	0,50	0,250	$1,01\theta^{-0,233}$	0,51	0,260
S.I.	$0,053\theta^{-0,480}$	0,327	0,107	$0,730\theta^{-0,129}$	0,153	0,023	$0,686\theta^{-0,074}$	0,027	0,0007	$0,29\theta^{-0,191}$	0,174	0,304
E-S-30m	$0,124\theta^{-0,494}$	0,156	0,204	$2,52\theta^{-0,797}$	0,642	0,412	$18,60\theta^{1,15}$	0,54	0,290	$0,256\theta^{0,288}$	0,40	0,161
E-S-100m	$0,004\theta^{-2,14}$	0,775	0,60	$2,12\theta^{0,679}$	0,74	0,55	$2,56\theta^{0,288}$	0,40	0,160	$0,30\theta^{-1,34}$	0,715	0,511

C.I - Cilindro infiltrômetro

S.I - Sulco infiltrômetro

E-S-30m - Entrada e saída para 30 m de comprimento de sulco

E-S-100m - Entrada e saída para 100m de comprimento de sulco

tomados através da sonda de neutrons, que ainda se encontra em fase de calibração. Porém, deve ser relembrado, que todos os testes de infiltração foram realizados sempre que os tensiômetros, instalados no final dos sulcos, acusavam um consumo de 40% de água disponível, o que corresponde a um conteúdo de água de $0,180 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Desta maneira, é de se prever que o conteúdo de água era praticamente o mesmo para todos os testes, não influenciando na obtenção das constantes numéricas, como mostra a TABELA 8.

5 - CONCLUSÕES

De acordo com o que foi discutido, pode-se chegar as seguintes conclusões:

5.1 - A técnica do balanço de volume pela metodologia proposta por CHRISTIANSEN et alii (1966), foi a que apresentou a menor variabilidade de um teste para outro. Maior variabilidade foi observada para as técnicas do cilindro infiltrômetro e entrada e saída para 100 e 30m de comprimento de sulco.

5.2 - O maior valor da constante "k" e o menor valor da constante "a", da equação de infiltração acumulada de KOSTIAKOV, foram obtidas com a técnica do cilindro infiltrômetro, em virtude do seu processo de instalação.

5.3 - A técnica de entrada e saída superestima a infiltração em relação do balanço de volume, devido o efeito bloqueador do instrumento utilizado para medição de vazão na saída do sulco. Os maiores valores de lâminas infiltradas foram obtidos com a técnica de entrada e saída para 30 m de comprimen-

to de sulco, em função deste pequeno segmento não levar em consideração a variabilidade espacial do solo estudado.

5.4 - A técnica do sulco infiltrômetro subestimou a infiltração em relação ao balanço de volume. Isto se deve ao fato de que o sulco infiltrômetro não leva em consideração o movimento da água, e assim, as menores partículas do solo não permanecem em suspensão, podendo bloquear parte dos espaços porosos.

5.5 - Os valores médios de "k e a" do cilindro infiltrômetro diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, da técnica de balanço de volume, por não representar as condições normais da prática de irrigação.

5.6 - As técnicas de entrada e saída e sulco infiltrômetro, não apresentaram diferenças significativas, dos valores médios de "k e a", ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, da técnica do balanço de volume, em função dessas constantes serem obtidas em um sulco real, com a infiltração ocorrendo no sentido vertical e horizontal, simultaneamente.

5.7 - O conteúdo inicial de água do solo, nas condições de estudo, não interferiu na obtenção das constantes "k e a",

"k" e "n" das equações de infiltração acumulada e velocidade de infiltração, respectivamente.

6 - RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados alcançados nestes estudo, o autor faz as seguintes recomendações:

6.1 - Para estudos de avaliação da irrigação por sulcos onde determinações mais precisas das características de infiltração são necessárias, recomenda-se a técnica do balanço de volume.

6.2 - É recomendado estudar a técnica do balanço de volume, através de metodologias propostas por outros autores, com a lâmina média superficial obtida diretamente no campo. Assim sendo, torna-se necessário medir a área da seção transversal do sulco em todas as estações por meio de um perfilômetro, antes do início da irrigação e, durante a fase de avanço, as diversas medições da largura da superfície livre da água (B).

6.3 - As medições da largura da superfície livre da água (B) devem seguir a seguinte ordem: quando a frente de avanço atingir a 1^a estação, faz-se a medição de B na estação "zero"; quando a frente de avanço atingir a 2^a estação, faz-se as medições de B na 1^a e na estação "zero", e assim sucessivamen

te.

6.4) - Deve-se desenvolver uma equação de infiltração acumulada, que considere o importante efeito da lâmina superficial na irrigação por sulcos.

6.5) - É recomendado estudar a influência exercida pelo espaçamento entre sulcos, no processo de obtenção das constantes numéricas "k" e "a" da equação de infiltração acumulada de KOSTIAKOV.

7 - LITERATURA CITADA

- ABID. Dicionário de Termos Técnicos de Irrigação e Drenagem. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária, 1978. 615 p.
- ALBUQUERQUE, J.J.L. - Estatística Experimental. Centro de Ciências. Departamento de Estatística e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE., 1980.
- ARONOVICI, V.S. - Model Study of Ring Infiltrometer Performance Under Low Initial Soil Moisture. Soil Science Society of American Proceeding, Madison, Wic. 19:1-6. 1955.
- ✓ AUGUSTO, S.G. - Estudo da Eficiência e da Uniformidade de Distribuição da Água na Irrigação por Sulcos em Declive. Fortaleza, CE. 1984. 130 p. Tese de Mestrado em Agronomia.
- AZEVEDO, H.M.; CARVALHO, H.O.; MILLAR, A.A. - Características da Infiltração em Sulcos Abertos e Fechados. In: Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, 3. Fortaleza. 1975. Anais. V. 4., p. 30-38.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. - Física del Suelos (Soil Physics). México, Union Tipográfica Editorial Hispano-America, 1973. 529 p.
- BERNARDO, S. - Manual de Irrigação. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1982. 463 p.

- BERTRAND, A.R. - Rate of Water Intake in the Field. In: Black, C.A., Ed. Methods of Soil Analysis. Part I, Madison, ASA,
- ✓ BONDURANT, J.A. - Developing Furrow Infiltrometer. Agricultural Engineering, St. Joseph Michigan, 38(8):602-604. 1957.
- BOUWER, H. - A Study of Final Infiltration Rates from Cylinder Infiltrometers and Irrigation Furrows with an Electrical Resistance Network. In: International Congress of Soil Science, 7^o, Madison, 1960. Transactions.....Madison, Wis. p. 448-56. 1960.
- BROWNING, G.M. - Volume Change of Soils in Relation to Their Infiltration Rates. Soil Science Society of American Proceedings. Morgantown, 4:23-27. 1939.
- ✓ CHRISTIANSEN, J.E.; BISHOP, A.A.; KIEFER, F.W. & FOK, YU-SI. - Evaluation of Intake Rate Constants to Related to Advance of Water in Surface Irrigation. Transactions of the American Society Agricultural Engineers, Chicago, p.671-674. 1966.
- COELHO, M.A. - Características de Umidade de Alguns Solos de Aluvião: Normais, Sódicos e Sódicos-Salinos. Rio de Janeiro. 1971. 113 p. Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- ✓ CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H. & SHOCKLEY, D.G. - Methods of Evaluating Irrigation Systems. Washington. Agricultural Handbook nº 82, SCS-USDA, 1956.
- DAKER, A. - A Água na Agricultura. Irrigação e Drenagem. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, V. 3. 1976.
- ✓ DAVIS, J.R. & FRY, A.W. - Measurement of Irrigation Rates

in Irrigated Furrows. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, California, 6(4):318-19. 1963.

✓ DIELBOLD, C.H. - Permeability and Intake Rates of Medium Textural Soil in Relation to Content and Degree of Compactation. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, Wis, 18:339-43. 1954.

ELLIOTT, R.L.; WALKER, W.R. - Field Evaluation of Furrow Infiltration and Advance Functions. Transactions of the American Society Agricultural Engineers, p.333-338. 1982.

✓ ERIE, L.J. - Evaluations of Infiltration Measurements. Transactions of the American Society Agricultural Engineers, Arizona, p. 11-13. 1962.

✓ ESPÍNOLA, F.C.S. - Comparação de Métodos de Infiltração de Água no Solo. Santa Maria, RS, 1977. 88 p. Tese de Mestrado em Engenharia Rural.

FANGMEIER, D.D.; RAMSEY, M.K. - Intake Characteristical of Irrigation Furrows. Transaction of the American Society Agricultural Engineers. p. 696-700. 1978.

FOK, YU-SI. - A Study of Two-Dimensional Infiltration. Transaction of the American Society Agricultural Engineers. Chicago, p. 676-677. 1970.

HILLEL, D. - Solo e Água - Fenômeno e Princípios Físicos (Soil and Water Physical Principles and Processes). Porto Alegre, RS, Departamento de Solos da UFRGS, 1970. 231 p.

HORTON, R.E. - An Approach Toward a Physical Interpretation of

Infiltration - Capacity . Soil Science Society of American Proceedings. Morgantown, 5:399-17. 1940.

ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. - Irrigation Principles and Practices, 2nd Ed. New York, John Wiley & Sons, 396 p. 1956.

✓ KARMELI, D.; SALAZAR, J.L. & WALKER, W.R. - Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Applications. Colorado, USA, Department of Agricultural and Chemical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, 1978. 201 p.

KEMPER, W.D.; RUFFING, B.J. & BONDURANT, J.A. - Furrow Intake Rates and Water Management. Transaction of the American Society Agricultural Engineers, p. 333-338. 1982.

LEWIS, M.R. - The Rate of Infiltration of Water in Irrigation-Pratice. Transaction of the American Geophysical Union, 18:361-368. 1937.

✓ MERRIAM, J.L. - Irrigation System Evaluation and Improvement. Polytecnic College, California, 1968. 57 p.

MONTENEGRO, H.S. - Determinação da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) em Solos de Terraço na Bacia do Rio Turvo Sujo. Viçosa, MG. 1975. 42 p. Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola.

✓ NANCE, Jr.; L.A. & LAMBERT, J.L. - A Modified Inflow-Outflow Methods of Measuring Infiltration in Furrow Irrigation. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, Logan, Utah. p. 792-794. 1970.

- OLITTA, A.F.L. - Os Métodos de Irrigação. Livraria Nobel. São Paulo. 1977. 267 p.
- PHILIP, J.R. - The Theory of Infiltration: 5. Influence of the Initial Moisture Content. Soil Sci. '§:329-339. 1975.
- RAMSEY, M.K. - "Intake Characteristics and Flow Resistance in Irrigation Furrows". Thesis Presented to the University of Arizona in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Tucson, USA, University of Arizona, 1976. 141 p.
- REICHARDT, K. - Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. 3 Ed. Rev., Piracicaba, SP. Centro de Energia Nuclear na Agricultura e Fundação Cargill. 1975. 285 p.
- REZENDE, F.C. e SCALOPPI, J.E. - Avaliação de Métodos para Determinação das Características de Infiltração em Sulcos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 20(2):227-233. 1985.
- ✓ SHOCKLEY, D.G.; PHELAN, J.T.M LASHON, L.F.; HAISE, H.R.; DONNAN, W.W. & MYERS, L.E. - A Method for Determining Intake Characteristics of Irrigation Furrows. Agricultural Research Service and Conservation Service. United States Department of Agriculture. Logan, Utah, 10 p. 1959.
- SHULL, H. - A By-Pass Furrow Infiltrometer. Transaction of the American Society Agricultural Engineers. - Chicago, 4(1):15-17. 1961.
- ✓ SINGH, P. & CHAUHAM, H.S. - Determination of Water Intake Rate from of Advance. Transaction of the American Society

of Agricultural Engineers. 16(6):1081-1084. 1973.

SLATER, C.S. - Cylinder Infiltrometers for Determining Rates of Irrigation. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, Wis, 21:457-60. 1957.

SMERDON, E.T. - Subsurface Water Distribution in Surface Irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, 1963. 90(1):1-15.

✓ SOUZA, F. de. - Nonlinear Hydrodynamic Model of Furrow Irrigation. Dissertation Submitted in Partial Satisfaction for the Degree of DOCTOR of PHILOSOPHY, Davis, USA, University of California, 1981. 172 p.

STRELKOFF, T. & SOUZA, F. - Modeling effect of Depth on Furrow Infiltration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 110(4):375-387. 1984

SWARTZENDRUBER, D. & HILLEL, D. - The Physics of Infiltration. In: Hadas, A et alii, Eds. Physical Aspects of Soil Water and Salts in Ecosystems. Springer-Verlag-Berlin. Cap. 1, 5, 15. 1973.

SWARTZENDRUBER, D. & OSOLON, T.C. - Sand Model Study of Buffer Effects in Daublering Infiltrometer. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, Wis. 25:5-8. 1961.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. - Hidrologia Aplicada. Livraria McGraw-Hill do Brasil. 243 p. 1975.

WISLER, C.O. & BRATER, E.F. - Hydrology. 2nd Ed. New York, John Wiley & Sons, 408 p. 1965.

A N E X O " A "

TABELA 9 - Conteúdo de Umidade em Base a Peso Seco (%) Obtido a Partir dos Dados Experimentais

Cilindro Infiltrômetro	Sulco Infiltrômetro	Entrada-Saída* 30 m	Entrada-Saída* 100 m
8,58	7,20	11,99	8,61
10,20	8,81	8,15	8,34
8,88	8,70	10,16	10,31
9,35	9,36	9,59	6,43
9,48	10,12	11,15	10,53
7,60	8,5	9,92	12,10

* Média para Três Repetições

A N E X O " B "

TABELA 10 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro para a Obtenção da Equação de Projeto

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
8:00	00	000	2,0	0,0	0,0
8:01	01	001	2,5	0,5	0,5
8:03	02	003	2,9	0,4	0,9
8:06	03	006	3,2	0,3	1,2
8:11	05	011	3,5	0,3	1,5
8:16	05	016	3,8	0,3	1,8
8:26	10	026	4,1	0,3	2,1
8:36	10	036	4,5	0,4	2,5
8:51	15	051	4,7	0,2	2,7
9:06	15	066	5,1/4,0	0,4	3,1
9:36	30	096	4,5	0,5	3,6
10:06	30	126	4,6/3,2	0,1	3,7
10:36	30	156	3,4	0,2	3,7
11:06	30	186	3,5	0,1	4,0

TABELA 11 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro In-Filtrômetro.

Teste Nº: 1

Data: 16.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
13:40	00	000	2,3	0,0	0,0
13:41	01	001	3,0	0,7	0,7
13:43	02	003	3,3	0,3	1,0
13:46	03	006	3,6	0,3	1,3
13:51	05	011	4,0	0,4	1,7
13:56	05	016	4,2	0,2	1,9
14:06	10	026	4,5	0,3	2,2
14:16	10	036	4,7	0,2	2,4
14:31	15	051	5,2/3,8	0,5	2,9
14:46	15	066	4,0	0,2	3,1
15:16	30	096	4,3	0,3	3,4
15:46	30	126	4,6/3,4	0,3	3,7
16:16	30	156	3,6	0,2	3,9

TABELA 12 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro.

Teste Nº: 2

Data: 25.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
14:00	00	000	2,0	0,0	0,0
14:01	01	001	2,6	0,6	0,6
14:03	02	003	3,0	0,4	1,0
14:06	03	006	3,3	0,3	1,3
14:11	05	011	3,6	0,3	1,6
14:21	10	021	3,8	0,2	1,8
14:31	10	031	4,0	0,2	2,0
14:46	15	046	4,2	0,2	2,2
15:01	15	061	4,6/3,4	0,4	2,6
15:31	30	091	3,5	0,1	2,7
16:01	30	121	3,9	0,4	3,1
16:31	30	151	4,1	0,2	3,3
17:01	30	181	4,3	0,2	3,5

TABELA 13 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro In
filtrômetro

Teste Nº: 3

Data: 25.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
7:09	00	000	3,1	0,0	0,0
7:10	01	001	3,8	0,7	0,7
7:12	02	003	4,1	0,3	1,0
7:15	03	006	4,3	0,2	1,2
7:20	05	011	4,6	0,3	1,5
7:25	05	016	4,8	0,2	1,7
7:30	05	021	5,0	0,2	1,9
7:40	10	031	5,3/3,4	0,3	2,2
7:50	10	041	3,7	0,3	2,5
8:00	10	051	3,9	0,2	2,7
8:15	15	066	4,1	0,2	2,9
8:30	15	081	4,2	0,1	3,0
8:53	23	104	4,4	0,2	3,2
9:10	17	121	4,4	0,0	3,2
9:40	30	151	4,6	0,2	3,4
10:10	30	181	4,6	0,0	3,4
10:40	30	211	4,7	0,1	3,5

TABELA 14 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro.

Teste Nº: 4

Data: 25.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
7:16	00	000	1,1	0,0	0,0
7:17	01	001	1,9	0,8	0,8
7:19	02	003	2,4	0,5	1,3
7:22	03	006	2,6	0,2	1,5
7:27	05	011	3,0	0,4	1,9
7:32	05	016	3,1	0,1	2,0
7:42	10	026	3,3	0,2	2,2
7:52	10	036	3,9	0,6	2,8
8:07	15	051	4,3/3,0	0,4	3,2
8:22	15	066	3,4	0,4	3,6
8:52	30	096	4,2	0,8	4,4
9:22	30	126	4,5	0,3	4,7
9:52	30	156	5,0/2,5	0,5	5,2
10:22	30	186	2,7	0,2	5,4
10:52	30	216	3,2	0,5	5,9

TABELA 15 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro.

Teste Nº: 5

Data: 06.11.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
7:03	00	000	1,6	0,0	0,0
7:04	01	001	2,5	0,9	0,9
7:06	02	003	2,9	0,4	1,3
7:09	03	006	3,1	0,2	1,5
7:14	05	011	3,4	0,3	1,8
7:19	05	016	3,6	0,2	2,0
7:29	10	026	4,0	0,4	2,4
7:39	10	036	4,4	0,4	2,8
7:54	15	051	5,0/2,3	0,6	3,4
8:09	15	066	2,5	0,2	3,6
8:39	30	096	3,5	1,0	4,6
9:09	30	126	3,9	0,4	5,0
9:39	30	156	4,3	0,4	5,4
10:09	30	186	4,6	0,3	5,8
10:39	30	216	4,9	0,3	6,1

TABELA 16 - Teste de Infiltração Realizado com o Cilindro Infiltrômetro.

Teste Nº: 6

Data: 21.11.84.

Local: Fazenda Experimental

Hora	Tempo Instant. (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Lâmina Instant. (cm)	Lâmina Acumulada (cm)
6:55	00	000	2,0	0,0	0,0
6:56	01	001	2,9	0,9	0,9
6:58	02	003	3,3	0,4	1,3
7:01	03	006	3,5	0,2	1,5
7:06	05	011	4,0/1,8	0,5	2,0
7:11	05	016	2,1	0,3	2,3
7:21	10	026	2,4	0,3	2,6
7:31	10	036	3,0	0,4	3,0
7:46	15	051	3,5	0,5	3,5
8:01	15	066	3,9/2,5	0,4	3,9
8:31	30	096	3,5	1,0	4,9
9:01	30	126	4,0/2,5	0,5	5,4
9:31	30	156	3,1	0,6	6,0
10:01	30	186	3,6	0,5	6,5
10:31	30	216	4,0	0,4	6,9

TABELA 17 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infil-
trômetro.

Teste Nº: 1

Data: 10.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	Volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
13:55	00	000	11,0	0,000	0,0000
13:59	04	004	13,0	3,150	0,3150
14:02	03	007	13,2	0,315	0,0315
14:07	05	012	14,0	1,260	0,1260
14:12	05	017	14,8	1,260	0,1260
14:22	10	027	15,8	1,575	0,1575
14:32	10	037	16,1	0,472	0,0472
14:47	15	052	17,0	1,417	0,1417
15:02	15	067	18,0	1,575	0,1575
15:22	20	087	19,1	1,736	0,1736
15:42	20	107	20,5	2,205	0,2205
16:12	30	137	21,9	2,205	0,2205
16:42	30	167	23,4	2,363	0,2363
17:12	30	197	24,5	1,733	0,1733
17:42	30	227	25,4	1,418	0,1418

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,575 l.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a:

$$\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}} \quad (\text{lâmina infiltrada})$$

TABELA 18 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro.

Teste Nº: 2

Data: 17.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
6:54	00	000	15,0	0,00	0,000
6:57	03	003	17,0	3,15	0,315
7:02	05	008	18,1	1,73	0,173
7:07	05	013	19,2	1,73	0,173
7:17	10	023	20,9	2,70	0,270
7:27	10	033	21,1	0,32	0,320
7:42	15	048	23,3	3,47	0,347
7:57	15	063	24,1	1,26	0,126
8:27	30	093	26,8	4,25	0,425
8:57	30	123	29,1	3,62	0,362
9:27	30	153	30,8	2,68	0,268
9:57	30	183	33,0	3,47	0,347
10:27	30	213	34,2	1,89	0,189
10:57	30	243	36,0	2,84	0,284

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,575 l.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a: $\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}}$ (lâmina infiltrada)

TABELA 19 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro.

Teste Nº: 3

Data: 25.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	Volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
7:10	00	000	19,00	0,00	0,0000
7:13	03	003	20,30	2,048	0,2048
7:16	03	006	21,70	2,205	0,2205
7:23	07	013	23,00	2,048	0,2048
7:29	06	019	24,10	1,733	0,1733
7:34	05	024	24,30	0,315	0,0315
7:44	10	034	25,80	2,363	0,2363
7:54	10	044	26,90	1,733	0,1733
8:09	15	059	27,90	1,575	0,1575
8:24	15	074	30,20	3,623	0,3623
9:02	36	110	32,50	3,623	0,3623
9:32	30	140	35,30	4,410	0,4410
10:02	30	170	37,00	2,678	0,2678
10:32	30	200	40,00	5,271	0,5271
11:52	20	220	40,90	1,418	0,1418

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,575 ℓ.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a: $\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}}$ (lâmina infiltrada)

TABELA 20 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro.

Teste Nº: 4

Data: 30.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	Volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
7:56	00	000	13,0	0,00	0,000
7:59	03	003	14,2	1,89	0,189
8:04	05	008	15,7	2,36	0,236
8:09	05	013	17,3	2,52	0,252
8:19	10	023	18,7	2,21	0,221
8:29	10	033	19,6	1,42	0,142
8:44	15	048	21,0	2,21	0,221
8:59	15	063	22,5	2,36	0,236
9:29	30	093	24,8	3,62	0,362
9:59	30	123	27,0	3,47	0,347
10:29	30	153	29,3	2,62	0,362
10:59	30	183	31,90	4,10	0,410

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,575 l.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a: $\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}}$ (lâmina infiltrada)

TABELA 21 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro.

Teste Nº: 5

Data: 31.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	Volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
7:33	00	000	22,0	0,000	0,0000
7:35	02	002	23,50	2,367	0,2367
7:38	03	005	23,70	0,316	0,0316
7:45	07	012	25,10	2,209	0,2209
7:50	05	017	25,50	0,631	0,0631
7:55	05	022	25,50	0,000	0,0000
8:05	10	032	26,10	0,947	0,0947
8:15	10	042	27,20	1,736	0,1736
8:30	15	057	27,90	1,105	0,1105
8:45	15	072	28,20	0,473	0,0473
9:00	15	087	29,20	1,578	0,1578
9:30	30	117	30,70	2,367	0,2367
10:00	30	147	32,10	2,209	0,2209
10:30	30	177	36,00	6,154	0,6154
11:00	30	207	38,00	3,156	0,3156

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,578 ℓ.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a:

$$\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}} \quad (\text{lâmina infiltrada})$$

TABELA 22 - Teste de Infiltração Realizado com o Sulco Infiltrômetro.

Teste Nº: 6

Data: 06.11.84.

Local: Fazenda Experimental

Vale do Curu

Hora	Tempo		Leitura no Tambor (cm)	Volume Infilt. (litros)	Lâmina Infiltrada (cm)
	Instant. (min)	Acumulado (min)			
7:36	00	000	16,0	0,000	0,0000
7:39	03	003	18,8	4,410	0,4410
7:42	03	006	19,0	0,315	0,0315
7:47	05	011	20,0	1,575	0,1575
7:52	05	016	21,4	2,205	0,2205
8:02	10	026	22,0	0,945	0,0945
8:12	10	036	23,80	28,35	0,2835
8:27	15	051	26,0	3,465	0,3465
8:42	15	066	27,30	2,058	0,2048
9:12	30	096	31,80	7,088	0,7088
9:42	30	126	34,80	4,725	0,4725
10:12	30	156	38,10	5,198	0,5198
10:42	30	186	41,80	5,828	0,5828
11:12	30	216	45,50	5,828	0,5828

Uma diferença de 1 cm de nível de água no tambor, neste caso corresponde ao volume de 1,575 l.

A parte do sulco tem 1,0 metro de comprimento. Para o espaçamento de 1,0 metro entre sulcos, o volume de um litro corresponde a:

$$\frac{0,001 \text{ m}^3}{\text{área do sulco infiltrômetro}} \quad (\text{lâmina infiltrada})$$

TABELA 23 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 1

Data: 15.10.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 4

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "10"	(l/s/100m)	mm/h
13:35	000		-	-	-
14:07	032		0,10	0,55	19,80
14:12	037		0,23	0,42	15,12
14:22	047		0,25	0,40	14,40
14:32	057		0,33	0,32	11,52
14:47	072		0,33	0,32	11,52
15:02	087		0,34	0,31	11,16
15:17	102	0,65	0,36	0,29	10,44
15:32	117		0,38	0,27	9,72
15:47	132		0,38	0,27	9,72
16:02	147		0,38	0,27	9,72
16:17	162		0,42	0,23	8,28
16:32	177		0,42	0,23	8,28
16:47	192		0,42	0,23	8,28
17:04	209		0,42	0,23	8,28

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 24 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 2

Data: 05.11.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº 4

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "10"	(l/s/100m)	mm/h
14:02	000		-	-	-
14:45	043		0,10	0,52	18,72
15:50	048		0,18	0,44	15,84
14:55	053		0,24	0,38	13,68
15:05	063		0,28	0,34	12,24
15:15	073		0,32	0,30	10,80
15:30	088		0,33	0,29	10,44
15:45	103	0,62	0,36	0,26	9,36
16:00	118		0,40	0,22	7,92
16:15	133		0,40	0,22	7,92
16:30	148		0,40	0,22	7,92
16:45	163		0,40	0,22	7,92
17:00	178		0,40	0,22	7,92
17:15	193		0,42	0,20	7,20
17:30	208		0,42	0,20	7,20
17:42	223		0,42	0,20	7,20

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 25 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 3

Data: 26.11.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 4

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "10"	(l/s/100m)	mm/h
08:37	000		-	-	-
09:15	038		0,06	0,55	19,80
09:18	041		0,10	0,51	18,36
09:23	046		0,18	0,43	15,48
09:28	051		0,20	0,41	14,76
09:38	061		0,23	0,38	13,68
09:48	071		0,26	0,35	12,60
10:03	086		0,28	0,33	11,88
10:18	101	0,61	0,29	0,32	11,52
10:33	116		0,32	0,29	10,44
10:48	131		0,33	0,28	10,08
11:03	146		0,34	0,27	9,72
11:18	161		0,34	0,27	9,72
11:33	176		0,34	0,27	9,72
11:48	191		0,32	0,29	10,44
12:03	206		0,33	0,28	10,08
12:13	221		0,33	0,28	10,08

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 26 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 4

Data: 03.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 4

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Entrada "10"	(l/s/100m)	mm/h
08:11	000		-	-	-
08:56	045		0,10	0,65	23,40
09:01	050		0,18	0,57	20,52
09:06	055		0,22	0,53	19,08
09:16	065		0,28	0,47	16,92
09:26	075		0,30	0,45	16,20
09:41	090	0,75	0,27	0,48	17,28
09:56	105		0,23	0,52	18,72
10:11	120		0,28	0,47	16,92
10:26	135		0,28	0,47	16,92
10:41	150		0,28	0,47	16,92
10:56	165		0,28	0,47	16,92
11:11	180		0,30	0,45	16,20

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 27 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 5

Data: 18.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 4

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "10"	(l/s/100m/	mm/h
14:02	000		-	-	-
14:54	052		0,33	0,57	20,52
14:57	055		0,08	0,52	18,72
15:00	058		0,12	0,48	17,21
15:05	063		0,14	0,46	16,56
15:10	068		0,18	0,42	15,12
15:20	078		0,22	0,38	13,68
15:30	088	0,9	0,24	0,46	12,96
15:45	103		0,25	0,35	12,60
16:00	118		0,34	0,26	9,36
16:15	133		0,28	0,32	11,52
16:30	148		0,29	0,31	11,16
16:45	163		0,30	0,30	10,80
17:00	178		0,32	0,28	10,08
17:02	180		0,30	0,30	10,80

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 28 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 6

Data: 19.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 5

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "10"	(l/s/100m)	mm/h
14:00	000		-	-	-
14:42	042		0,04	0,56	20,16
14:45	045		0,14	0,46	16,56
14:50	050		0,20	0,40	14,40
14:55	055		0,21	0,39	14,04
15:05	065		0,24	0,36	12,96
15:15	075	0,60	0,28	0,32	11,52
15:30	090	0,60	0,30	0,30	10,80
15:45	105	0,60	0,32	0,28	10,08
16:00	120	0,60	0,33	0,27	9,72
16:15	135	0,60	0,33	0,27	9,72
16:30	150	0,60	0,34	0,26	9,36
16:45	165	0,60	0,34	0,26	9,36
17:00	180	0,60	0,33	0,27	9,72

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "10".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 29 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 1

Data: 16.10.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
07:36	000		-	-	-
07:43	007		0,12	0,57	68,40
07:46	010		0,24	0,45	54,00
07:51	015		0,34	0,35	42,00
08:10	025		0,35	0,34	40,80
08:11	035		0,44	0,25	30,00
08:26	050		0,38	0,31	37,20
08:41	065	69,0	0,44	0,25	30,00
08:56	080		0,49	0,20	24,00
09:11	095		0,48	0,21	25,20
09:26	110		0,48	0,21	25,20
09:41	125		0,51	0,18	21,60
09:56	140		0,46	0,23	27,60
10:11	155		0,48	0,21	25,20
10:26	170		0,48	0,21	25,20
10:41	185		0,48	0,21	25,20

* - Medição feita com cronômetro digital, com precisão de 1 minuto.

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 30 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 2

Data: 04.11.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
07:19	000		-	-	-
07:28	009		0,26	0,44	52,80
07:30	011		0,38	0,32	38,40
07:35	016		0,52	0,18	21,60
07:40	021		0,61	0,09	10,80
07:50	031		0,63	0,07	8,40
08:00	041	0,70	0,61	0,10	10,80
08:15	056		0,60	0,07	12,00
08:30	071		0,63	0,07	8,40
08:45	086		0,63	0,07	8,40
09:00	101		0,63	0,07	8,40
09:15	116		0,63	0,07	8,40
09:30	131		0,63	0,07	8,40
09:45	146		0,63	0,07	8,40
10:00	161		0,63	0,07	8,40
10:15	176		0,63	0,07	8,40
10:19	180		0,63	0,07	8,40

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "03".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 31 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 3

Data: 13.11.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
14:17	000		-	-	-
14:28	011		0,27	0,42	50,40
14:31	014		0,34	0,35	42,00
14:36	019		0,35	0,34	40,80
14:41	024		0,47	0,22	26,40
14:51	034		0,49	0,20	24,00
15:01	044		0,49	0,20	24,00
15:16	059		0,49	0,20	24,00
15:31	074	0,69	0,49	0,20	24,00
15:46	089		0,51	0,18	21,60
16:01	104		0,51	0,18	21,60
16:16	119		0,51	0,18	21,60
16:31	134		0,51	0,18	21,60
16:46	149		0,51	0,18	21,60
17:01	164		0,51	0,18	21,60
17:16	180		0,51	0,18	21,60

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "03".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 32 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 4

Data: 03.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
13:57	000		-	-	-
14:05	008		0,12	0,58	69,60
14:07	010		0,22	0,48	57,60
14:12	015		0,33	0,37	44,40
14:17	020		0,33	0,37	44,40
14:27	030		0,38	0,32	38,40
14:37	040		0,47	0,23	27,60
14:52	055	0,70	0,54	0,16	19,20
15:07	070		0,58	0,12	14,40
15:22	085		0,58	0,12	14,40
15:38	100		0,56	0,14	16,80
15:52	115		0,54	0,16	19,20
16:07	130		0,52	0,18	21,60
16:22	145		0,56	0,14	16,80
16:37	160		0,56	0,14	16,80
16:52	175		0,59	0,11	13,20
16:57	180		0,59	0,11	13,20

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "03".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 33 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo D'Água.

Teste Nº: 5

Data: 19.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
06:51	000		-	-	-
07:00	009		0,08	0,05	62,40
07:02	011		0,12	0,48	57,60
07:07	016		0,32	0,28	33,60
07:12	021		0,38	0,22	26,40
07:22	031		0,43	0,17	20,40
07:32	041	0,60	0,45	0,15	18,00
07:47	056		0,47	0,13	15,60
08:02	071		0,45	0,15	18,00
08:17	086		0,47	0,13	15,60
08:32	101		0,47	0,13	15,60
08:47	116		0,47	0,13	15,60
09:02	131		0,47	0,13	15,60
09:17	146		0,47	0,13	15,60
09:32	161		0,48	0,12	14,40
09:47	176		0,48	0,12	14,40
09:51	180		0,48	0,12	14,40

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "03".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 34 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica de Entrada e Saída do Fluxo d'Água.

Teste Nº: 6

Data: 20.12.84.

Local: Fazenda Experimental Vale do Curu

Bateria Nº: 6

Hora	Tempo* (min)	Vazão (l/s)**		Infiltração (I)	
		Entrada Estação "00"	Saída Estação "03"	(l/s/30 m)	mm/h
06:47	000		-	-	-
06:54	007		0,11	0,49	58,80
06:56	009		0,21	0,39	46,80
07:00	013		0,29	0,31	37,20
07:50	018		0,37	0,23	27,60
07:15	028		0,43	0,17	20,40
07:25	038		0,43	0,17	20,40
07:40	053	0,60	0,45	0,15	18,00
07:55	068		0,45	0,15	18,00
08:10	083		0,48	0,12	14,40
08:25	098		0,48	0,12	14,40
08:40	113		0,48	0,12	14,40
08:55	128		0,50	0,10	12,00
09:10	143		0,48	0,12	14,40
09:25	158		0,48	0,12	14,40
09:40	173		0,50	0,10	12,00
09:47	180		0,50	0,10	12,00

* - Considerou-se o tempo "00" quando a frente de avanço atingiu a metade do percurso entre as estações "00" e "03".

** - Medições feitas através de Calhas PARSHALL.

TABELA 35 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN et alii, 1966).

Teste Nº: 1

Data: 10.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Bateria Nº: 4

Vale do Curu

L(m)	Tempo (min)	$q^* \cdot t/L$	$q \cdot t/L - \bar{y}^{**}$
00	00	-	-
10	03	0,01026	0,00406
20	05	0,00855	0,00235
30	11	0,01254	0,00634
40	18	0,01539	0,00919
50	25	0,01710	0,01090
60	30	0,01710	0,01090
70	36	0,01790	0,01170
80	44	0,01880	0,01260
90	51	0,01940	0,01320
100	61	0,02086	0,01466

$$*q = 0,0342 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$$

$$** \bar{y} = 0,0062$$

TABELA 36 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN *et alii*, 1966).

Teste Nº: 2

Data: 05.11.84.

Local: Fazenda Experimental

Bateria Nº: 4

Vale do Curu

L(m)	Tempo (min)	$q^* \cdot t/L$	$q \cdot t/L - \bar{y}^{**}$
00	00	-	-
10	02	0,007440	0,001540
20	06	0,011160	0,005700
30	12	0,014880	0,008980
40	17	0,015810	0,009910
50	24	0,017856	0,011956
60	30	0,018600	0,012700
70	38	0,020190	0,014290
80	45	0,020920	0,015029
90	56	0,023147	0,017250
100	64	0,023808	0,017909

$$*q = 0,0372 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$$

$$** \bar{y} = 0,0059$$

TABELA 38 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN *et alii*, 1966).

Teste Nº: 4

Data: 03.12.84.

Local: Fazenda Experimental

Bateria Nº: 1

Vale do Curu

L(m)	Tempo (min)	$q^* \cdot t/L$	$q \cdot t/L - \bar{y}^{**}$
00	00	-	-
10	03	0,01116	0,00316
20	07	0,01302	0,00502
30	12	0,01488	0,00688
40	17	0,01581	0,00781
50	23	0,01711	0,00911
60	29	0,01798	0,00998
70	36	0,01913	0,01113
80	42	0,01953	0,01153
90	51	0,02108	0,01308
100	59	0,02195	0,01395

* $q = 0,0372 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$

** $\bar{y} = 0,008$

TABELA 40 - Teste de Infiltração Realizado com a Técnica do Balanço de Volume (CHRISTIANSEN *et alii*, 1966).

Teste Nº: 6

Data: 15.10.84.

Local: Fazenda Experimental

Bateria Nº: 3

Vale do Curu

L(m)	Tempo (min)	$q^* \cdot t/L$	$q \cdot t/L - \bar{y}^{**}$
00	00	-	-
10	03	0,01062	0,00362
20	06	0,01062	0,00362
30	13	0,01534	0,00834
40	18	0,01593	0,00893
50	24	0,01699	0,00999
60	30	0,01770	0,01000
70	36	0,01820	0,01120
80	42	0,01858	0,01158
90	48	0,01888	0,01188
100	55	0,01947	0,01247

* $q = 0,0354 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}$

** $\bar{y} = 0,007$

A N E X O " C "

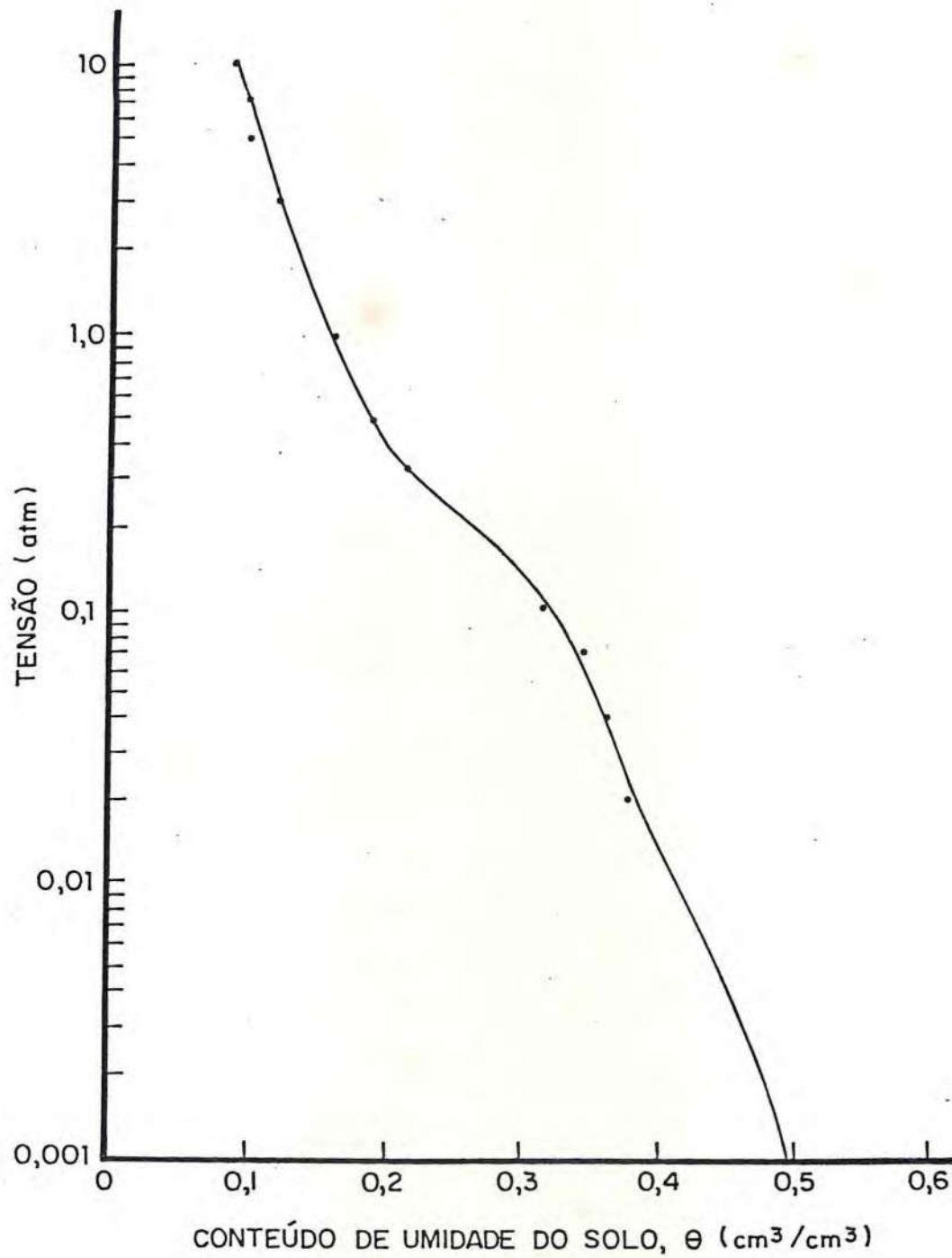


FIGURA 03 - Curva Característica de Umidade para a Profundidade de 15 cm

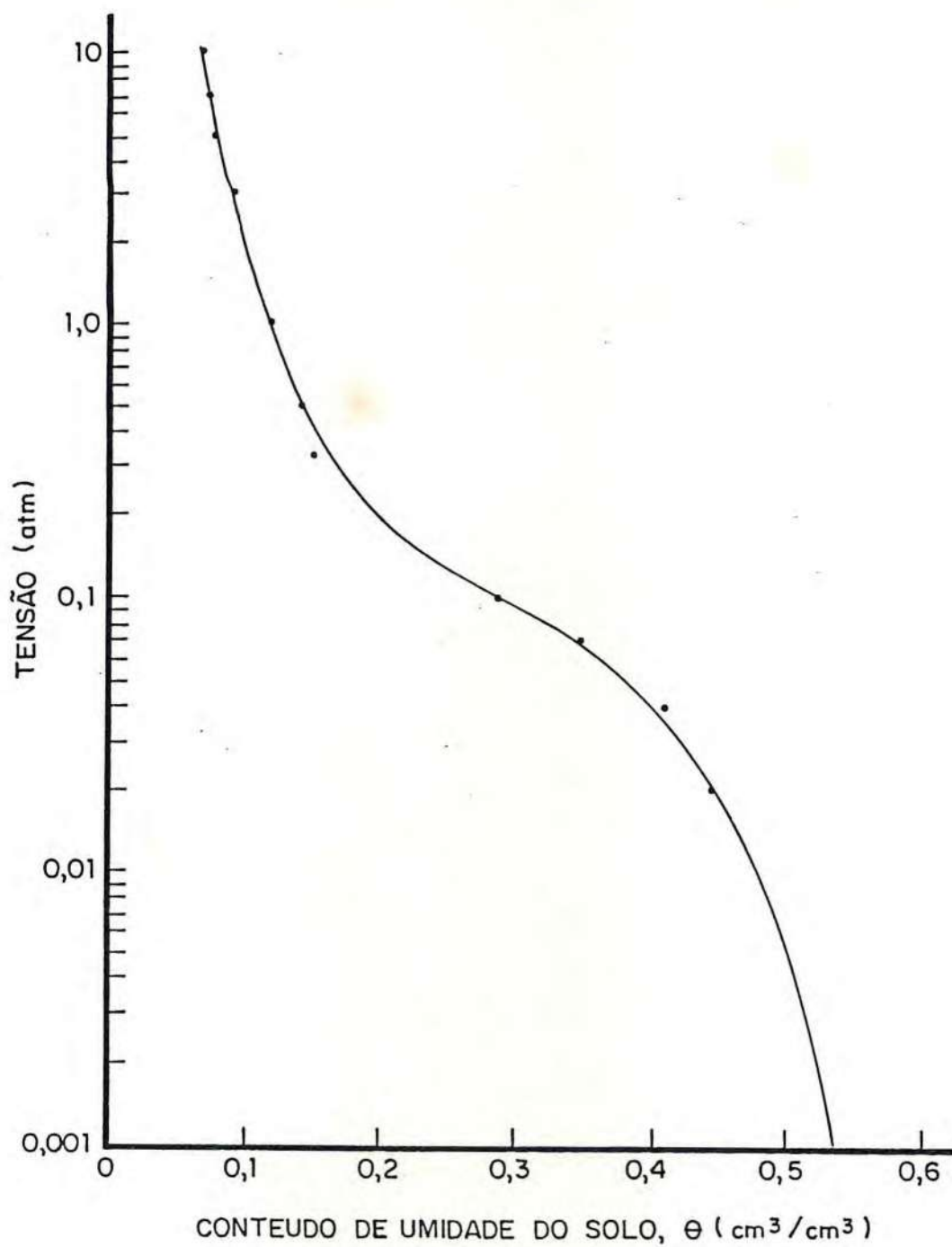


FIGURA 04 - Curva Característica de Umidade para a Profundidade de 45 cm

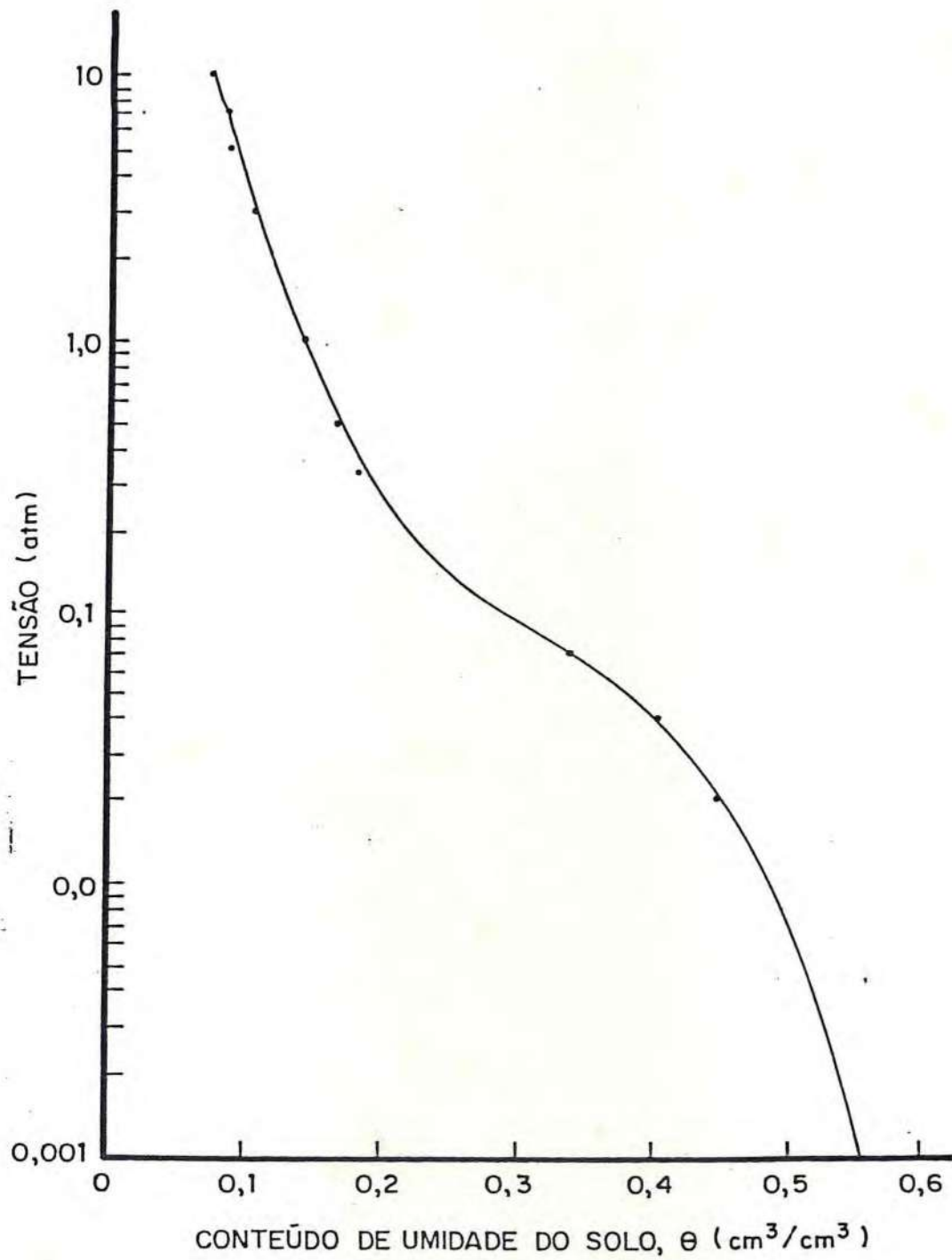


FIGURA 05 - Curva Característica de Umidade para Profundidade de 75 cm

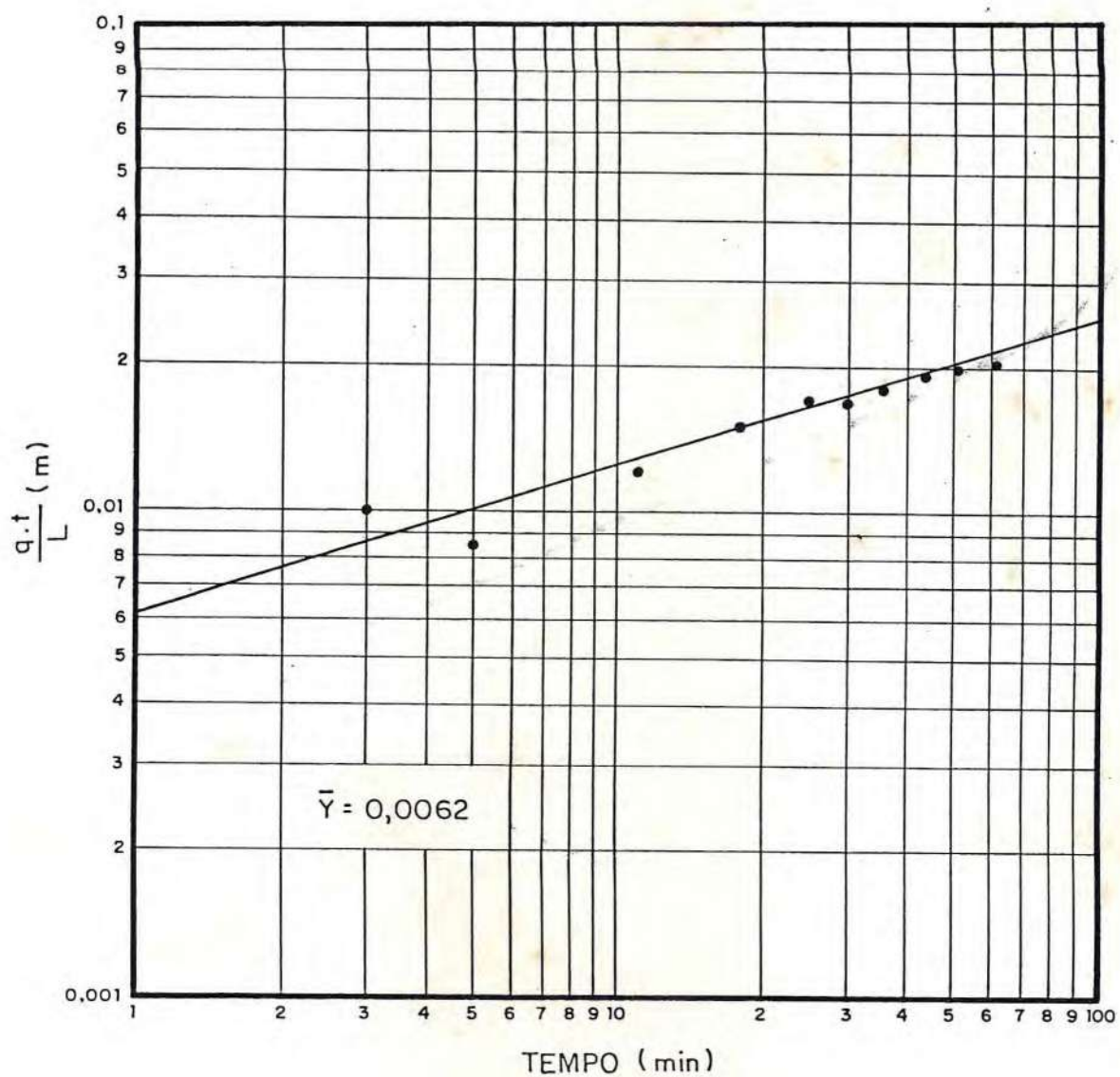


FIGURA 23 - Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 1

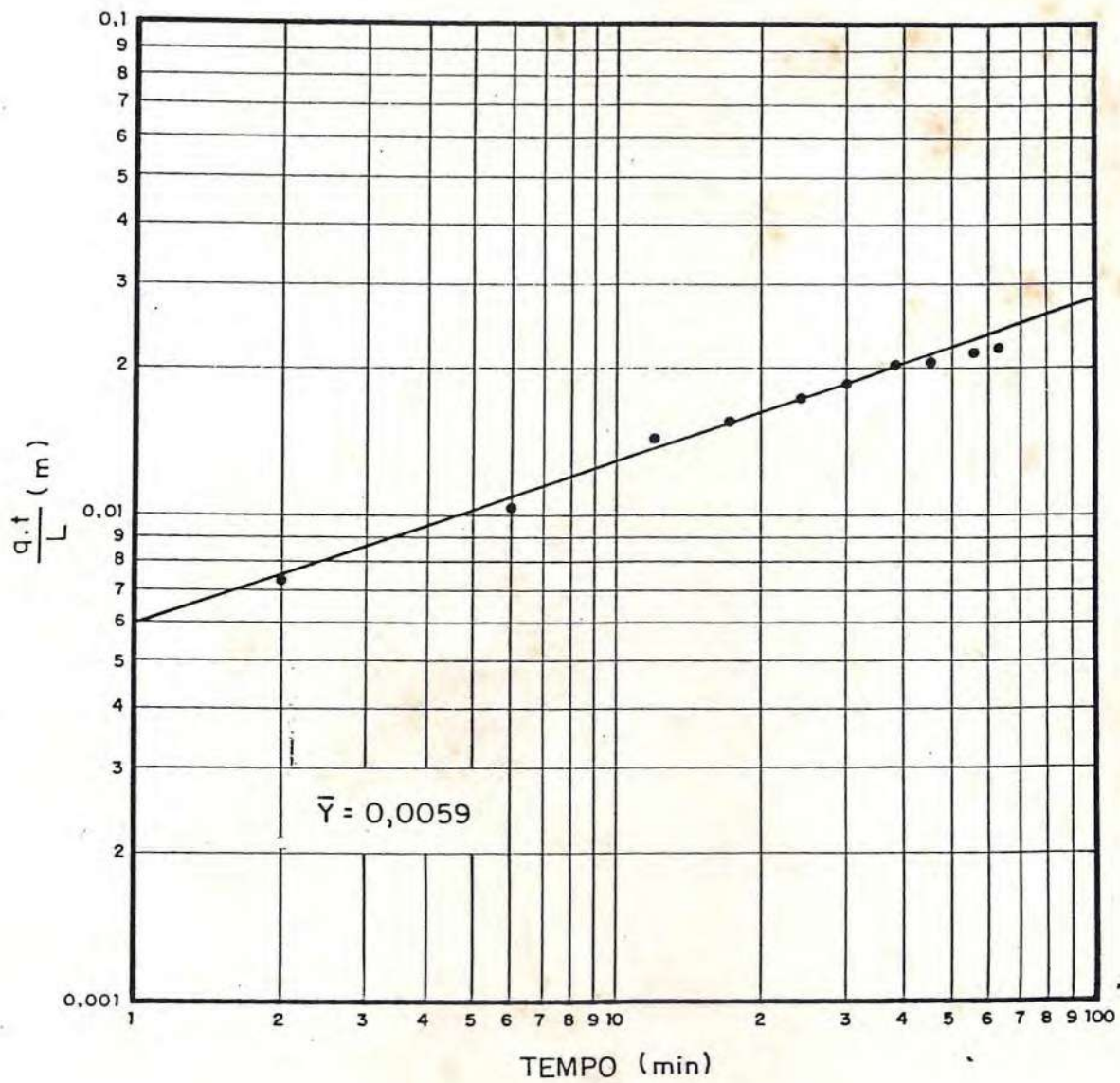


FIGURA 24 - Lâmina Média Superficial ($\bar{\gamma}$) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 2

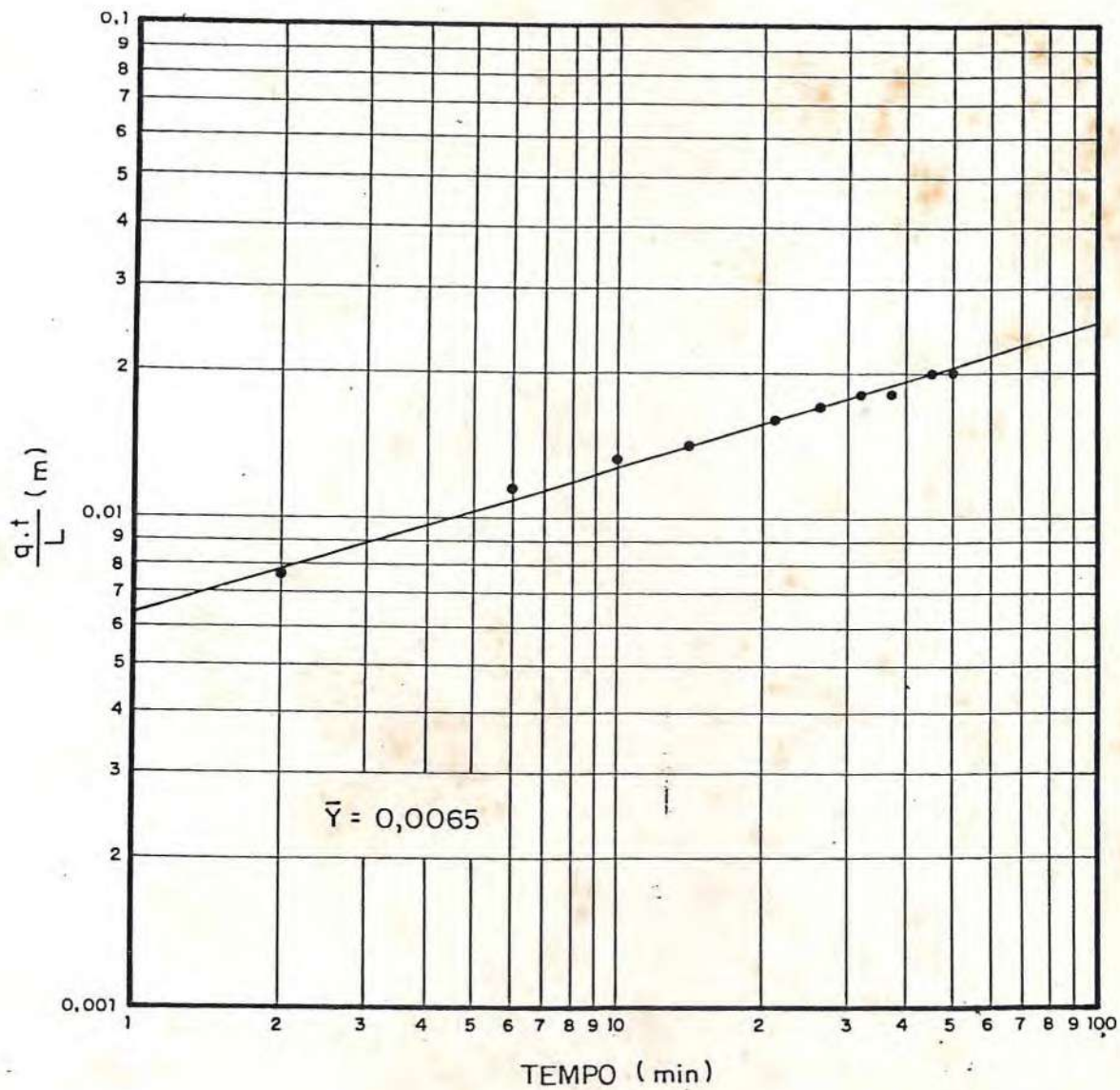


FIGURA 25 - Lâmina Média Superficial ($\bar{\gamma}$) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 3

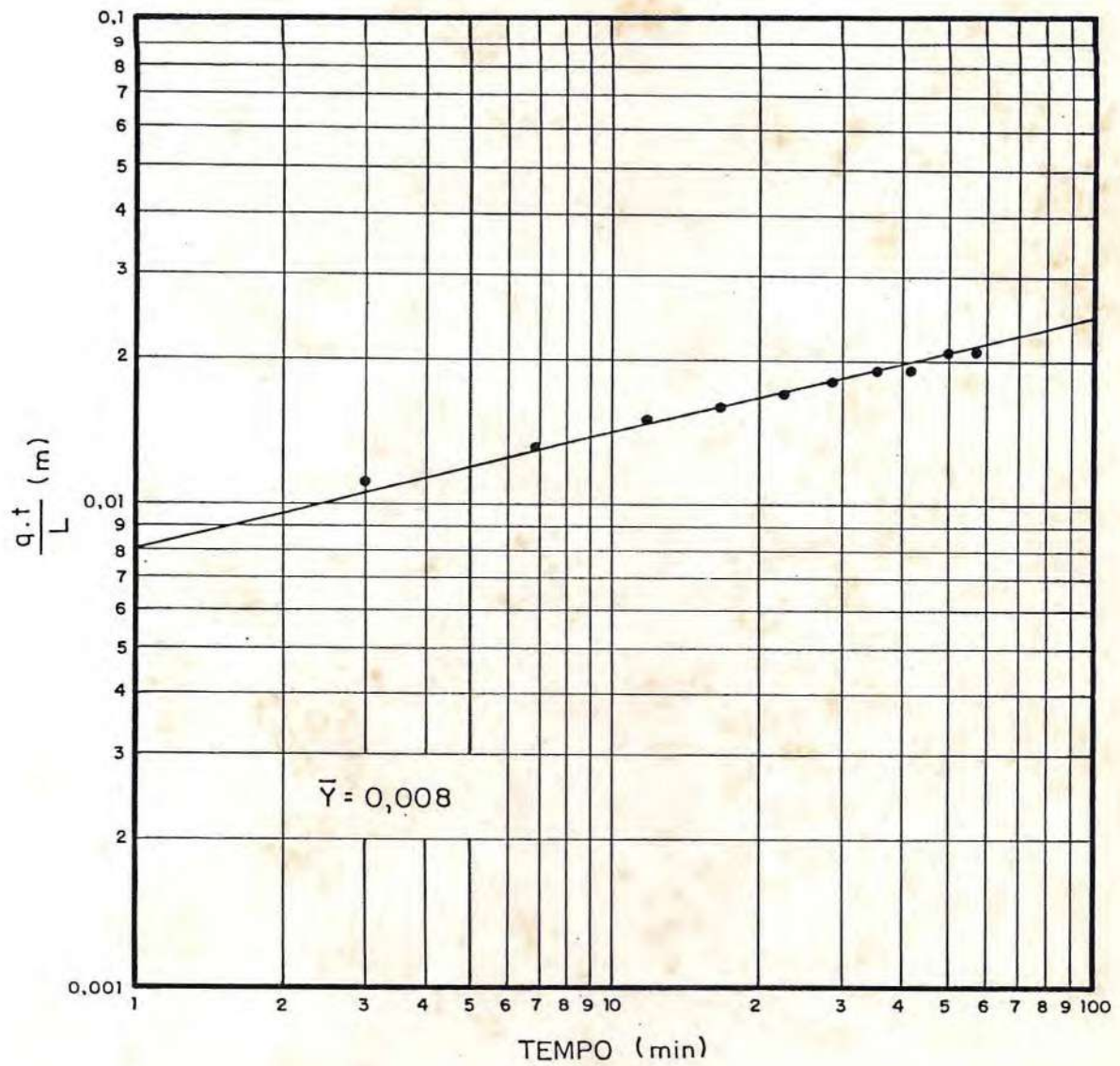


FIGURA 26 - Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 4

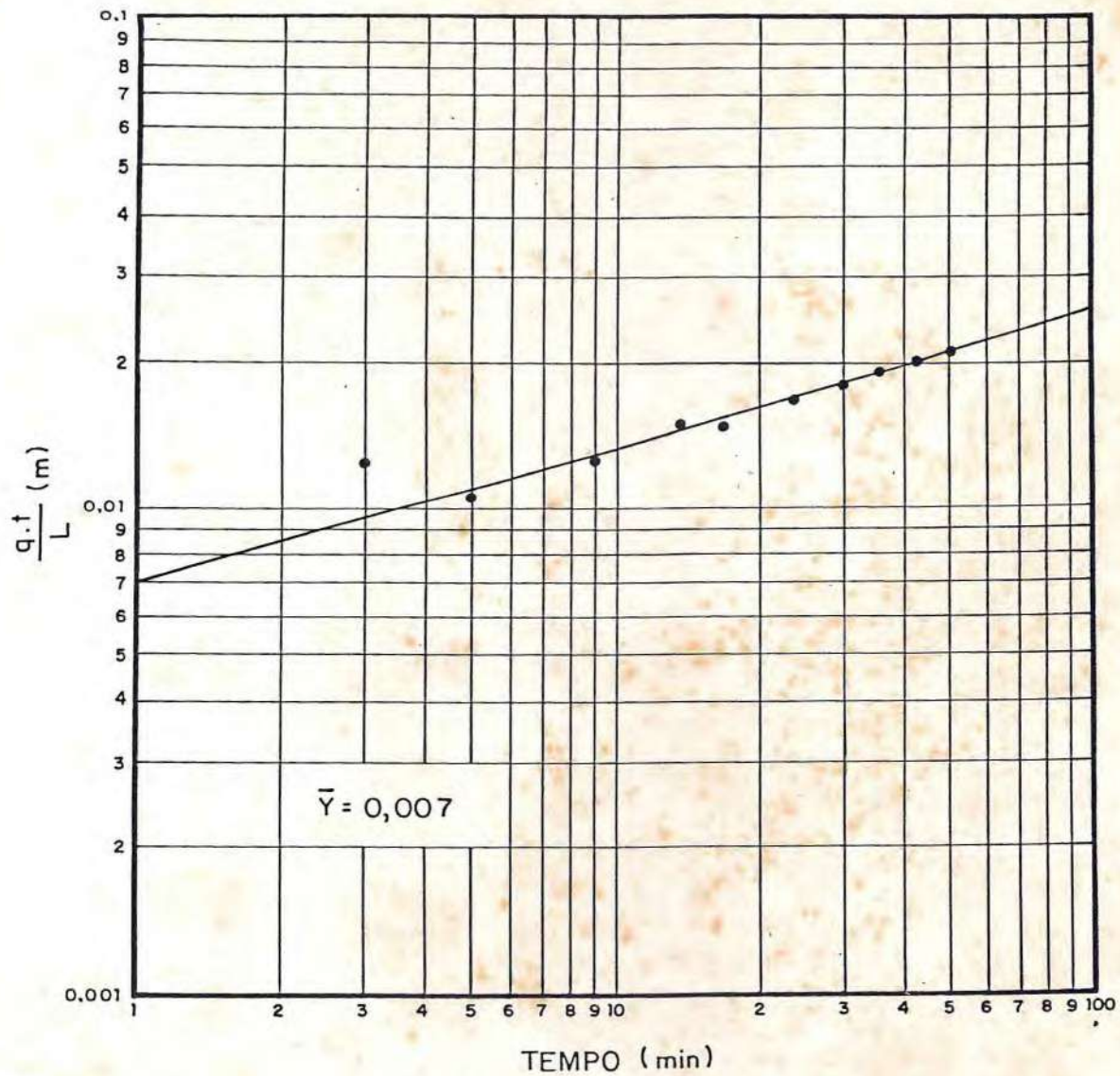


FIGURA 27 - Lâmina Média Superficial (\bar{y}) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 5

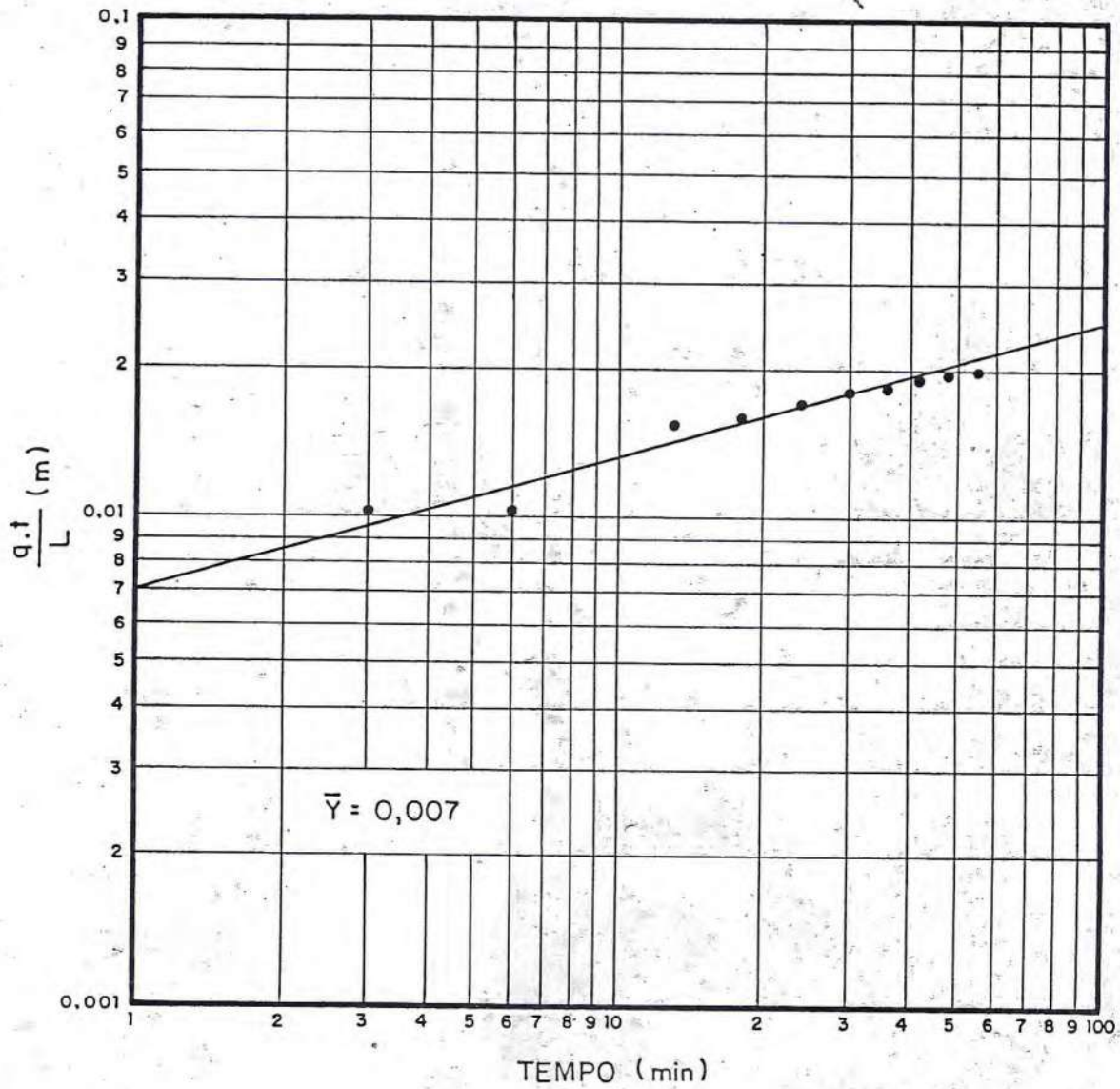


FIGURA 28 - Lâmina Média Superficial ($\bar{\gamma}$) pelo Método de CHRISTIANSEN et alii (1966) - Teste nº 6