**ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ENTRE DETERMINAÇÕES DA
CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DE SOLOS, COM AUXÍLIO
DE UM SIMULADOR-DE-CHUVA-INFILTRÔMETRO E,
INFILTRÔMETRO DE ANÉIS CONCÊNTRICOS**

MARLEI RODRIGUES FRANCO

Orientador: Dr. Rubens Scardua

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março, 1980

A meus pais: Evaristo e Glória

A meus irmãos: Marlene

Marilene

Marilei

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que participaram na realização do presente trabalho e, especialmente o fazemos:

Ao Prof. Rubens Scardua, pela orientação prestada.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade de cursarmos o Pós-Graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa fornecida.

À Universidade do Amazonas pela oportunidade de cursarmos o Pós-Graduação.

À Usina de Açúcar Costa Pinto, pela irrestrita cooperação prestada, cedimento da área e parte do material.

À Dr.^a Marizete de Melo Cruz, pelo estímulo e ajuda na compilação dos dados.

Aos Dr.^s Paulo Leonel Libardi, Klauss Reichardt, pelas sugestões, críticas e cedimento de parte do material de laboratório.

Ao Dr. Zilmar Z. Marcos, pelas sugestões, críticas e cedimento do laboratório.

Ao Dr. Otávio Freire, pelas sugestões e empréstimo do simulador de chuva.

Aos Dr.^s Juventino Julio de Souza e Jesiel Cardoso Freire, pelo estímulo.

Aos Dr.^s Luiz Henrique de Aquino, José Vitor Silva e Décio Barbin, pela colaboração na análise estatística.

Ao colega Orlando Palucci, pela ajuda prestada na coleta de dados no campo.

Aos colegas Everaldo Dessimoni e Wilson R. Monteiro, pelo estímulo cedido.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. RESUMO	01
2. INTRODUÇÃO	04
3. REVISÃO DE LITERATURA	06
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Material	17
4.1.1. Solos	17
4.1.2. Material para amostragem e análise física do solo	18
4.1.3. Simulador-de-chuva-infiltrômetro	18
4.1.4. Infiltrômetros de anéis concêntricos ...	25
4.2. Métodos	28
4.2.1. Amostragem, preparo e análises físicas dos solos	28
4.2.2. Seleção e preparo das áreas experimentais	28
4.2.3. Utilização do Simulador-de-chuva-infiltrômetro	30
4.2.4. Utilização do infiltrômetro de anéis concêntricos	32
4.2.5. Manejo e condições das áreas experimentais	34
4.2.6. Procedimento na obtenção dos dados de infiltração	37
4.2.7. Tratamento estatístico	38

5. RESULTADOS	40
5.1. Para o Solo Terra Roxa Estruturada (TRE)	40
5.2. Para o Solo Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras (PVA-Laras)	62
5.3. Resultados da análise estatística com os dados dos ensaios	83
6. DISCUSSÃO	84
6.1. Infiltração do solo TRE	84
6.2. Infiltração do solo PVA-Laras	88
6.3. Capacidade de infiltração na TRE e PVA-Laras ..	89
7. CONCLUSÃO	92
8. SUMMARY	94
9. LITERATURA CITADA	97

LISTA DE TABELAS

Tabelas		<u>página</u>
1	Aparelhos e tensões utilizadas nas determinações da capacidade de retenção de água	29
2	Delineamento experimental, num esquema fatorial do tipo 2 x 2 x 3	39
3	Médias dos resultados de análises físicas do solo TRE	41
4	Resultados da determinação da capacidade de retenção da água do solo TRE, para amostras indeformadas	42
5	Resultados da determinação da capacidade de retenção da água do solo TRE, para amostras deformadas	43
6	Resultados das determinações de umidade inicial, ao longo do perfil da TRE, sob condições de solo seco, antes da primeira aplicação com o simulador (aspersor 5B)	52
7	Resultados das determinações de umidade inicial, ao longo do perfil da TRE, sob condições de solo úmido, antes das 4 aplicações com o simulador	53

8	Resultados de infiltração obtidos para TRE, sob condições de solo seco e úmido, com anéis concêntricos e o simulador-de-chuva (aspersores 5B e 5D)	54
9	Média dos resultados de análises físicas do solo PVA-Laras	63
10	Resultados da determinação da capacidade de retenção de água, do solo PVA-Laras, para amostras indeformadas	64
11	Resultados da determinação da capacidade de retenção de água, do solo PVA-Laras, para amostras deformadas	65
12	Resultados das determinações de umidade inicial, ao longo do perfil do PVA-Laras, sob condições de solo seco, antes da primeira aplicação com simulador (aspersor 5B)	74
13	Resultados das determinações de umidade inicial ao longo do perfil do PVA-Laras, sob condições de solo úmido, antes das 4 aplicações com o simulador (2 com aspersor 5B e 2 com aspersor 5D)	75
14	Resultados de infiltração obtidos para o PVA-Laras, sob condições de solo seco e úmido, com os anéis concêntricos e o simulador-de-chuva (aspersores 5B e 5D)	76

Tabela

página

15	Resultados da análise de correlação entre os dados de infiltração dos anéis concêntricos com os do simulador-de-chuva	83
----	---	----

LISTA DE FIGURAS

Figuras		<u>página</u>
1	Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro	19
2	Esquema geral do Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro	20
3	Aspersor 5B em funcionamento	21
4	Detalhes da Microparcela (0,50 x 0,50 m) do Simulador	22
5	Coletor de Enxurrada	23
6	Câmara de Expansão do conjunto simulador-de chuva	24
7	Detalhes do infiltrômetro de anéis concêntricos	25
8	Conjunto de infiltrômetro de anéis concêntricos	26
9	Infiltrômetro de Anéis Concêntricos	27
10	Geometria da instalação do simulador-de-chuva e dos Anéis Concêntricos	36
11	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo TRE, à profundidade de 0 - 15 cm	44
12	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo TRE, à profundidade de 15 - 30 cm	45

13	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 30 - 45 cm	46
14	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 45 - 60 cm	47
15	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 60 - 75 cm	48
16	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo TRE, à profundidade de 75 - 90 cm	49
17	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo TRE, à profundidade de 90 - 105 cm	50
18	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo TRE, à profundidade de 105-120 cm	51
19	Curva de infiltração, do solo TRE seco, obtida com Anéis Concêntricos-Infiltrômetro	56
20	Curva de infiltração, do solo TRE seco, obtida com Simulador-de-Chuva- Infiltrômetro (5B)	57
21	Curva de infiltração, do solo TRE seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).	58

Figuras

página

22	Curva de infiltração, do solo TRE úmido, obtida com Anéis Concêntricos Infiltrômetro	59
23	Curva de infiltração, do solo TRE úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B).	60
24	Curva de infiltração, do solo TRE úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).	61
25	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 0 - 15 cm	66
26	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 15 - 30 cm	67
27	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 30 - 45 cm	68
28	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 45 - 60 cm	69
29	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 60 - 75 cm	70
30	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, de solo PVA-Laras, à profundidade de 75 - 90 cm	71

31	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo PVA-Laras, à profundidade de 90 - 105 cm	72
32	Curvas de retenção de água, para amostras indeformadas e deformadas, do solo PVA-Laras, à profundidade de 105 - 120 cm	73
33	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras seco, obtida com Anéis Concêntricos Infiltrômetro .	77
34	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras seco, obtida com Simulador-de-Chuva- Infiltrômetro (5B)	78
35	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D)	79
36	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras úmido, obtida com Anéis Concêntricos Infiltrômetro .	80
37	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B)	81
38	Curva de infiltração, do solo PVA-Laras úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D)	82

1. RESUMO

A influência do método utilizado na determinação da capacidade de infiltração de solos, para fins de irrigação é decididamente um fator a ponderar, e este é o motivo deste estudo.

Foram estudados os solos: Terra Roxa Estruturada (TRE) e Podzólico Vermelho Amarelo-Laras (PVA-Laras) segundo DEMATTE-1977, do município de Piracicaba, São Paulo.

As determinações da capacidade de infiltração foram realizadas para os dois solos, em duas condições de umidades iniciais, com auxílio de um simulador-de-chuva-infiltrômetro, com 2 variações na intensidade de precipitação e, com auxílio de infiltrômetro de anéis-concêntricos.

A infiltração básica, em todas as condições de umidade e intensidade de precipitação, foi menor no simulador-

-de-chuva, o que leva a crer que a ação das gotas tendem a compactar a superfície do solo e translocar partículas do mesmo, de forma a obstruir parte dos poros, reduzindo a infiltração, segundo FREE (1968), DULEY e KELEY (1939), HORTON (1940) e DAKER (1970).

Para obtenção de dados de infiltração mais coerentes com a irrigação por aspersão, foi que estabeleceu-se a correlação dos dados obtidos do infiltrômetro de anéis concêntricos com os dados do simulador-de-chuva-infiltrômetro com aspersor 5D, prevenindo-se desta forma, contra uma superestimação da capacidade de infiltração do solo, prevenção que se deve tomar, para o uso mais racional da água na irrigação por aspersão.

Com o material e os métodos que se utilizou, e os resultados obtidos e analisados, concluiu-se que em ambas as condições de umidades iniciais assumidas para cada solo, os dados de infiltração dos anéis concêntricos apresentaram alta correlação com os dados do simulador de chuva com aspersor 5D, e que os ensaios com os anéis concêntricos em ambas condições de umidade superestimaram os valores da Infiltração Básica, o que é inadequado à irrigação por aspersão. Ainda, para estabelecer a Infiltração Básica como subsídio para a irrigação por aspersão, as seguintes equações são as que mais se adaptam:

Para TRE seco, Anéis x aspersor 5D

$$Y = -35,744 + 2,803x - 0,027x^2$$

Para TRE úmido, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -38,964 + 3,723x - 0,076x^2$$

Para PVA-Laras seco, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -287,172 + 13,839x - 0,140x^2$$

Para PVA úmido, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -90,142 + 3,244x$$

Onde: Y = Infiltração básica calculado para simulador com aspersor 5D.

e x = Infiltração básica observada com anéis.

2. INTRODUÇÃO

É sabido que a infiltração de água no solo se realiza a uma intensidade que diminui com o tempo, até se tornar praticamente constante. Além do tempo, verifica-se ainda o grau de influência de outros fatores, tais como, umidade do solo, natureza do perfil, características superficiais, textura e estrutura do solo.

A capacidade de infiltração de um solo, é uma característica importante nos trabalhos de irrigação, conservação do solo, drenagem e hidrologia, e para projetos de irrigação por aspersão é fundamental, pois, a intensidade de aplicação de água é função direta deste valor.

Os métodos para determinar a capacidade de infiltração de um solo, têm sofrido modificações devido às incoerências nos resultados. Um dos primeiros métodos empregados foi o infiltrômetro de MUNTZ, que consta de um simples tubo me

tálico, o qual sofreu modificações, com o propósito de tornar o mesmo mais preciso. Discrepâncias nos resultados obtidos com o infiltrômetro de MUNTZ modificado têm levado os pesquisadores a introduzir métodos mais acurados, para obter resultados mais coerentes com aqueles fornecidos por chuva natural. E um destes métodos usados é o do simulador-de-chuva.

O uso da própria aspersão seria o método indicado, mas o valor da capacidade de infiltração é que determina as características do aspersor na aplicação da água. Portanto o uso da aspersão para levantamento destes valores, é conflitante.

Assim sendo, o objetivo fundamental do presente trabalho, é determinar a capacidade de infiltração do solo, com auxílio de um simulador-de-chuva-infiltrômetro (de difícil aplicação no campo), e correlacionar os dados obtidos, com dados dos infiltrômetros de anéis concêntricos (de fácil aplicação no campo); obtendo-se desta forma, subsídios, para a solução de problemas de irrigação e conservação de solo, e que possam melhor orientar os técnicos para o uso mais racional da água.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo RICHARDS, citado por BYRNES (1961), o comitê de terminologia da Sociedade Americana de Ciência do Solo definiu a infiltração como sendo "o movimento descendente da água no solo"; capacidade ou taxa de infiltração como "a ta xa em que um solo, numa dada condição e num determinado tempo, pode absorver água" e velocidade de infiltração é definida, quantitativamente, como "o volume de água que penetra na super fície do solo por unidade de área por unidade de tempo".

PARR e BERTRAND (1960), mencionaram 3 grupos, pelos quais podem ser classificados os métodos de determinação da velocidade de infiltração dos solos.

1. Aqueles em que a velocidade de infiltração é determinada pela diferença entre a água aplicada e o escoamento superficial.

2. Aqueles em que a água é colocada numa área limitada, mantendo-se uma carga hidráulica constante.

3. Aqueles em que a velocidade de infiltração é obtida a partir dos dados de chuva.

De acôrdo com FLETCHER (1944), toda medição da capacidade de infiltração de água no solo, deve-se fazer acompanhar de uma medição das condições de umidade do solo, o que se justifica, pela influência marcante deste fator, no movimento da água do solo. Este fato foi muitas vezes observado por vários autores, e hoje explica-se, que quanto maior o gradiente de potencial de água do solo, maior a taxa de infiltração.

BAVER (1956), afirmou que o importante significado da infiltração no ciclo hidrológico é hoje bastante claro, é o processo que separa o fluxo de água superficial do sub-superficial. Desde longo tempo, sabe-se que a habilidade do solo absorver água por infiltração não é constante, e que é bastante significativo saber que a taxa de infiltração tende decrescer com o tempo. As explicações matemáticas do processo iniciaram-se na física de solo e mostraram que o decréscimo desta taxa é uma inevitável consequência do decrescente gradiente de potencial da água do solo, o que é associado à profundidade da frente de molhamento durante a infiltração.

PHILIP (1958), verificou que a infiltração aumenta com a carga hidráulica. Contudo, acrescenta, que o efeiu

to da lâmina de água, na superfície do solo, sobre a velocidade de infiltração, decresce gradualmente, tornando-se desprezível quando o tempo tende para o infinito.

MUSGRAVE (1955), verificou que carga hidráulica algumas vezes é o principal fator de influência na taxa de infiltração de certos solos.

SHULL (1961), afirmou que a infiltração de água no solo é um processo governado por elementos tais como, poros do solo (secção transversal ao fluxo), gradiente hidráulico (gradiente de energia do fluxo) e viscosidade da água.

LEWIS e POWERS (1939), afirmaram que a validade dos resultados obtidos em uma medição da capacidade de infiltração de um solo, não dependerá apenas dos cuidados na medição em si, mas também de informações tais como, histórico de culturas, do amanho do solo e estação do ano.

HILLEL (1970), denominou a capacidade de infiltração de, infiltrabilidade do solo, e definiu como sendo o fluxo máximo que o solo pode absorver através de sua superfície, quando a água é aplicada sob pressão atmosférica.

FREE *et alii* (1968), chegaram à conclusão, ao relacionarem a capacidade de infiltração com as propriedades físicas do solo, que qualquer modificação ou tratamento que resultar em uma diminuição de tamanho dos poros de um solo, ge-

...
ralmente, conduzirá a uma diminuição da taxa de infiltração, influência esta, que se deve esperar ao se fazer uso de simulador de chuva para fornecimento de água em tais determinações.

REICHARDT (1977), denominou infiltração o processo pelo qual a água entra no solo, mais especificamente a passagem da água pela interface atmosfera-solo. Sendo o conhecimento deste processo de grande importância prática, assim como conhecer seu relacionamento com as propriedades do solo é imprescindível para o eficiente manejo do solo e da água.

KATCHINSKY (1934), parece ser quem primeiro sugeriu o uso de duplo cilindros para determinação da infiltração no solos, que constava de dois pequenos cilindros concêntricos, cravados no solo a menos de 3 cm. Nestes, a água era fornecida em iguais níveis (tanto no compartimento interno quanto no externo). Considerou então, que a água do compartimento externo constitui uma barreira contra a infiltração lateral da água do compartimento interno, o que possibilitou relacionar, a infiltração da água interna, a uma área conhecida. Admitiu a necessidade de estudos para determinação de critérios de profundidade de instalação dos anéis, da altura da lâmina de água sobre a superfície do solo, e tamanho dos anéis.

SWARTZENDRUBER e OLSON (1960 e 1961), afirmaram que todos os resultados de seus trabalhos sugerem o uso de cilindros concêntricos grandes, um mínimo de 20 cm de diâmetro para o cilindro interno e que os cilindros devem ser cravados

em nível através de pancadas precisas e o uso de um nível horizontal.

MORETTI e MANFRINATTO (1965), em seus estudos de capacidade de infiltração de solo na região de Piracicaba-SP, usando aspersores e infiltrômetros de MUNTZ modificado, com base no alto grau de correlação entre os dados obtidos com os dois métodos, concluíram que a capacidade de infiltração do solo, sob irrigação por aspersão, pode ser estimada por meio de determinações com infiltrômetros de anéis, desde que se realize tais determinações sob as condições do estudo que realizaram.

SLATER (1967), em determinações da capacidade de infiltração de solos cultivados, usou anéis simples, aspersores manuais e anéis simples x chuva natural, em ambos casos obteve alto grau de correlação em suas comparações.

ISRAELSEN (1967), na determinação da velocidade de infiltração, com infiltrômetro de anel, recomendou instalar a uma profundidade de 15 cm, o mesmo recomenda BOUWER (1969).

Segundo BERNARD (1971), ao se determinar a velocidade de infiltração, com auxílio de infiltrômetro de anel, a lâmina de água acima do solo deve ser de 5 cm, permitindo uma oscilação de mais ou menos 1 cm. E, diferença significativa desta velocidade, foi encontrada por ERIE (1962), quando usou cargas hidrostáticas de 2,5 cm a 15,2 cm, em solos com alta capacidade de infiltração.

OLIVEIRA (1977) em seus estudos com infiltrômetro de anel para determinação da infiltração básica, concluiu que a carga hidráulica aplicada deve ser de 5 cm de lâmina de lâmina de água, com uma oscilação máxima de 1 cm, e a profundidade de instalação do anel interno deve ser de 15 cm.

DULEY e HAYS (1932), afirmaram que uma superfície de solo que tenha sido obstruída pela ação das gotas de chuva e, secado, se obstruirá novamente, rapidamente, quando submetido a nova chuva, e atingirá a capacidade de infiltração final mais depressa, a menos que a obstrução tenha sido quebrada entre uma e outra chuva.

DULEY e KELEY (1939), afirmaram que a ação dos fatores superficiais, que afetam a passagem de água através do perfil dos solos expostos, quando sujeitos às chuvas, é devido à formação de uma tênue camada superficial, compacta de solo.

HORTON (1940), estabeleceu que a redução da taxa de infiltração com o tempo, é grandemente controlada por fatores, tais como, movimentação de partículas pequenas que tendem obstruir poros pequenos do solo e compactação da superfície do solo pela ação de impacto de gotas de chuva.

DAKER (1970) verificou que, em condições de chuva, o principal problema concernente à infiltração da água no solo, é a condição da camada superficial, concluiu que a fina camada compacta, que se forma na superfície dos solos durante

as chuvas, têm efeito maior sobre a infiltração de água do que o tipo de solo, declividade, teor de umidade ou das características do perfil.

BARNES (1957), usou simulador de chuva como infiltrômetro, no qual variava a intensidade de precipitação pela troca de bocal do aspersor; a água precipitada que excedia a infiltração, na parcela experimental, era coletada em um recipiente, e por sucção era retirada deste recipiente para medição. O fornecimento de água era através de uma bomba centrífuga, com regulador de pressão e câmara de expansão, para operar a pressão constante.

ADAMS *et alii* (1957), conduziram experimentos de infiltração, usando um simulador-de-chuva portátil, e obtiveram resultados satisfatórios.

MEYER (1960) e MEYER e MANNERING (1960), propuseram o uso de simulador-de-chuva como ferramenta adequada na determinação da infiltração de água no solo, e que o método favorece a rapidez com que se obtém os resultados. Afirmaram que o fato de uma larga área, fora da área experimental (bordadura) também receber chuva, elimina a possibilidade de erros por perdas laterais.

Segundo MOLDENHAUER *et alii* (1960 e 1964), afirmaram que a condição inicial de umidade e a intensidade de precipitação, principalmente quando há escoamento superficial, afetam a velocidade de infiltração.

BERTRAND e PARR (1960) afirmaram que a maior parte dos métodos empregados para determinação da velocidade de infiltração dos solos, não são geralmente coerentes com o método de irrigação a ser aplicado e, frequentemente dão resultados pouco precisos, por isto propuseram um modelo de simulador-chuva-infiltrômetro, o qual pode ser aplicado na determinação da capacidade de infiltração de solos, para fins de irrigação por aspersão, e que apresenta possibilidade de qualquer variação de chuva fazendo-se variar o bocal. Tal aparelho funciona com o bocal fixo à altura de 2,70 cm, em uma área de 13,38 cm² protegida de vento por uma barraca de plástico montada sobre uma estrutura de alumínio, a qual pode compensar os desníveis de solo, por um sistema de cano embutido fixado por parafuso-borboleta, e 4 parafusos calantes na base de fixação do aspersor. Os bocais são do tipo de cone cheio.

RUBIN e STEINHARDT (1964), verificaram dois estágios distintos no processo de infiltração durante uma chuva. O primeiro, é caracterizado pela igualdade de velocidade de infiltração com a intensidade de chuva, no segundo estágio, há acumulação de uma camada de água, é a infiltração que começa ser superada pela precipitação. É uma fase intermediária, pode ser considerada como estágio de acumulação incipiente, caracterizada pela ausência de uma camada de água duradoura.

RUBIN e REINIGER (1964), afirmaram que a diferença entre as infiltrações de água de chuva observada e a cal

culada teoricamente, são insignificantes para chuvas de baixas intensidades e significativas para chuvas de altas intensidades.

HILLEL e REUVEN (1966) propuseram o uso de um simulador de chuva para determinação da capacidade de infiltração de solos, para fins agrícolas, e citaram como principais vantagens, a facilidade de transporte, o largo intervalo de intensidade de precipitação que se consegue e, o baixo consumo de água.

DIXON e PETERSON (1968), propuseram o emprego de um coletor-medidor, da enxurrada proveniente dos testes de infiltração com simulador de chuva, o qual funciona por um sistema de vácuo, e é mais simples, de construção menos onerosa e, de maior precisão do que o sistema de recirculação proposto por BERTRAND e PARR (1960).

GAVAND (1972) mostrou que para determinar a capacidade de infiltração de solos, com auxílio de um simulador de chuva, há de se considerar as influências causadas por variações, nas características da chuva por mudanças do tipo de bocal usado, na textura e no conteúdo inicial de umidade do solo em estudo.

MEIN e LARSON (1973), propuseram um modelo de simulador de chuva para determinação de capacidade de infiltração de solos, considerando o processo em três estágios, a sa-

ber, estágio I, quando a capacidade de infiltração é maior que a intensidade de precipitação, estágio II, quando toda água se infiltra, e há formação de uma camada de água na superfície do solo, mas de pouca duração, estágio III, quando a capacidade de infiltração é menor que a intensidade de precipitação.

WINTER (1974), afirmou que o tamanho das gotas de chuva é importante no processo de determinação da capacidade de infiltração de um solo, sendo que esta deverá ser prejudicada pelo aumento do diâmetro daquelas gotas, e que solos diferentes, reagem diferentemente a esta variação de tamanho de gotas.

BLACKBURN (1975), usando simulador de chuva para estudar infiltração de água nos solos de 5 bacias hidrográficas do centro e leste do estado de Nevada dos Estados Unidos da América, sob duas condições de umidade inicial, ou seja, solo inicialmente seco e solo com umidade inicial próxima à capacidade de campo, encontrou taxa mais alta de infiltração inicial para os solos inicialmente mais secos.

MAZURAK *et alii* (1969 e 1975) obtiveram taxas mais altas de infiltração para solos com teores de matéria orgânica mais elevados, quando se usa simulador de chuva, pelo fato da matéria orgânica da superfície do solo aumentar a resistência à formação de camada impermeável pelo impacto das gotas de chuva, e para solos com teores mais elevados de argila,

portanto mais sujeitos à compactação, obtiveram taxas de infiltração mais baixas do que para solos de textura mais grosseiras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Solos

Foram utilizados dois solos da região de Piracicaba-SP, mais especificamente das fazendas Tamandupã e Boa Esperança, da Usina-de-açúcar Costa Pinto, desta cidade, os quais foram classificados por DEMATTÊ (1977), como, *Terra Roxa Estruturada* e *Podzólizo Vermelho Amarelo-Varição Laras*, respectivamente; cabendo esclarecer que o referido pesquisador utilizou-se de perfis localizados naquelas fazendas e em locais próximos aos do presente experimento. E, os resultados de análise física apresentados, no relatório daquele Pedólogo, mostram-se semelhantes aos que apresentamos nas Tabelas 3 e 9, e comprovam o contraste entre as características dos dois tipos de solos estudados, motivo da escolha dos mesmos,

além de serem representativos da região.

4.1.2. Material usado na amostragem dos solos para fins de análises físicas em laboratório

- 1 amostrador de UHLAND completo
- 32 anéis para amostras indeformadas ($347,5 \text{ cm}^3$ cada)
- enxada, pá reta, sacos para amostras deformadas e trado espiral de 25 mm.

4.1.3. Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro

O aparelho utilizado, foi construído pelo Prof. OCTÁVIO FREIRE (1976), do Departamento de Solos e Geologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba-SP, e é uma adaptação do Purdue Sprinkling Infiltrometer, construído por BERTRAND e PARR (1960); conforme ilustração nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

O simulador funcionou com os aspersores 5B e 5D, de cone cheio, ângulo médio, tipo "centerjet", fabricado por Spray Engineering Company, de Burlington, Massachusetts-USA. A utilização destes dois aspersores, possibilitou a variação da precipitação em duas intensidades.

A água sob pressão foi fornecida por uma bomba e um trator Massey-Ferguson-75, e para que a pressão fosse

constante, havia uma câmara de expansão, controlada por manômetro e um manômetro colocado imediatamente antes do aspersor, conforme ilustra a Figura 2.

Possui este aparelho, armação de canos embutidos, para permitir variação na altura, e parafusos niveladores da plataforma de fixação do aspersor que garante perfeito nivelamento e posicionamento do mesmo, o qual trabalhou a altura de 2,70 m. A área interna do simulador é de $13,7 \text{ m}^2$ ($3,7 \times 3,7 \text{ m}$).

Figura 1. Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro.

Figura 2. Esquema geral do simulador-de-chuva-infiltrômetro (A. Tanque fornecedor da água; B. Bomba centrífuga; C. Tanque de pressão; D. Válvula de Retorno da água; E. Mangueira; F. Aspersor; G. Cobertura de plástico do aparelho; H. Manômetros; I. Torre do aparelho; J. Manômetro).

Figura 3. Aspersor 5B em funcionamento.

Figura 4. Detalhes da Microparcela (0,50 x 0,50 m) do Simulador.

Figura 5. Coletor de Enxurrada.

Figura 6. Câmara de Expansão do conjunto Simulador-de-Chuva.

4.1.4. Infiltrômetro de Anéis Concêntricos

Foram utilizadas 2 conjuntos infiltrômetros de anéis concêntricos, de idênticas dimensões; cada conjunto constituiu-se de 2 anéis de chapa de ferro de 6 mm de espessura, boias, mangueiras de conexão e depósitos de água, as Figuras 7, 8 e 9 ilustram os infiltrômetros.

Figura 7. Detalhes do infiltrômetro de anéis concêntricos.

As boias para controle do nível da água nos anéis são de funcionamento vertical, do tipo usada em filtros domésticos.

O depósito para fornecimento de água ao anel interno (área experimental) era um tubo de PVC rígido, de 0,30 m

de diâmetro e 2 m de altura, e para o fornecimento de água a área de bordadura do anel externo, um barril de 200 litros.

Figura 8. Conjuntos de Infiltrômetros de Anéis Concêntricos.

Figura 9. Infiltrômetro de Anéis Concêntricos.

4.2. Métodos

4.2.1. Amostragem, preparo e análises físicas dos Solos

Foram coletadas amostras do perfil de cada solo estudado, de 15 cm, até 1,20 m. De cada ponto foram retiradas 2 amostras indeformadas, com auxílio do cilindro de UHLAND, e aproximadamente 1,5 kg de amostra deformada. No laboratório as amostras indeformadas foram envoltas em sua parte inferior com pedaços circulares de fibra de vidro e com alpaca grosseira, envoltório este seguro à parte externa do cilindro por meio de elásticos, o que permitiu perfeito contato da superfície do solo, através de seus poros, com o papel mata-borrão da mesa de tensão, e posteriormente com as placas porosas e membranas de pressão. Estas amostras, assim preparadas, foram deixadas a saturar em uma bacia plástica, até que se notou um filme de água na superfície das mesmas, quando então foram usadas nas determinações da capacidade de retenção da água, para o que utilizou-se de aparelhos da forma relacionada na Tabela 1, segundo SCARDUA (1972). As amostras deformadas por sua vez, constituíram-se de porções de 20 g aproximadamente de terra fina seca ao ar, colocadas a saturar dentro de anéis de borracha, e para estas igualmente se determinou a capacidade de retenção da água com os mesmos aparelhos.

Ainda valendo-se das amostras indeformadas, de-

terminou-se a densidade global (dg) e com a terra fina seca ao ar, fez-se determinações da densidade da partícula (dp), pelo método do picnômetro, a granulometria pelo método da pipeta (fração argila) e por peneiramento úmido (a fração grosseira).

Tabela 1. Aparelhos e tensões utilizadas nas determinações da capacidade de retenção da água.

Aparelho	Tensão em atm
Mesa de Tensão e Placa Porosa de Richards	0,001
" " " " " " "	0,01
" " " " " " "	0,02
" " " " " " "	0,06
" " " " " " "	0,08
" " " " " " "	0,10
Placa de Pressão de Richards	0,33
" " " " "	0,70
" " " " "	1,00
Membrana de Pressão de Richards	3,00
" " " " "	5,00
" " " " "	8,00
" " " " "	15,00

4.2.2. Seleção e preparo das áreas experimentais

Realizou-se o experimento em dois tipos de so-

los, por serem representativos da região, e por apresentarem características físicas contrastantes.

As glebas utilizadas, haviam sido cultivadas com ressoca de cana do ano anterior, e foram cultivadas pelo menos 10 anos anteriores (para TRE) e 8 anos (para PVA-laras), seguidamente, com esta mesma cultura. Após o corte da ressoca de cana, nos dois tipos de solo, nas áreas experimentais (600 m² para cada tipo de solo), as soqueiras foram arrancadas e retiradas do local, sofrendo o solo uma gradeação profunda, e mantido limpo desde então.

Para determinar a infiltração em solo mais seco foi reservada uma área de 225 m² para cada tipo de solo, a qual sofreu um processo de secamento durante 45 dias (após 120 dias da gradeação), mantendo o solo coberto com lona plástica à noite e quando ameaçava chuva, e o restante do tempo descoberto. Circundando a área, construiu-se um canal para escoamento rápido de qualquer enxurrada.

4.2.3. Utilização do Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro

Procurou-se familiarizar-se com o funcionamento do simulador, instalando-o nas proximidades do Departamento de Engenharia Rural, no Campus da ESALQ, onde procedeu-se a ensaios com o simulador operando-o à pressão desejada com auxílio de um conjunto motobomba elétrico. Determinou-se as va-

zões dos aspersores 5B e 5D sob pressões de serviço de 0,42 e 0,63 atmosferas respectivamente, e finalmente foram registradas as intensidades de precipitação e respectivas distribuições, e os resultados dos ensaios revelaram vazões de 0,016 l/s e 0,058 l/s para os aspersores 5B e 5D respectivamente, igualmente, as intensidades de precipitações foram de 18,2 mm/h e 42 mm/h, considerando-se a área da microparcela experimental (0,50 x 0,50 m), no centro da barraca, e obteve-se um coeficiente de uniformidade da precipitação de 90% para ambos os aspersores.

As Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ilustram o simulador-de-chuva-infiltrômetro.

O uso do simulador-de-chuva como infiltrômetro, se baseou no fornecimento de um volume conhecido de água, num determinado tempo, precipitado sobre uma área conhecida. A microparcela cuja área era de $0,25 \text{ m}^2$ (0,5 x 0,5 m), a qual recebia a água precipitada no centro da barraca, era limitada por uma armação metálica que possuía na sua parte interna uma calha por onde o excesso de água era coletado e drenado com auxílio de uma mangueira, para um recipiente de vidro, conforme ilustram as Figuras 4 e 5. A diferença entre a água precipitada e a coletada no recipiente de vidro, representava a água infiltrada.

A intensidade de precipitação, nos tempos dese-

jados, era determinada através de 4 coletores colocados nos cantos da micro-parcela, conforme a Figura 4. A micro-parcela foi localizada no centro da área precipitada, cuja uniformidade de distribuição da água foi previamente verificada, através de ensaios, conforme mencionado anteriormente.

O controle da pressão do aspersor foi feito com auxílio de um registro de gaveta, um manômetro na câmara de expansão e um manômetro situado próximo ao aspersor, conforme esquema da Figura 2.

4.2.4. Utilização do Infiltrômetro de anéis concêntricos

Trabalhou-se com dois conjuntos de anéis idênticos, um constituindo repetição do outro em determinações simultâneas.

O fornecimento de água para o anel interno de cada conjunto, foi feito por depósitos constituídos de tubos de PVC-rígido, de 2 m de altura e 30 cm de diâmetro, os quais tinham suas vazões controladas através da variação do nível de água em um tubo plástico transparente de 3/8" de diâmetro e uma fita métrica, ambos colocados na parte externa dos depósitos. Os depósitos, foram fixados em tripês de madeira a 40 cm do solo, e quando pela suas fixações, preocupou-se com que os mesmos ficassem nivelados, tornando mais precisas as leituras fornecidas pelo

nível de água no tubo transparente. A capacidade destes reservatórios era de 141 litros e cada reservatório foi enchido com água livre de impureza sólida, para evitar obstruções das boias. Destes depósitos, a água era conduzida através de conexões e mangueiras de latex, diretamente para as boias da área do cilindro interno, as quais mantinham uma altura de lâmina d'água de 5 cm, com oscilação máxima de 4 mm, conforme BERNARDO (1971) e OLIVEIRA (1977); estas boias, se prestaram muito bem para o fornecimento da água a nível constante.

Os cilindros, foram instalados a 15 cm de profundidade, de acordo com ISRAELSEN (1967) e OLIVEIRA (1977), de forma a ficarem ambos nivelados sobre uma superfície de solo também previamente nivelada; a penetração dos anéis no solo foi realizada por percussão sobre uma prancha de madeira colocada sobre os mesmos e um nível horizontal indicava a posição correta dos cilindros.

O fornecimento de água para área de bordadura dos cilindros (coroa formada entre os cilindros interno e externo), foi de um depósito de 200 litros, também a 0,40 m acima do solo, em suporte de madeira, com água igualmente filtrada, e também mantendo-se uma lâmina constante d'água de 5 cm, com auxílio de 2 boias, por ser uma área maior que a do cilindro interno, e porque as boias não poderiam ter sua vazão aumentada, sem prejuízo de seu funcionamento satisfatório.

Através de observações e medições prévias, determinou-se que quantidades de água eram necessárias dentro do anel interno e na área de bordadura, e estas quantidades foram colocadas de uma vez no início de cada aplicação dos anéis, fazendo com que toda água liberada pelas boias correspondesse a água infiltrada uniformemente dentro da área considerada, desde o início até o final, e quando interrompeu-se as medições, logicamente os cilindros encontravam-se cheios com a água correspondente ao fornecimento inicial, a qual não foi considerada.

O uso destes anéis concêntricos, como infiltrômetros, se baseou no fornecimento de um volume conhecido de água, num determinado tempo, para uma área conhecida.

4.2.5. Manejo e condições das áreas experimentais

Os ensaios de infiltrações foram realizados nos dois solos, TRE e PVA-Laras, sob duas condições de umidade, isto é, solo inicialmente seco e solo inicialmente úmido.

Para secagem do solo, o mesmo foi protegido contra chuva com auxílio de lona plástica durante 45 dias, conforme relatado antes.

No estudo da infiltração com o simulador de chuva, foram usados dois aspersores, 5B e 5D, fornecendo duas intensidades de precipitação, com duas repetições. A barraca do

simulador de chuva cobria uma área de $13,47 \text{ m}^2$ e as precipitações dos aspersores 5B e 5D cobriam círculos de 2 m e 2,5 m respectivamente. A microparcela experimental era de $0,25 \text{ m}^2$ ($0,50 \times 0,50 \text{ m}$).

A Figura 10 esquematiza as posições dos ensaios com o simulador-de-chuva e os conjuntos de anéis, estes foram instalados duas vezes apenas, para cada solo, uma no solo seco e outra no solo úmido, enquanto que o simulador foi instalado 8 vezes em cada solo; pelo que, depreende-se que foi necessário uma área útil de $107,76 \text{ m}^2$ em cada solo, para o ensaio com simulador, e uma área de $0,502 \text{ m}^2$ para o ensaio com anéis em cada solo.

Em cada ensaio, para solo mais seco, manteve-se o restante da área coberta, além da construção de um canal circundante à barraca, providências estas, que podem explicar a insignificante variação de umidade inicial de um para outro ensaio.

A água precipitada dentro da barraca e fora da microparcela, possibilitou maior acuidade do experimento, uma vez que constituiu, ao se infiltrar concomitantemente com a água da microparcela experimental protegida pela calha coletora, uma barreira à infiltração lateral desta última, segundo MEYER (1960).

Figura 10. Geometria da instalação do simulador-de-chuva e dos anéis concêntricos.

A umidade do solo foi determinada gravimetricamente, com auxílio de um trado espiral, retirando as amostras a igual distância da microparcela do simulador e dos anéis.

Os ensaios com os infiltrômetros e simulador foram feitos simultaneamente.

4.2.6. Procedimento na obtenção dos dados de infiltração

Para os anéis

O volume de água infiltrado no anel interno era determinado no depósito de PVC, com auxílio do tubo transparente e escala métrica, colocados na parte externa do mesmo (a altura de água do depósito, consumida na infiltração e a sua área, determinavam o volume infiltrado). Este volume de água dividido pela área do anel interno ($314,16 \text{ cm}^2$) definia a altura de água infiltrada. As leituras eram feitas a cada minuto no início do ensaio, e a medida que a infiltração diminuía, os intervalos de tempo para cada leitura aumentava e, a partir de 2 horas de ensaio, a leitura era feita a cada hora.

Para o simulador-de-chuva

O volume de água infiltrado foi resultante da diferença entre o volume precipitado e o volume que escoou como enxurrada.

O volume de água precipitado em cada intervalo de tempo, foi medido pela precipitação média dos quatro pluviômetros colocados nos cantos da microparcela, e constituiu a intensidade de precipitação dentro da mesma.

A diferença entre o volume precipitado e o volume de água coletado pelo tubo de drenagem, era o volume infiltrado.

Este volume infiltrado dividido pela área da microparcela, constituia a altura da água infiltrada.

4.2.7. Tratamento Estatístico

A Tabela 2, traz os tratamentos e suas variações, englobando:

- 2 tipos de solos, 2 condições de umidade inicial e 3 variações em aparelhos, a saber: simulador-de-chuva-infiltrômetro com aspersores 5B e 5D e infiltrômetro de anéis concêntricos.

O delineamento estatístico gerou 24 parcelas, considerando a repetição realizada para cada ensaio.

Tabela 2. Delineamento experimental, num esquema fatorial do tipo 2 x 2 x 3.

Tipos de Solos	Condição inicial de umidade	Simulador-de-chuva-Infiltrômetro		Infiltrômetro de Anéis "A"
		Aspersor 5B "B"	Aspersor 5D "D"	
TRE-"T"	seco "s"	TsB	TsD	TsA
	úmido "u"	TuB	TuD	TsA
PAV-L-"P"	seco "s"	PsB	PsD	PsA
	úmido "u"	PuB	PuD	PuA

Para a análise estatística dos resultados dos ensaios, foi usado o processo Stepwise de regressão, descrito por NETER (1974), com o objetivo de selecionar o grupo de variáveis para ser incluído no modelo. O modelo usado foi um modelo de regressão polinomial onde a variável dependente (Y) foi definida como sendo os resultados de infiltração, em cada solo e para cada condição de umidade inicial considerada, determinados com auxílio do simulador-de-chuva, e a variável independente (X) foram os resultados de infiltração em condições idênticas de solo e umidade, determinados com auxílio do infiltrômetro de anéis. As variáveis independentes foram consideradas em suas potências do 1º, 2º, 3º, 4º e 5º graus.

5. RESULTADOS

5.1. Para o Solo Terra Roxa Estruturada (TRE)

Com os dados das Tabelas 4 e 5, construiu-se as curvas de capacidade de retenção de água para o Solo TRE, de 15 em 15 cm, representadas nas Figuras de 11 a 18.

Tabela 3. Média dos resultados de análises físicas do solo TRE.

Profundidade (cm)	d_g (g/cm ³)	d_p (g/cm ³)	Porosida de total Calcula- da (%)	Granulometria (segundo USDA) - Em %						
				Areia muito grossa	Areia média	Areia Fina	Areia muito fina	Areia Total	Argila	Limo
0 - 15	1,408	2,828	50,21	0,52	13,55	20,11	9,23	45,86	36,80	17,34
15 - 30	1,290	2,737	52,87	0,59	10,51	15,72	5,60	33,52	49,57	16,91
30 - 45	1,267	2,785	54,51	2,52	11,08	4,30	11,65	32,65	51,81	15,54
45 - 60	1,391	2,787	50,45	0,28	5,35	22,62	10,17	31,20	54,63	14,17
60 - 75	1,189	2,828	57,96	0,25	5,61	11,31	11,20	29,12	57,65	13,23
75 - 90	1,170	2,749	57,44	0,23	3,53	11,40	13,71	29,37	57,72	12,91
90 - 105	1,121	2,743	59,13	0,23	4,47	8,01	13,76	27,82	59,70	12,45
105 - 120	1,193	2,782	57,12	0,28	4,66	11,29	9,33	26,10	60,11	13,79

Tabela 4. Resultados de determinação da capacidade de retenção de água do solo TRE, para amostras indeformadas.

Profundidade (cm)	Umidade θ ($\theta = U.d_g$) das amostras indeformadas do TRE, sob tensão em atm.													
	0,001	0,01	0,02	0,06	0,08	0,10	0,33	0,70	1,00	3,00	5,00	8,00	15,00	
0 - 15	39,75	39,65	33,42	38,18	37,50	37,20	34,74	34,29	33,60	31,73	30,21	27,70	21,25	
15 - 30	37,26	36,40	35,00	36,35	36,96	35,98	35,12	33,71	33,41	30,42	27,33	26,55	22,27	
30 - 45	43,00	42,28	41,57	37,25	27,60	27,13	35,27	34,64	32,65	30,38	27,72	25,25	21,25	
45 - 60	43,86	42,70	41,98	40,34	39,75	39,41	36,70	34,98	34,28	30,94	30,33	30,00	26,61	
60 - 75	47,98	45,46	43,91	40,45	39,55	38,74	35,65	34,25	33,65	32,11	31,26	30,26	28,50	
75 - 90	48,06	44,85	42,88	40,42	39,36	39,67	38,22	37,17	36,44	34,92	33,65	32,66	30,98	
90 - 105	50,41	48,80	48,26	47,71	47,16	46,62	42,70	42,30	41,68	39,38	38,29	36,65	34,68	
105 - 120	55,60	54,27	53,22	50,05	49,27	48,13	47,67	45,10	44,33	41,85	41,35	38,00	35,36	

Tabela 5. Resultados da determinação da capacidade de retenção da água do Solo TRE, para amostras deformadas.

Profundidade (cm)	Umidade θ ($\theta = U.d_g$) das amostras deformadas de TRE, sob tensão em atm											
	0,001	0,01	0,02	0,06	0,08	0,10	0,33	0,70	1,00	3,00	5,00	8,00
0 - 15	65,35	59,30	56,95	50,42	48,22	48,12	37,40	29,68	27,00	21,60	20,50	20,35
15 - 30	71,33	64,68	60,52	51,65	47,70	46,22	34,16	27,40	26,96	22,64	21,43	20,85
30 - 45	69,70	64,70	61,72	53,90	51,90	49,87	34,20	27,22	25,61	22,34	21,66	21,29
45 - 60	70,96	65,06	60,46	50,09	46,68	44,00	39,11	34,38	30,38	27,15	26,71	25,57
60 - 75	71,98	64,85	57,66	43,22	41,90	36,84	33,30	30,00	28,33	27,00	26,70	26,00
75 - 90	69,40	61,29	53,00	40,92	38,60	38,00	32,55	30,38	29,90	28,42	28,00	27,18
90 - 105	77,05	66,14	59,30	47,16	45,14	43,36	37,00	34,12	33,18	32,15	30,26	29,35
105 - 120	71,84	65,96	62,79	51,22	48,67	37,78	38,29	36,06	33,89	32,98	30,95	30,85

Figura 11. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 0 - 15 cm.

Figura 12. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 15 - 30 cm.

Figura 13. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 30 - 45 cm.

Figura 14. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 45 - 60 cm.

Figura 15. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 60 - 75 cm.

Figura 16. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 75 - 90 cm.

Figura 17. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 90 - 105 cm.

Figura 18. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo TRE, à profundidade de 105 - 120 cm.

Tabela 6. Resultados das determinações de umidade inicial, ao longo do perfil da TRE, sob condições de solo seco, antes da primeira aplicação com o simulador (aspersor 5B).

Profundidade (cm)	Umidade com base em volume, $\theta = U.d_g$; (Solo TRE Seco) 1a. aplicação
0 - 15	21,58
15 - 30	23,81
30 - 45	23,94
45 - 60	24,33
60 - 75	24,56
75 - 90	25,09
90 - 105	25,46
105 - 120	26,88

Tabela 7. Resultados das determinações da umidade inicial ao longo do perfil da TRE, sob condições de solo úmido, antes das 4 aplicações, com o simulador.

Profundidade (cm)	Umidade com base em volume (TRE úmido)			
	$\theta = U \cdot d_g$			
	1a. apl. 5B	2a. apl. 5B	3a. apl. 5D	4a. apl. 5D
0 - 15	48,24	48,12	47,18	47,37
15 - 30	50,32	49,71	49,41	48,77
30 - 45	51,88	51,70	51,64	51,18
45 - 60	52,50	52,01	51,81	51,18
60 - 75	53,60	52,91	52,58	51,85
75 - 90	53,60	53,38	52,99	52,44
90 - 105	56,76	55,91	55,61	54,86
105 - 120	58,10	57,62	57,34	56,72

Tabela 8. Resultados de infiltração obtidos para a TRE, sob condições de solo seco e úmido, com os anéis concêntricos e o simulador de chuva (aspersores 5B e 5D).

Tempo (min)	TRE SECO infiltração (mm/h)			TRE ÚMIDO infiltração (mm/h)		
	Anéis	S-5B	S-5D	Anéis	S-5B	S-5D
1	168,750	18,088	40,624	101,250	19,032	41,350
2	168,750	17,873	40,701	94,500	18,573	38,693
3	176,070	17,453	46,204	87,750	18,723	41,236
6	166,500	17,580	42,178	83,250	18,968	42,892
9	137,250	17,325	45,771	87,755	18,522	41,532
12	130,500	17,783	42,255	76,500	18,841	40,306
17	125,550	18,530	46,681	71,550	19,177	39,106
22	120,150	18,617	44,362	67,500	18,795	38,406
27	110,700	18,673	40,296	62,101	18,612	33,007
57	95,850	18,231	40,387	54,675	18,065	30,935
87	73,563	18,071	37,175	42,425	15,284	23,460
117	62,888	17,704	33,546	37,125	12,712	15,515
177	43,425	18,061	31,165	30,600	14,582	10,860
237	30,825	17,914	21,300	27,000	13,759	7,891
297	28,350	17,768	20,726	23,400	13,593	6,023
357	24,750	15,087	11,993	21,375	8,664	4,467
417	21,375	12,583	9,220	19,800	7,246	3,609
477	19,125	10,126	7,025	17,775	6,530	3,259
537	17,325	8,120	5,180	16,763	6,060	3,089
597	16,988	6,928	4,360	16,763	6,218	2,881
657	16,763	6,518	4,060	16,763	6,076	2,886
717	16,875	6,242	3,935	16,763	5,893	2,800
777	16,650	6,065	3,785	16,763	5,800	2,768
837	16,763	6,104	3,788	16,875	5,770	2,697
897	16,763	6,161	3,738	16,650	5,793	2,620

As intensidades médias de precipitações, com os aspersores 5B e 5D, observadas previamente e durante as aplicações do experimento, foram respectivamente 18,2 mm/h e 42 mm/h.

Os 15 últimos dados, de cada aplicação experimental, desta Tabela 8, originaram as curvas das Figuras de 19 a 24; utilizou-se apenas os 15 últimos dados devido a:

1. Ao se traçar as curvas com todos os dados, verificou-se que as mesmas não se prestavam às comparações estatísticas desejadas e apresentadas, havendo grande dispersão dos pontos iniciais.

2. Na verdade, a dispersão dos dados verificada, pode ser justificada pelo fato de não havermos registrado a infiltração real para os primeiros estágios da aplicação do simulador-de-chuva, uma vez que, nestes estágios, por não haver enxurrada, a infiltração foi considerada a própria precipitação.

3. Realmente, pode-se observar, que para o mesmo solo, a infiltração final foi menor para o aspersor 5D que para o 5B, contudo, a infiltração verificada no estágio inicial, foi maior para o 5D, do que para o 5B, apenas porque o 5D fornece também maior intensidade de precipitação.

Figura 19. Curva de infiltração, do solo TRE Seco, obtida com Anéis-Concêntricos-Infiltrômetro.

Figura 20. Curva de infiltração, do Solo TRE Seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B).

Figura 21. Curva de infiltração, do Solo TRE Seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).

Figura 22. Curva de infiltração, do Solo TRE Úmido, obtida com Anéis-Concêntricos-Infiltrômetro.

Figura 23. Curva de infiltração, do Solo TRE Úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B).

Figura 24. Curva de infiltração, do Solo TRE Úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).

5.2. Para o Solo Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras
(PVA-Laras)

Com os dados das Tabelas 10 e 11, construiu-se as curvas de capacidade de retenção de água para o solo TRE, de 15 em 15 cm, representados nas Figuras 25 a 32.

Tabela 9. Média dos resultados de análises físicas do Solo PVA-Laras.

Profundidade (cm)	d_g (g/cm ³)	d_p (g/cm ³)	Porosida de total Calcula- da (%)	Granulometria (segundo USDA) - Em %						
				Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Areia Total	Argila Limo
0 - 15	1,383	2,682	48,43	2,95	5,38	23,55	40,68	8,18	80,74	7,03 12,23
15 - 30	1,416	2,710	47,75	1,03	1,25	14,96	37,46	24,61	79,29	10,50 9,91
30 - 45	1,342	2,691	50,19	0,75	2,30	11,90	35,65	29,94	80,54	10,54 8,92
45 - 60	1,360	2,615	47,99	0,52	1,46	14,30	34,44	29,00	79,72	13,85 6,43
60 - 75	1,380	2,632	47,57	0,27	2,11	10,00	30,66	24,51	67,55	21,56 10,69
75 - 90	1,386	2,664	47,97	1,05	1,75	17,36	30,34	14,72	65,22	23,32 11,46
90 - 105	1,340	2,721	50,75	0,31	1,92	10,45	25,53	22,76	60,97	25,80 13,23
105 - 120	1,395	2,663	47,62	0,25	2,10	12,30	25,50	21,82	61,97	25,30 12,73

Tabela 10. Resultados da determinação da capacidade de retenção de água do solo PVA-Laras; para amostras indeformadas.

Profundidade (cm)	Umidade θ ($\theta = U.d_g$) das amostras indeformadas de PVA-Laras, sob tensão em atm											
	0,001	0,01	0,02	0,06	0,05	0,10	0,33	0,70	1,00	3,00	5,00	8,00 15,00
0 - 15	32,62	32,49	31,92	31,40	29,36	28,68	23,25	18,82	17,16	12,38	8,14	7,19 5,65
15 - 30	36,30	34,40	33,65	31,65	30,74	30,00	24,15	18,65	18,11	13,29	11,90	11,11 10,39
30 - 45	38,66	37,60	36,65	34,66	34,44	31,70	26,87	22,61	19,91	17,18	16,14	14,33 13,22
45 - 60	33,33	30,68	28,13	27,15	25,69	25,00	20,70	18,68	16,81	15,12	14,30	13,70 12,66
60 - 75	36,50	32,60	30,15	24,71	23,37	23,37	17,13	15,11	13,85	10,85	10,62	9,40 8,70
75 - 90	34,68	32,05	30,85	25,06	25,29	25,00	19,15	17,97	17,08	14,00	12,66	11,41 10,24
90 - 105	35,72	31,34	30,71	27,67	26,16	25,18	19,34	16,18	15,83	13,38	12,71	12,30 12,00
105 - 120	38,40	36,11	34,34	29,28	28,39	25,20	21,65	18,34	19,39	17,12	16,67	16,65 16,60

Tabela 11. Resultados da determinação da capacidade de retenção de água do solo PVA-Laras; para amostras deformadas.

Profundidade (cm)	Umidade θ ($\theta = U.d_g$) das amostras deformadas de PVA-Laras, sob tensão em atm													
	0,001	0,01	0,02	0,06	0,08	0,10	0,33	0,70	1,00	3,00	5,00	8,00	15,00	
0 - 15	54,48	49,70	45,91	27,86	21,95	18,65	9,41	4,49	4,67	4,50	4,38	3,13	3,11	
15 - 30	57,68	55,61	53,16	45,65	34,34	26,34	15,71	11,47	10,70	8,70	8,34	8,12	8,00	
30 - 45	61,20	57,84	54,95	47,15	43,72	34,92	18,71	15,38	13,25	12,37	12,27	12,14	11,69	
45 - 60	58,13	54,29	48,35	33,33	27,33	23,90	15,99	13,30	12,00	11,66	11,12	11,00	10,62	
60 - 75	59,29	54,67	50,73	35,70	29,68	25,73	16,73	11,77	10,72	9,00	8,72	8,70	8,40	
75 - 90	61,72	56,34	53,67	46,74	42,89	36,65	16,20	11,72	9,35	8,32	8,00	7,89	7,86	
90 - 105	63,65	57,69	53,77	42,26	37,79	30,86	17,15	15,88	14,34	12,15	12,35	12,30	12,00	
105 - 120	62,83	57,96	54,69	40,65	33,00	27,00	19,28	17,31	16,27	14,83	14,80	14,70	14,00

Figura 25. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 0 - 15 cm.

Figura 26. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 15 - 30 cm.

Figura 27. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 30 - 45 cm.

Figura 28. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 45 - 60 cm.

Figura 29. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 60 - 75 cm.

Figura 30. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 75 - 90 cm.

Figura 31. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 90 - 105 cm.

Figura 32. Curvas de retenção de água para amostras indeformadas e deformadas, do Solo PVA-Laras, à profundidade de 105 - 120 cm.

Tabela 12. Resultados das determinações de umidade inicial, ao longo do perfil do PVA-Laras, sob condição de solo Seco, antes da primeira aplicação com o simulador (aspersor 5B).

Profundidade (cm)	Umidade com base em volume, $\theta = U.d_g$; (Solo PVA-Laras seco) 1a. aplicação
0 - 15	14,19
15 - 30	14,71
30 - 45	15,11
45 - 60	15,67
60 - 75	16,20
75 - 90	16,39
90 - 105	17,26
105 - 120	17,47

Tabela 13. Resultados das determinações de umidade inicial ao longo do perfil do PVA-Laras, sob condições de solo úmido, antes das 4 aplicações com o simulador (2 com aspersor 5B e 2 com aspersor 5D).

Profundidade (cm)	Umidade com base em volume (PVA-Laras úmido)			
	$\theta = U.d_g$			
	1a. apl. 5B	2a. apl. 5B	3a. apl. 5D	4a. apl. 5D
0 - 15	35,19	38,00	37,58	37,10
15 - 30	36,49	38,00	38,22	37,22
30 - 45	37,43	39,62	38,91	38,41
45 - 60	37,89	39,64	38,98	38,66
60 - 75	39,00	39,67	38,98	38,75
75 - 90	39,84	40,50	41,04	39,88
90 - 105	46,65	47,05	46,78	46,70
105 - 120	48,30	48,56	47,41	47,53

Tabela 14. Resultados de infiltração obtidos para o PVA-Laras, sob condições de solo seco e úmido, com os anéis concêntricos e o simulador de chuva (aspersores 5B e 5D).

Tempo (min)	PVA-Laras seco Infiltração (mm/h)			PVA-Laras úmido Infiltração (mm/h)		
	Anéis	S-5B	S-5D	Anéis	S-5B	S-5D
1	361,396	18,841	44,637	182,336	18,535	43,376
2	330,750	18,573	44,637	168,898	18,688	42,803
3	303,705	19,338	44,828	155,460	20,102	42,803
6	274,250	19,402	44,879	139,413	18,778	42,981
9	249,750	18,892	43,249	125,995	18,293	42,816
12	224,956	18,522	43,847	114,808	19,236	43,172
17	207,900	18,979	44,011	101,327	19,208	43,284
22	182,250	18,505	44,186	90,410	18,841	43,315
27	156,600	18,416	44,263	79,672	18,627	43,690
57	91,125	19,336	43,771	60,107	19,064	43,319
87	58,725	19,112	42,930	49,590	18,710	42,368
117	44,775	19,494	42,598	43,211	19,333	42,693
177	39,825	18,947	41,176	38,019	18,144	19,765
237	36,225	18,591	40,438	31,965	17,801	13,751
297	32,175	17,909	26,488	31,950	15,784	8,900
357	31,500	17,459	11,702	31,050	12,056	6,844
417	31,500	12,419	6,334	30,375	10,354	5,093
477	31,245	10,501	5,763	30,150	9,160	4,867
537	31,163	9,452	5,344	29,813	8,433	4,586
597	30,938	9,215	5,182	29,813	8,183	4,359
657	31,050	8,703	5,040	29,700	8,130	4,335
717	31,050	8,659	5,085	29,588	8,088	4,426
777	31,050	8,705	5,049	29,588	8,079	4,344
837	31,050	8,716	4,983	29,475	8,063	4,240
897	31,050	8,680	4,918	29,475	8,057	4,195

OBS.: 1. Para esta Tabela 14, valem todas observações feitas para a Tabela 8 (pág. 54).

2. Com os 15 últimos dados desta Tabela 14, construiu-se as curvas das Figuras de 33 a 38.

Figura 33. Curva de infiltração, do Solo PVA-Laras seco, obtida com Anéis-Concêntricos-Infiltrômetro.

Figura 34. Curva de infiltração, do Solo PVA-Laras seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B).

Figura 35. Curva de infiltração, do solo PVA-Laras seco, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).

Figura 36. Curva de infiltração, do Solo PVA-Laras úmido, obtida com Anéis-Concêntricos-Infiltrômetro.

Figura 37. Curva de infiltração, do Solo PVA-Laras úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5B).

Figura 38. Curva de infiltração, do Solo PVA-Laras úmido, obtida com Simulador-de-Chuva-Infiltrômetro (5D).

5.3. Resultados da análise estatística com os dados dos ensaios de infiltração

Tabela 15. Resultados da análise de correlação entre os dados de infiltração dos anéis concêntricos com dados do simulador-de-chuva.

Ensaio	Umidade inicial	Equação de regressão	Coefficiente de correlação r	Coefficiente de determinação r ²
SOLO-TRE				
Anéis x 5B	seco	$Y = -22,293 + 2,326X - 0,038X^2 + 0,0002X^3$	0,8416	0,7083
Anéis x 5D	seco	$Y = -35,744 + 2,803X - 0,027X^2$	0,9747	0,9500
Anéis x 5B	úmido	$Y = 3,396 + 0,584X^2 - 0,009X^4 + 0,0004X^5$	0,9291	0,8633
Anéis x 5D	úmido	$Y = -38,964 + 3,723X - 0,076X^2$	0,9830	0,9663
SOLO-PVA-Laras				
Anéis x 5B	seco	$Y = -66,207 + 3,634X - 0,037X^2$	0,6605	0,4363
Anéis x 5D	seco	$Y = -287,172 + 13,839X - 0,140X^2$	0,8883	0,7891
Anéis x 5B	úmido	$Y = -112,863 + 6,302X - 0,074X^2$	0,8000	0,6400
Anéis x 5D	úmido	$Y = -90,142 + 3,244X$	0,9723	0,9454

Nesta Tabela 15, Y = infiltração calculada para o simulador-de-chuva-infiltrômetro e X = infiltração observada através do infiltrômetro de anéis.

6. DISCUSSÃO

Os dados obtidos neste experimento foram analisados e permitiram as inferências apresentadas a seguir, sem entrar em detalhes teóricos e matemáticos do processo, com ênfase nas variações apresentadas pelas diferenças de metodologias empregadas conforme os objetivos do presente trabalho.

6.1. Infiltração no solo TRE

Os ensaios de infiltração foram realizados em condições de umidades diferentes de acordo com FLETCHER (1944), e observando os resultados de infiltração neste solo, em condições de baixa umidade, verificou-se que ela é maior nos anéis concêntricos do que no simulador, tanto no início como no final do processo, conforme ilustram as Figuras 19, 20 e 21. No caso da infiltração inicial, é perfeitamente justificável, pois, o fornecimento de água superou a infiltração para o caso

dos anéis, além do que, nestes a carga hidráulica também teve grande influência conforme afirma PHILLIP (1958). Para os ensaios com o simulador onde a infiltração inicial superou a precipitação, a capacidade de infiltração ficou limitada à precipitação do simulador. A infiltração final também diferiu, foi menor no simulador de chuva, no qual, segundo FREE (1968), DULLEY e KELEY (1939), HORTON (1940) e DAKER (1970), o impacto das gotas de chuva leva a formação de uma camada compactada de solo, superficial, bem como desagrega partículas do solo que tendem a obstruir os poros. WINTER (1974) afirma que tamanho de gotas afeta a infiltração, o que pode explicar as variações de infiltração verificadas, quando se compara não apenas os dados de anéis com os de simulador, mas também as variações para o próprio simulador com aspersores diferentes.

Os dados do próprio simulador, com intensidades de precipitação diferentes, apresentaram diferenças na infiltração, o que confirma as observações de BARNES (1957). O aspersor 5B, de intensidade de precipitação menor, apresentou infiltração inicial menor e a final maior, conforme mostra a Tabela 8. Sendo a infiltração inicial função da precipitação é evidente que a infiltração inicial é maior com o aspersor 5D. A diferença de infiltração final deve estar relacionada com a infiltração acumulada que é muito maior no aspersor 5D, o que deve ter influído na intensidade de infiltração. Outro fator que pode ter concorrido para esta diferença, é o ta-

manho das gotas, conforme afirma WINTER (1974).

Pela Tabela 8 pode-se observar que a infiltração devida ao simulador-de-chuva com aspersores 5B e 5D, no início do processo superou a precipitação e só a partir dos 87 minutos, para o aspersor 5B e dos 57 minutos para o aspersor 5D, a intensidade de precipitação superou a capacidade de infiltração do solo, estes resultados confirmam os trabalhos desenvolvidos por RUBIN e STEINHARDT (1964), que verificaram dois estágios distintos, no processo de infiltração através de precipitação, o primeiro caracterizado pela igualdade da velocidade de infiltração com a intensidade de precipitação e no segundo a infiltração é superada pela precipitação, havendo acumulação de água e consequentemente, enxurrada.

MEIN e LARSSON (1973), trabalhando com simulador-de-chuva em determinações de capacidade de infiltração de solos, determinaram que o processo ocorre em 3 estágios; consideraram intensidade de precipitação (i), condutibilidade hidráulica em solo saturado (k_s) e capacidade de infiltração (f_p), observaram que:

No estágio I = $i < k_s$, neste estágio não há enxurrada, a Capacidade de infiltração é maior que a Intensidade de Precipitação e, esta é quem determina o regime de infiltração.

No estágio II = $k_s < i \leq f_p$, toda água se infil

tra e, a umidade a cerca da superfície aumenta rapidamente, não se observando camada d'água duradoura na superfície.

No estágio III = $k_s < f_p \leq i$, há enxurrada nesta fase; a infiltração decresce; a Capacidade de Infiltração tende a ficar cada vez menor que a Intensidade de Precipitação ; esta tendência é limitada a um ponto, além do qual, a diminuição de uma observação para outra é tão pequena que o processo pode ser considerado constante. Neste estágio, a água se infiltra em um regime determinado pela própria capacidade de infiltração do solo.

No presente ensaio comprovou-se ser o simulador usado, de performance semelhante ao caracterizado por MEIN e LARSSON (1973), principalmente nos ensaios para o solo TRE.

Para as condições de solo úmido ocorreram as mesmas variações, porém, a precipitação superou a capacidade de infiltração em menos tempo, a partir de 57 minutos para o aspersor 5B e a partir de 17 minutos para o aspersor 5D, aproximadamente. Este fato ocorreu devido ao elevado teor de umidade inicial do solo influir no movimento da água causando menor infiltração. A infiltração final teve um comportamento idêntico, pelas mesmas razões já justificadas anteriormente.

Comparando os resultados entre o solo mais seco e o mais úmido observou-se que houve diferenças significativas na infiltração inicial no caso dos anéis concêntricos, concor-

dando com os estudos de BLACKBURN (1975), mas as infiltrações finais foram praticamente iguais. No simulador de chuva, nas condições de solo mais seco a infiltração final foi ligeiramente maior do que na condição de solo mais úmido. Este fato pode mostrar que em solo mais úmido há tendência de maior obstrução dos poros e compactação da superfície do solo, pelo efeito das chuvas. Os resultados obtidos confirmam aqueles apresentados por MOLDENHAWUER *et alii* (1960 e 1964).

O efeito das gotas de chuva sobre a superfície do solo conforme mencionado, não ocorre com os anéis, onde existe uma carga hidráulica constante não alterando a superfície do solo. Os altos valores de infiltração encontrados nos infiltrômetros com anéis concêntricos leva a interpretações falsas ao se estabelecer a infiltração para irrigação por aspersão.

6.2. Infiltração no solo PVA-Laras

Pelos resultados obtidos o comportamento de infiltração em solo seco foi idêntico ao que ocorreu na TRE, variando apenas na sua magnitude. A infiltração nos anéis foi muito elevada até aos 27 minutos, o que pode ser justificado devido este solo até 60 cm apresentar teor elevado de areia e umidade baixa, conforme mostram as Tabelas 9 e 12. No caso do simulador, a infiltração no início, foi constante até aos 237 minutos, para o aspersor 5B e 27 minutos para o 5D, aproximada-

mente, porque a capacidade de infiltração era superior à precipitação em ambos os casos. As ponderações feitas para a infiltração final no TRE, valem para este solo.

Para o solo mais úmido a infiltração inicial nos anéis foi menor em relação ao solo seco, apresentando uma queda mais acentuada a partir de 17 minutos, de acordo com a Tabela 14, a causa dessa diferença é que no solo úmido o gradiente de potencial da água é menor no início do processo, estes resultados confirmam aqueles obtidos por FLETCHER (1944) e BAVER (1956).

Ao se observar o comportamento do ensaio com simulador para PVA-Laras, foi evidente o estágio I e o estágio III do processo, conforme elucidou MEIN e LARSSON (1973) e o estágio II não foi tão evidente.

6.3. Capacidade de infiltração na TRE e PVA-Laras

De acordo com os resultados ilustrados nas Tabelas 8 e 14, pode-se observar que a capacidade de infiltração do PVA-Laras é superior ao da TRE. Estes resultados eram esperados, embora a porosidade na TRE seja maior do que no PVA-Laras, mas o movimento da água no solo em condições saturadas se processa nos grandes poros, cuja presença nos solos arenosos é bem maior.

O solo PVA-Laras, por estar menos sujeito a com

pactação, devido sua textura mais grosseira, também teve neste fato, quando pelas determinações com simulador, explicação para as taxas de infiltração mais elevadas.

Confrontando os resultados da infiltração ocorrida nos anéis com os do simulador com aspersores 5B e 5D, em ambos os solos e ambas condições de umidade, procedeu-se um estudo de correlação para verificar até que ponto se pode usar os dados dos anéis concêntricos para aplicá-los em projetos de aspersão. Como já foi relatado no início os dados de infiltração fornecidos pelos simuladores-de-chuva se aproximam mais dos dados de infiltração em irrigação por aspersão, e dada a dificuldade em se usar o simulador de chuva em operações de rotina, procurou-se estabelecer uma correlação entre os dados do simulador com os dos anéis concêntricos que é de mais fácil aplicação no campo. A Tabela 15 mostra os resultados estatísticos desta correlação, onde verifica-se que a mesma foi maior entre os anéis concêntricos e o simulador, para os solos em condições de umidade mais elevada com ambos aspersores. Pode-se justificar a melhor correlação em solo úmido em virtude da infiltração básica ocorrer um pouco antes da que ocorre em solo seco, e devido aos dados iniciais de infiltração em solo úmido haver sofrido uma variação menor até atingir a infiltração básica. Pode-se observar ainda pela Tabela 15 que as correlações entre anéis e simulador com aspersores 5B e 5D em ambos os solos variam de $r = 0,8000$ a $r = 0,9830$ em solo úmido, ao

passo que em solo seco a variação foi de $r = 0,6605$ a $r = 0,9747$.

Analisando as correlações entre os resultados das infiltrações dos anéis concêntricos com os do simulador com aspersores 5B e 5D em condições de solo úmido, verificou-se as maiores correlações entre os anéis com o simulador 5D, sendo na TRE o valor de $r = 0,9830$ e para PVA-Laras, o valor de $r = 0,9723$. As equações encontradas e que definem estas correlações foram, $Y = -38,694 + 3,723 X - 0,076 X^2$ para TRE e $Y = -90,142 + 3,244 X$ para PVA-Laras, onde Y é a infiltração calculada para o simulador em mm/h e X é a infiltração obtida nos anéis concêntricos em mm/h. Estas equações é que deverão servir de base para estabelecer a infiltração básica para subsidiar os projetos de irrigação por aspersão.

Em condições de solo seco as maiores correlações foram também dos anéis com o simulador de maior precipitação, isto é, aspersor 5D. Os valores destas correlações foram de $r = 0,9747$ e $r = 0,8883$ para a TRE e PVA-Laras respectivamente. As equações que definiram estas correlações foram, $Y = -35,744 + 2,803 X - 0,027 X^2$ para TRE, e $Y = -287,172 + 13,839 X - 0,140 X^2$ para PVA-Laras. Em caso de se determinar a infiltração em solo mais seco estas equações seriam as indicadas para estabelecer a infiltração básica em projeto de irrigação por aspersão.

7. CONCLUSÃO

O material e os métodos empregados, os resultados obtidos, analisados e interpretados, permitiram as conclusões apresentadas a seguir:

1. Em ambas as condições de umidade inicial assumidas para cada solo, os dados de infiltração dos anéis concêntricos apresentaram alta correlação com os do simulador com aspersor 5D, de maior intensidade de precipitação.

2. Os anéis concêntricos em ambas condições de umidade superestimaram os valores da infiltração básica o que é inadequado à irrigação por aspersão.

3. Para estabelecer a infiltração básica para subsidiar os projetos de irrigação por aspersão, as seguintes equações são as que mais se adaptam:

Para TRE seco, Anéis x aspersor 5D:

$$y = -35,744 + 2,803x - 0,027x^2$$

Para TRE úmido, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -38,964 + 3,723x - 0,076x^2$$

Para PVA-Laras úmido, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -90,142 + 3,244x$$

Para PVA-Laras seco, Anéis x aspersor 5D:

$$Y = -287,172 + 13,839x - 0,140x^2$$

Onde: Y = Infiltração Básica calculada para simulador com aspersores 5D em mm/h.

e x = Infiltração Básica observada com anéis em mm/h.

8. SUMMARY

The influence of the method utilized in determination of soil infiltration rate is definitively a factor to be taken in account, and this is the motive of this study.

The determination of soil infiltration capacity, was made on two soils types from Piracicaba Country of the São Paulo State. One was Terra Roxa Estruturada (TRE) and the other Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras (PVA-Laras), in two initial soil water conditions, dry = 45 days of drying, humid = natural soil water content, through a Rain-Simulator-Infiltrometer (with two precipitation intensities), and through a Concentric Ring Infiltrometers.

We found that the infiltrability through the rings in all cases was higher than that corresponding to the

rain simulator. This difference could be explained by the compactation of soil surface, and the translocation of the small particles of soil, which obstructed part of the soil pores; both phenomena were a consequence of rain drops impact.

This fact shows the necessity of using a factor to transform the data from the Concentric Ring Infiltrimeters (of easy application in the field), to the Rain-Simulator-Infiltrimeter (expensive; difficult for field application; but, often giving more precise result), avoiding in this way a superestimation of the soil infiltration capacity, what could drive us to using water resources irrationally, especially in sprinkling irrigation projects.

The equations, which make the mentioned transformation of the data from the rings to their equivalent in rain simulator with nozzle 5D (this nozzle of the simulator was the one, which larger correlation presented in the statistical analyses made), are the following:

For the soil TRE, under dry conditions, Rings x 5D:

$$Y = -35,744 + 2,803x - 0,027x^2$$

For the soil TRE, under humid conditions, Rings x 5D:

$$Y = -38,964 + 3,723x - 0,076x^2$$

For the soil PVA-Laras, under dry conditions

Rings x 5D:

$$Y = -287,172 + 13,839x - 0,140x^2$$

For the soil PVA-Laras, under humid conditions,

Rings x 5D:

$$Y = -90,142 + 3,244x$$

Were: Y = Calculated basic infiltration for
rain Simulator infiltrometer with 5D
nozzle, in mm/h.

and x = Observed basic infiltration through
the Rings, in mm/h.

9. LITERATURA CITADA

- ADAMS, J.R., D. KIRKHAN e D.R. NIELSEN, 1957. *A portable rainfall-simulator-infiltrrometer and physical measurement of soil in place.* Proc. Soil Sci. Soc. Amer. Ann. Arbor, 21: 473-476.
- BYRNES, W.R., 1961. *Hidrology balance of three Soil supporting natural hardwoods, planted rede pine, and old field plant Central Pennsylvania.* Pennsilvania State University. Tese de Ph.D, 11-6.
- BARNES, O.K., 1957. *A mobile infiltrrometer.* Agron. Journal, 49: 105-107.
- BAVER, L.D., 1956. *Soil Physics*, N.Y., Fourth Edition, John Wiley and Sons Inc., 498 p.
- BERNARDO, S., 1971. *Água no Solo.* Universidade Federal de Viçosa. 26 p. (Apostila).

- BERTRAND, A.R. e J.F. PARR, 1960. *Development of a portable sprinkling infiltrometer*. Trans. of the ASAE. Vol. 4:433-439.
- BLACKBURN, W.H., 1975. *Factors influencing infiltration and sediment production of semi-arid range lands in Nevada*. Water Resources Research. 11(6):929-937.
- BOUWER, H., 1969. *A study of final infiltration rates from cylinder infiltrometers and irrigation furrows with an electrical resistance network*. Trans. of the ASAE, Vol. 1:448-456.
- DAKER, A., 1970. *Água na Agricultura: Irrigação e drenagem*. 3a. ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, V. 3.
- DEMATTE, J.L.I., 1977. *Levantamento Semi detalhado dos Solos da Usina-de-Açúcar Costa Pinto*. Mimeografado, Piracicaba - SP, 266 p.
- DIXON, R.M. e A.E. PETERSON, 1968. *A vacuum system for accumulating runoff from infiltrometers*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 32:123-125.
- DULEY, F.L. e O.E. HAYS, 1932. *The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion*. J. Ag. Rs. 45:349-360.
- DULEY, F.L. e L. KELEY, 1939. *Effect of soil type, slope and surface conditions on intake of water*. Nebraska AES res. bul., 112:1-6.

ERIE, J.L., 1962. *Evolution of infiltration measurements.*

Trans. of the ASAE. Vol. 5, nº 1:11-13.

FLETCHER, J.E., 1944. *Some properties of water that influence infiltration.* Trans. Am. Geophys. Un., 30:548-554.

FREE, G.R., G.M. BROWNING e G.W. MUSGRAVE, 1968. *Relative infiltration of certain soils in comparison with their physical characteristics.* Im press in U.S.D.A. Tech. Bul.

GAVAND, S.A., 1972. *Movement of water in soils.* Utah Agr. Expt. Bull.; 724; 76 p.

HILLEL, D., 1970. *Solo e Água, Fenômenos e Princípios Físicos.* Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 231 p.

HILLEL, D. e S. REUVER, 1966. *A portable low-intensity rain simulator for field and laboratory use.* Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 30:661-662.

HORTON, R.E., 1940. *An approach toward a physical interpretation capacity.* Soil Sci. Soc. Am. Proc., 5:399-417.

ISRAELSEN, D.W., 1967. *Irrigation principles and practices.* John Wiley and Sons., New York,

KATSHINSKY, N.A., 1934. *Méthodes pour déterminer la perméabilité du sol à peau en vue d'une irrigation.* Trans. Int. Soc. Soil Sci.,; A 11, p. 79-99.

- LEWIS, M.R. e W.L. POWERS, 1939. *Study of factors affecting infiltration.* Soil Sci. Am. Proc. 3:334-339.
- MAZURAK, A.P., L. CHESNIN e A.E. FRARKS, 1975. *Detachment of soil aggregates by simulated rain-fall from heavy manured soils in eastern Nebraska.* Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 39(4): 732-736.
- MAZURAK, A.P. e P.N. MOSHER, 1969. *Detachment of soil particles in simulated rainfall.* Proc. Soil Sci. Soc. Am. 32:716-719.
- MEIN, R.G. e C.L. LARSON, 1973. *Modeling infiltration during a steady rain.* Water Resources Research, 9 (2):384-394.
- MEYER, L.D., 1960. *Use of the rainulator for runoff plot research.* Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 24. 319-322.
- MEYER, L.D. e J.V. MANNERING, 1960. *Soil and water conservation research with the rainulator.* Trans. of ASAE. 7 th int. Congress of Soil Sci. Soc. 1:457-463.
- MOLDENHAUER, W.C., W.C. BURROWS e D. SWARTZENDRUBER, 1960. *Influence of rain-storm characteristics on infiltration measurements.* 7th Intern. Congress of Soil Sci., Medison, Wisc., USA, 1960.
- MOLDENHAUER, W.C. e D.C. LONG, 1964. *Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: I - Effect over range of texture.* Soil Sci. Soc. Proc. of Am. Vol. 28:813-815.

- MORETTI, J.F. e H.A. MANFRINATO, 1965. *Determinação da capacidade de infiltração do solo para fins de irrigação por aspersão*. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Vol. XXII:38-52.
- MUSGRAVE, G.W., 1955. *How much of the rains enters the soil*. USDA Yearbook, Water, PP 151-159.
- NETER, J. e W. WASSERMAN, 1974. *Applied Linear Statistical Models*. Richard D. Irvin, inc.; Home Wood, Illinois, 842 p.
- OLIVEIRA, S.L., 1977. *Efeito da carga hidráulica, da profundidade da instalação do cilindro interno e do diâmetro do cilindro externo, na determinação da Velocidade de Infiltração Básica (VIB), pelo infiltrômetro de anel*. Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, MG, 32 p.
- PARR, J.F. e A.R. BERTRAND, 1960. *Water infiltration into soils*. Adv. in Agronomy, New York, 12:311-342.
- PHILLIP, J.R., 1958. *The theory of infiltration: VI - effect of water depth over soil*. Soil Sci. Baltimore, 85(5):278-286.
- REICHARDT, K., 1977. *Processos de transferência no sistema Solo-planta-atmosfera*. Curso de pós-graduação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP. 286 p.

RUBIN, J., R. STEINHARDT e P. REINIGER, 1964. *Soil water relations during-rain infiltration: II, moisture content profiles during rains of low intensities.* Soil Sci. Soc., of Amer. Proc. Vol. 28, nº 1:1-5.

RUBIN, J. e R. STEINHARDT, 1964. *Soil water relations during rain infiltration: III, water uptake at incipient ponding.* Soil Sci. Soc. Proc. Vol. 28, nº 11:614-619.

SHULL, H.A., 1961. *A by-pass furrow infiltrometer.* Trans. of the ASAE, 4:(1)15-17.

SCARDUA, R., 1972. *Porosidade de água de dois solos do Município de Piracicaba-SP.* Tese de Mestrado, E.S.A. "Luiz de Queiroz". Mimeografado, 83 p.

SLATER, C.S., 1967. *Cylinder infiltrometer for determining rates of irrigation.* Soil Sci. Soc. Proc. Vol. 24:457-459.

SWARTZENDRUBER, D. e T.C. OLSON, 1961. *Sand-model study of buffer in the double-ring infiltrometer.* Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 25:5-8.

SWARTZENDRUBER, D. e T.C. OLSON, 1960. *Model study of the double-ring infiltrometer in layered systems.* Trans. of the ASAE Vol. 1:441-447.

WINTER, E.J., 1974. *Water, Soil, and plant.* The Macmillan Press, London, 170 p.