

PERFIL DA TAXA DE APLICAÇÃO DE AGUA DE DUAS INSTALAÇÕES
COM PIVÔ CENTRAL

MARIA RAQUEL PINTO IDE

Orientador: Prof. 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 Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro de 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

I19p Ide, Maria Raquel Pinto
Perfil da taxa de aplicação de água de duas ins-
talações com pivô central. Piracicaba, 1989.
80p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Irrigação por aspersão - Taxa de aplicação de
água 2. Pivô Central - Taxa de aplicação de água I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba.

CDD 631.7

PERFIL DA TAXA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA DE DUAS INSTALAÇÕES
COM PIVÔ CENTRAL

MARIA RAQUEL PINTO IDE

Aprovada em: 28.12.1989

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Rubens Scárdua (Orientador)

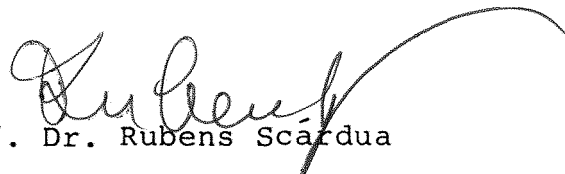
ESALQ/USP

Prof. Dr. José Antonio Frizzone

ESALQ/USP

Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira

UNICAMP



Prof. Dr. Rubens Scárdua

- Orientador -

A

Meus pais,

Ariel e Meyres

OFEREÇO

A

Milton, meu esposo e

Milton Junior, meu filho,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Rubens Scardua, Mestre e amigo, cuja orientação apoio e amizade, foram decisivos para minha Formação Universitária, e realização desse trabalho.

À meus tios Moacyr e Mariza Corsi, pela acolhida e amizade.

Aos colegas de curso, pela amizade e solidariedade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos funcionários do Departamnto de Engenharia Rural, pela amizade e serviços prestados.

A todos quantos, direta ou indiretamente, tenham colaborado na realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi.
LISTA DE TABELAS	x.
RESUMO	xii.
SUMMARY	xv.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Taxa de Aplicação de Água	4
2.2. Taxa de Infiltração de Água no Solo	10
2.3. Escoamento Superficial	16
2.4. Lâmina de Aplicação	21
2.5. Uniformidade de Distribuição	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Local	26
3.2. Clima	27
3.3. Solo	28
3.3.1. Tipo	28
3.3.2. Análise física	28
3.3.3. Características hidricas	29
3.3.3.1. Retenção de água	29
3.3.3.2. Infiltração de água	35
3.4. Características dos sistemas	40
3.5. Taxa de aplicação dos sistemas	42
3.6. Uniformidade de Distribuição	44

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Taxa de Aplicação	47
4.2. Escoamento Superficial	65
4.3. Uniformidade de Distribuição	67
5. CONCLUSÕES	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Diagrama do processo de infiltração sob uma precipitação variável.	11
2 Posição da lateral no momento do ensaio sistema pivô central DAN-MATIC.	26
3 Posição da lateral no momento do ensaio sistema pivô central ESCOMAT.	27
4 Curva e características de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. (1 ^o vão).	31
5 Curva e características de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. (8 ^o vão).	32
6 Curva e características de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. (1 ^o vão).	33
7 Curva e características de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. (13 ^o vão).	34
8 Curva de infiltração da água no solo (1 ^o vão). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. $VI = 19.31 T^{-0.67}$	35
9 Curva de infiltração da água no solo (5 ^o vão). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. $VI = 22.93 T^{-0.74}$	36

Figura	Página
10 Curva de infiltração da água no solo (balanço). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. $VI = 40.20 T^{-0.69}$	36
11 Curva de infiltração da água no solo (1 ^o vão). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. $VI = 15.45 T^{-0.75}$	37
12 Curva de infiltração da água no solo (1 ^o vão). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. $VI = 19.02 T^{-0.71}$	37
13 Curva de infiltração da água no solo (balanço). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. $VI = 7.2 T^{-0.52}$	38
14 Solução gráfica para determinação de escoamento superficial sob precipitação variável.	39
15 Vista do pluviógrafo no campo.	43
16 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MA- TIC. (1 ^o vão).	52
17 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MA- TIC. (2 ^o vão).	52
18 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MA- TIC. (3 ^o vão).	53
19 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MA- TIC. (4 ^o vão).	53

Figura	Página
20 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (5 ^o vão).	54
21 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (6 ^o vão).	54
22 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (7 ^o vão).	55
23 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (8 ^o vão).	55
24 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (Canhão).	56
25 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (1 ^o vão).	56
26 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (2 ^o vão).	57
27 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (3 ^o vão).	57
28 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (4 ^o vão).	58
29 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (5 ^o vão).	58
30 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (6 ^o vão).	59

Figura	Página
31 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (7 ^o vão).	59
32 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (8 ^o vão).	60
33 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (9 ^o vão).	60
34 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (10 ^o vão).	61
35 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (11 ^o vão).	61
36 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (12 ^o vão).	62
37 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (13 ^o vão).	62
38 Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (Balanço).	71
39 Perfil da precipitação ao longo da linha lateral. Sistema de irrigação pivô DAN-MATIC.	73
40 Perfil da precipitação ao longo da linha lateral. Sistema de irrigação pivô DAN-MATIC.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Tempo de aplicação de água ao longo da lateral do pivô central, para diferentes arranjos de aspersores e velocidade de rotação do sistema.	6
2 Granulometria, classe textural e densidade global. Fazenda Invernadinha. Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.	29
3 Granulometria, classe textural e densidade global. Fazenda Santa Helena. Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.	29
4 Características dos sistemas.	41
5 Características dos conjuntos motobomba.	42
6 Valores da taxa de aplicação de água do sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.	48
7 Valores da taxa de aplicação de água do sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.	50
8 Velocidade e direção do vento durante a determinação da taxa de aplicação dos sistemas.	65
9 Lâmina de água escoada.	66
10 Distribuição da precipitação ao longo da lateral. Pivô DAN-MATIC.	68
11 Distribuição da precipitação ao longo da lateral. Pivô ESCOMAT.	70

Tabela	Página
12 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, Caracterização Climática e Dados Complementares.	76

PERFIL DA TAXA DE APLICAÇÃO DE AGUA DE DUAS INSTALAÇÕES COM PIVÔ CENTRAL

AUTOR: Maria Raquel Pinto Ide

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rubens Scardua

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi analisar o perfil da altura de água e a taxa de aplicação de duas instalações de irrigação pivô central na cidade de Guaira-SP.

Um pluviógrafo modificado, registrou o volume precipitado acumulado e a variação do tempo, quando colocado sob cada um dos vãos do sistema, obtendo-se por meio desses dados, a curva aproximada da intensidade de aplicação de água, ou seja, o padrão de distribuição de água das instalações. Foram determinados a velocidade e a direção do vento no momento do ensaio e a velocidade de deslocamento da última torre.

A capacidade de infiltração da água no solo foi determinada em três pontos ao longo da lateral, a fim de se estabelecer, por meio de uma comparação com a taxa de aplicação de água dos sistemas, a ocorrência ou não de escoamento superficial.

Na determinação do perfil da altura de água ao longo da lateral, foram utilizadas duas linhas radiais de coletores, formando um ângulo de três graus entre si, mantidos a uma altura de 0.3 m do solo por meio de suportes, espaçados de 5.5 m.

No cálculo da uniformidade de distribuição de água pelos sistemas, foram utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.

Para cada teste foram determinados a velocidade de descolamento da última torre, a área irrigada, a lâmina evaporada, a declividade do local, a temperatura média, a umidade relativa do ar e a velocidade média do vento.

Os dados utilizados para análise da uniformidade de distribuição foram obtidos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, Seção de Irrigação e Drenagem.

Após análise dos resultados obtidos, concluiu-se que:

- Há uma ligeira queda na taxa de aplicação próximo ao centro do padrão de distribuição, devido à passagem da lateral sobre o pluviógrafo;
- Não ocorreu um aumento crescente e gradual da taxa de aplicação de água com o acréscimo da distância ao centro do sistema, fato atribuído a pequena área de cap-

WATER PROFILE APPLICATION RATE IN TWO CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEMS

AUTHOR: Maria Raquel Pinto Ide

ADVISER: Prof. Dr. Rubens Scardua

SUMMARY

The present research had the objectives to study the water profile and application rate in two center-pivot systems.

A modified pluviograph, was placed between towers center-pivot irrigation system to register the water precipitation volume accumulated and the time variation to identify the approximate rate of water application, i. e., the pattern of water distribution in the two center pivot irrigation system. It was determined the wind direction and velocity besides the speed of the movement of the last tower.

The water infiltration capacity in the soil was determined at three points located along the lateral of the system to study the run off through a comparison between the infiltration rate and the rate of water application.

The water profile determination along the lateral of the system was obtained by utilizing catch cans

placed at 0.3 m height from the soil, spaced by 5.5 m and located on two radial lines forming a 30° angle.

The calculations to determine the uniformity of water distribution in the systems used the Christiansen Uniformity Coefficient and the Distribution Uniformity Coefficient.

The speed of movement of the last tower, the irrigated area, the depth of water evaporated, the soil slope, the average temperature, the relative humidity and the wind velocity were registered for each trial. In the uniformity of distribution trial de result analysis used the values obtained by the Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, Seção de Irrigação e Drenagem.

The research results permit the following conclusions:

- The rate of water application in the center of the distribution pattern decreased a little due to the lateral movement over the pluviograph;
- It was not observed a gradual increase in the rate of water application with an increase in distance from the center of the system. This was attributed to the small pluviograph captation area that were used to determine the rate of water application. The results may indicate the necessity of a greater number of observations along lateral line;

- It was not observed a run off increase along the laterals. This may be due to the spacial variation in the soil infiltration capacity, wind velocity and ununiformity of water application;
- The systems studied presented a Uniformity of Distribution below 80% and an Christiansen Uniformity Coeficient above 80%;
- It was observed that along the lateral, there were some sprinklers with precipitation rates above or below the average but this did not modify the system efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação passou a ser prática de cultivo a partir da necessidade de se dotar quantidades ideais de água às culturas, visando uma maior produção agrícola. Há aproximadamente cinquenta anos, iniciava-se no Sul do País o uso da irrigação por superfície. Hoje a irrigação se estende à todas as regiões, com mais de um milhão de hectares irrigados, com diferentes sistemas de aplicação de água, sendo que dentre eles, a irrigação por aspersão tem sido a mais utilizada nos últimos anos, devido à sua adaptação aos mais variados tipos de solo e topografia, e um elevado grau de eficiência e uniformidade na aplicação de água, de fertilizantes e defensivos, com maior economia de água, mão de obra e menor risco de erosão.

O sistema de irrigação por pivô central é um sistema mecanizado de aspersão, possuindo uma linha lateral operando em movimento circular contínuo ao redor de um ponto central, à uma velocidade pré fixada. Ele tem substituído muitos sistemas de irrigação por superfície e outros tipos de sistemas por aspersão devido a grande área de cobertura, elevada eficiência de aplicação e automação, sendo esse fator, segundo alguns autores, a principal vantagem do sistema, devido aos custos operacionais relativamente baixos.

O sistema de irrigação pivô central deve ser normalmente projetado e operado de modo a aplicar água a uma taxa igual ou menor à taxa de infiltração do solo.

Devido ao tempo em que a água é aplicada, a taxa de aplicação próxima do pivô é baixa e vai aumentando progressivamente à medida que se afasta do pivô até o extremo da lateral. Ainda que próximo ao centro do sistema a taxa de aplicação seja pequena, seu tempo de aplicação é grande, podendo em determinados momentos superar a taxa de infiltração do solo, que decresce rapidamente com o tempo. Já na extremidade final da lateral, embora o tempo de aplicação seja reduzido, a taxa de aplicação é alta e dependendo do comprimento da lateral, esta taxa supera a velocidade de infiltração da água no solo, podendo ocorrer escoamento superficial.

A maioria dos sistemas projetados no Brasil não levam em consideração a capacidade de infiltração do solo, ficando o aspecto técnico relegado a segundo plano.

O espaçamento e tipo dos aspersores e a pressão variam ao longo da lateral, afim de se obter uma distribuição uniforme de água, a diferentes comprimentos de laterais e capacidade do sistema.

Segundo BRIDI (1984), um parâmetro de grande importância no sistema de irrigação por pivô central é a uniformidade de distribuição de água. A baixa uniformidade das lâminas de água sobre a área irrigada traz como consequência uma redução na eficiência de aplicação do sistema, afetando a dotação de água às culturas.

O objetivo do presente trabalho é analisar o desempenho de duas instalações de irrigação pivô central através do perfil da altura de água e da taxa de aplicação ao longo da lateral e suas consequências no processo de infiltração da água no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Taxa de Aplicação de Água

Segundo ADDINK *et alii* (1975) as considerações para projetos de sistemas de irrigação por pivô central são diferentes das considerações feitas aos sistemas convencionais. Nos sistemas convencionais de aspersão, a principal preocupação é com a uniformidade de aplicação da água. Os aspersores são selecionados de forma que sua taxa de aplicação não exceda a taxa de infiltração do solo. No sistema pivô central obtem-se uma aplicação uniforme mais facilmente, devido ao movimento contínuo da lateral e a disposição dos aspersores com espaçamento e modelos convenientes. Entretanto a taxa de aplicação do pivô central poderá exceder a taxa de infiltração do solo, especialmente no final da lateral. O excesso de aplicação de água se escoará dos pontos mais altos para os pontos mais baixos, causando uma desuniformidade na lâmina infiltrada e erosão do solo.

Segundo KINCAID *et alii* (1969), a taxa de aplicação de água em um ponto na superfície do solo varia continuamente com o tempo durante a aplicação por qualquer sistema de aspersores em movimento. No sistema de pivô central, a taxa de aplicação é diretamente proporcional à

distância ao pivô, pois a vazão e velocidade de movimento dos aspersores são proporcionais ao comprimento da lateral.

HEERMAN & HEIN (1968) analisando dois sistemas de irrigação pivô central, encontraram uma lâmina aplicada grande próximo ao centro de revolução, devido ao longo tempo de aplicação, apesar da taxa de aplicação ser baixa. Movendo-se radialmente, o tempo de aplicação decresce com um correspondente acréscimo da taxa de aplicação para se obter uma lâmina uniforme. Critérios para projetos de irrigação por aspersão especificam uma taxa de aplicação admissível. O volume total aplicado acima da taxa admissível (infiltração do solo), escoará superficialmente.

Foi também constatado pelos autores, que sistemas pequenos, tem um menor volume total aplicado excedendo a taxa admissível. A lâmina excedente cresce consideravelmente com o aumento da distância do centro do sistema, indicando que o comprimento da lateral é o principal fator no projeto. Aspersores com raio de distribuição maior, fornecem um tempo grande de oportunidade para a infiltração e permitem a redução da taxa de aplicação de água.

Segundo BITTINGER & LONGENBAUGH (1962), o principal problema no pivô central é a grande variação na velocidade, sendo necessário uma grande variação na taxa de aplicação a fim de se manter uma razão constante entre a lâmina d'água e a velocidade em toda extensão da linha lateral, além de ser necessário uma maior pressão e volume de água no final da linha.

De acordo com ADDINK *et alii* (1983) a taxa de aplicação varia ao longo da lateral, devido ao tempo em que a água é aplicada decrescer do pivô ao final da lateral. O Tabela 1 mostra o tempo em que a água é aplicada em vários pontos ao longo da lateral do pivô central, para diferentes arranjos de aspersores e velocidade de rotação.

Tabela 1 - Tempo de aplicação de água ao longo da lateral do pivô central, para diferentes arranjos de aspersores e velocidades de rotação do sistema.

TEMPO PARA RESOLUÇÃO DA LATERAL (HORAS)	DISTANCIA AO LONGO DA LATERAL EM RELAÇÃO AO CENTRO DO SISTEMA (METROS)											
	50.3			100.6			201.2			402.3		
	DIÂMETRO MOLHADO PELOS ASPERSORES (METROS)											
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	9.1	27.4	24.4	9.1	27.4	27.4	9.1	27.4	39.6	9.1	27.4	53.3
6	10	31	28	5	16	16	3	8	12	1	4	8
12	21	63	56	10	31	31	5	16	22	3	8	16
24	42	125	111	21	63	63	10	31	45	5	16	30
48	83	250	222	42	125	125	21	63	91	10	31	61
60	104	303	278	52	156	156	26	78	113	13	39	76

- (1) Arranjo de aspersores tipo "spray" na lateral.
 (2) Arranjo de aspersores de tamanho médio na lateral.
 (3) Arranjo com aspersores variando de pequeno a grande ao longo da lateral.

Segundo os autores, o tipo de aspersor, o espaçamento entre eles ao longo da lateral e o diâmetro da área a ser coberta por um aspersor individual, afeta a taxa de aplicação de água ao longo da lateral do pivô central. Uma lateral com aspersores do tipo "spray" (difusores), proporciona pequenas gotas, porém com alta taxa de aplicação.

As taxas máximas variam de 150 a 300 mm/h no final de uma lateral de 400 m. Uma lateral com aspersores de tamanho médio, com espaçamento e tamanho dos bocais variando, tem uma taxa de aplicação próxima da alta, com a taxa máxima variando de 50 a 80 mm/h. A lateral com tamanho variado de aspersores, proporciona gotas grandes, porém com a taxa máxima variando de 25 a 40 mm/h.

Segundo Valmatic*, a taxa de aplicação de água ao longo da tubulação do pivô central é determinada pelo tamanho e pressão dos bocais, comprimento da tubulação, pelo espaçamento e tipo dos aspersores utilizados. Uma vez que esses parâmetros são determinados, tomando-se como base um terreno relativamente plano, a taxa de aplicação de água é fixada independentemente da velocidade de rotação das torres. Mudanças nessa velocidade provocarão variações somente na duração da aplicação e na altura da lâmina aplicada.

Segundo Valmatic*, os aspersores de impacto, de alta pressão, possuem alcance maior e são usados para solos mais argilosos, com maior declividade e taxa de aplicação.

Os aspersores de impacto, de média pressão, possuem, tipicamente, gotas de tamanho maior, menor evaporação, sofrem menor influência dos ventos, e apresentam um menor custo energético. Os aspersores fixos, de baixa pressão, possuem gotas menores, porém, alta precipitação instan-

* VALMATIC IRRIGAÇÃO LTDA. Informações Técnicas-Projetos.

tânea e são aplicáveis em terrenos de inclinação moderada, com textura leve. Apresenta vantagens substanciais de economia e custo de energia.

Segundo OLITTA (1978), o sistema de irrigação por pivô central, é mais adaptado aos solos de infiltração média para alta, para evitar problemas de escoamento superficial. As taxas de aplicação variam normalmente de 15 a 45 mm/h, operando a uma pressão média de 5 atm. A velocidade de rotação pode ser ajustada dentro de certos limites, proporcionando um certo controle na taxa de aplicação da água. Geralmente o sistema realiza uma rotação completa entre 10 e 72 horas, dependendo do tamanho do sistema e da capacidade de infiltração do solo.

BERNUTH & GILLEY (1985), analisando conjuntos de aplicação de água em sistemas de irrigação pivô central, concluíram que o uso de sistemas com baixa pressão de operação, determina uma redução da pressão de bombeamento, mas pode resultar em desvantagens como o acréscimo na taxa de aplicação, e a redução da infiltração. Para os autores, o custo do bombeamento tem um peso significativo no custo de produção, levando os produtores a procurarem soluções para sua redução. Uma solução seria a redução da pressão de operação do sistema, para reduzir a pressão no bombeamento. Entretanto o efeito desta redução traz como resultados além dos custos de bombeamento:

- a) Decréscimo da área molhada, com redução no tempo de aplicação e aumento na taxa de aplicação;

- b) Aumento no tamanho da gota, devido ao decréscimo na pressão e aumento no tamanho dos bocais para se conseguir a vazão necessária;
- c) Decréscimo na uniformidade de aplicação devido a redução da pressão;
- d) Aumento do custo inicial, devido ao acréscimo de material para ajustar a aplicação de água do projeto.

THOOYAMANI *et alii* (1987) analisando oito sistemas de irrigação pivô central à baixa pressão, com difusores, concluíram que a taxa de aplicação pode ser reduzida pelo acréscimo na altura dos difusores, mas pode resultar em uma perda maior pela ação do vento, e reduzir a uniformidade de aplicação. Concluíram ainda, que a taxa de aplicação instantânea é muito maior em sistemas a baixa pressão do que sistemas a alta pressão. Essa alta taxa de aplicação pode muitas vezes levar a ocorrência de escoamento superficial e uma irrigação ineficiente.

JAMES & BLAIR (1984) comparando a performance de diferentes sistemas de irrigação por pivô central a baixa pressão e um sistema com aspersores de impacto convencional, concluíram que sistemas com difusores consomem 30% menos de energia, e tem a taxa de aplicação, maior que os sistemas com aspersores.

2.2. Taxa de Infiltração de Água no Solo

Segundo Cook¹ (1946), citado por KINCAID *et alii* (1969), a taxa na qual o solo absorve água, é uma variável importante na determinação da ocorrência do escoamento superficial numa irrigação por aspersão. A taxa de infiltração da água em um solo é definida como a taxa na qual a água penetra no solo. A relação existente entre a taxa de infiltração e o tempo pode ser representada pela relação empírica proposta por Kostiakov;

$$I = KT^n \quad [1]$$

onde:

I - Taxa de infiltração (mm/h);

T - Tempo (h);

K e n - Constantes empíricas.

A quantidade e distribuição do escoamento superficial ao longo da lateral, depende das características de infiltração do solo. Um aumento no coeficiente k, da curva de infiltração, diminui o escoamento superficial. Um aumento em n, determina um escoamento superficial mais uniformemente distribuído ao longo da linha de aspersores. O escoamento superficial é, portanto, dependente da função de infiltração do solo, em sistema de irrigação por pivô central, com valores variando de zero em solos arenosos a mais de 50% em solos argilosos.

¹ COOK, H.L. The infiltration approach to the calculation of surface runoff. TRANS. AMER. GEOPHYS. U. 27: 726-747, 1946.

Segundo GILLEY (1984), a equação empírica que determina a infiltração da água no solo proposta por Kostiakov, foi desenvolvida sob a suposição de que a taxa de infiltração da água no solo independe da taxa de aplicação da mesma durante o período inicial de aplicação sendo válida somente para infiltração em solo com uma lâmina de água sobre sua superfície. Sob a condição de não saturação, encontrada no sistema de irrigação pivô central (Figura 1), a equação é dada por:

$$I_m(t) = I(t) \frac{\int_0^t I(t) dt}{\int_0^t AR(t) dt} \quad [2]$$

onde:

$I_m(t)$ = Taxa de infiltração modificada (mm/h);

$I(t)$ = Taxa de infiltração da água no solo obtida por processo de determinação onde existe uma lâmina de água sobre o solo (mm/h);

$AR(t)$ = Taxa de aplicação de água (mm/h);

t = Tempo (horas).

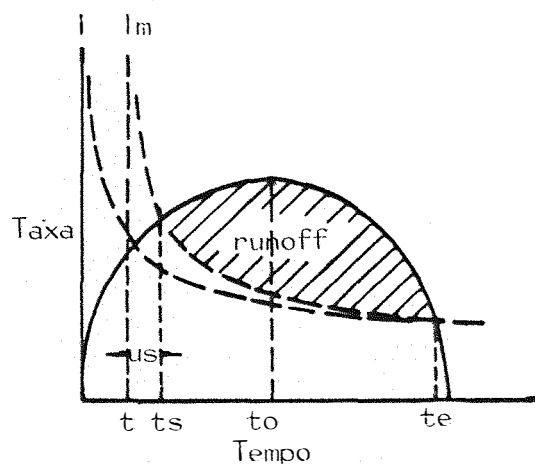


Figura 1 - Diagrama do processo de infiltração sob uma precipitação variável.

A equação acima é válida durante o período de tempo que antecede o início do escoamento superficial e decresce de acordo com a equação de Kostiaikov, a partir do momento em que o solo é inundado.

De acordo com Mein and Larson (1971)² citado por CHU (1987), em um processo de infiltração sob uma chuva variável, toda a água precipitada infiltra no solo até o tempo t_s , tempo para a saturação da superfície. Nesse ponto começa o escoamento superficial e se estende até t_e , onde a intensidade de chuva é igual a taxa de infiltração (Figura 1).

A quantidade de água infiltrada no solo antes de iniciar o escoamento superficial é a mesma precipitada, desde que toda a água infiltre no solo.

No tempo entre t_s e t_e , a infiltração é descrita pelo deslocamento da curva da capacidade de infiltração da origem até o tempo $t = t_s - u_s$ onde u_s é o tempo necessário para que a taxa de infiltração se iguale a taxa de aplicação no início do processo produzindo uma área sob a curva de infiltração no intervalo de tempo $\Delta t = t_s - t$, que é a mesma área determinada sob a curva de aplicação da água desde o início da aplicação até o tempo t_s .

² MEIN, R.G. and LARSON, C.L. Modeling the infiltration components of the rainfall runoff process. Bull 43, Water Resources Res. Ctr. of Minnesota, Minneapolis, Minn (1971).

O escoamento superficial é representado pela área entre a curva de aplicação e a curva de infiltração modificada, no intervalo de tempo $\Delta t = t_e - t_s$.

De acordo com CHU (1987), o processo de infiltração consiste de duas partes: a precipitação e a capacidade de infiltração do solo. As duas partes são representadas como uma função do tempo por, $P(t)$ e $F(u)$, onde P é igual a lâmina precipitada e F é a lâmina infiltrada. São usadas diferentes escalas para as funções de tempo, devido a função F ser deslocada dentro da escala de tempo de P . A escala de tempo da precipitação é denominada por t e a da infiltração é denominada por u . A intensidade de chuva e a taxa de infiltração da água no solo é representada por:

$$i(t) = \frac{d P(t)}{dt} \quad [3]$$

$$f(u) = \frac{d F(u)}{du} \quad [4]$$

onde:

i = Taxa de aplicação de água (cm/h);

f = Taxa de infiltração (cm/h);

A água começa a empoçar na superfície do solo, ou escoar em $t = t_s$ sendo t_s o tempo para a saturação da superfície. Antes de $t = t_s$, a taxa de infiltração é maior que a intensidade de chuva e toda água infiltra no solo consequentemente antes da saturação da superfície a lâmina infiltrada é dada por $P(t_s)$. No momento da saturação, tem-se na

escala de tempo da curva da capacidade de infiltração $u = u_s$, tempo necessário para que a taxa de infiltração se iguale a taxa de aplicação no início do processo, e nesse instante:

$$F(u_s) = P(t_s) \quad [15]$$

e a intensidade de chuva é igual a taxa de infiltração:

$$f(u_s) = i(t_s) \quad [16]$$

A relação entre as duas escalas de tempo é dada por:

$$t - t_s = 0 \quad [7]$$

e

$$u - u_s = 0 \quad [8]$$

quando considerado $t = t_s$ e $u = u_s$. À partir dessas considerações concluiu-se que:

$$u = t - t_s + u_s \quad [9]$$

A taxa de infiltração real no tempo t_s onde $u = u_s$ é dada por:

$$f(u) = f(t - t_s + u_s) \quad [10]$$

No final do escoamento superficial a intensidade de chuva é igual a taxa de aplicação, portanto:

$$f(t_e - t_s + u_s) = i(t_e) \quad [11]$$

onde t_e é o momento onde termina o escoamento. À partir dessas considerações o escoamento superficial é dado por:

$$R = P(t_e) - F(t_e - t_s + u_s) \quad [12]$$

De acordo com Valmatic , os índices de aplicação e, conseqüentemente, as profundidades podem possivelmente ser limitados pela capacidade de infiltração do solo. Muitos fatores influenciam a infiltração da água no solo, tais como: tipo de solo (distribuição e tamanho das partículas), condições da superfície (coberturas, encrostamentos e tamanho dos torrões), conteúdo de umidade, densidade do solo, camadas, conteúdo de matéria orgânica e tamanho das gotas.

Segundo MARCHETTI (1983), considerando-se as diferentes texturas, estruturas, topografias e conservação dos solos que receberão a irrigação pelo sistema pivô central, variará a capacidade de infiltração fator que determinará o tipo de aspersores e sua pressão de operação. Utilizam-se difusores de baixa pressão (1.0 a 2.5 atm) para os solos com alta capacidade de infiltração como os arenosos. Os aspersores de pressão média (2.5 a 4.0 atm), em espaçamento variável, são usados para os solos com capacidade média de infiltração, como os francos. Os de alta pressão (3.5 a 5.5 atm), em espaçamento constante, são recomendados para os solos de baixa capacidade de infiltração, como os argilosos.

* VALMATIC IRRIGAÇÃO LTDA. Informações Técnicas-Projetos.

2.3. Escoamento Superficial

KELSO & GILLEY (1986), afirmam que a taxa de infiltração do solo, depende das propriedades do mesmo durante a aplicação de água. Quando a taxa de aplicação excede a taxa de infiltração do solo, o escoamento superficial ocorrerá. O escoamento superficial é definido como a água não infiltrada, em um estado transitório, mais o armazenamento temporário da água não infiltrada nas depressões do solo, e é uma função das características do sistema de irrigação, bem como das condições do solo. A magnitude de escoamento real que ocorre em uma dada área do campo, depende do escoamento em potencial e da extensão do armazenamento da superfície imediatamente disponível.

Segundo THOYAMANI *et alii* (1987) a água que atinge a superfície do solo, pode:

- a) Infiltrar diretamente no solo;
- b) Empoçar e infiltrar algum tempo depois;
- c) Escoar para outro ponto do campo e infiltrar algum tempo depois;
- d) Escoar para as laterais do campo, e se perder por drenagem;
- e) Evaporar após empoçar em algum lugar do campo.

O escoamento superficial, é somente uma medida da quantidade de água aplicada, que pode empoçar ou redistribuir na superfície, quando a taxa de aplicação é maior que a taxa de infiltração.

KINCAID *et alii* (1969) afirmam que, teoricamente o escoamento superficial pode ser substancial próximo ao pivô, embora sua taxa de aplicação seja pequena, devido ao fato da irrigação se estender até momentos em que a velocidade de infiltração se torna pequena.

BERNUTH & GILLEY (1985) analisando o desempenho de vários sistemas de irrigação, em vários tipos de solo, quanto a ocorrência de escoamento superficial, concluíram que devido ao fato do escoamento superficial poder atingir níveis muito altos, o uso de pivô central em solos de textura fina precisa ser cuidadosamente analisado. Sistemas com aspersores do tipo "spray", são os mais indicados para solos arenosos. Os autores consideram que se houver escoamento superficial, o tempo de operação precisa ser aumentado para que se infiltre uma quantidade equivalente de água.

DILLON *et alii* (1971), afirmam que solos de textura pesada tem uma baixa taxa de infiltração, dificultando uma aplicação de água suficiente para levar o solo à capacidade de campo sem a ocorrência de escoamento superficial. Aplicações frequentes de água podem ser feitas sem que ocorra escoamento superficial. Próximo ao final de alguns sistemas, a taxa média de aplicação é maior que a taxa de infiltração de qualquer solo; entretanto, esses sistemas são

usados sem causarem escoamento superficial excessivo, pelo uso de altas velocidades e pela aplicação de pequenas quantidades de água por revolução. Devido ao aumento da velocidade, a lateral passa por um ponto, antes que a infiltração admissível e o armazenamento superficial seja excedido.

De acordo com OLITTA (1978), no caso de um "run off" acentuado, vários procedimentos poderão ser utilizados para sua eliminação, ou seja: aumentar a velocidade de caminhamento para diminuir a taxa de aplicação, reduzir o tamanho de todos os bocais nos aspersores reduzindo desse modo a capacidade do sistema, ou então aumentando a pressão no sistema e reduzindo o diâmetro dos bocais para aumentar a pulverização da água.

De acordo com KINCAID *et alii* (1969), para uma dada quantidade de escoamento superficial, o escoamento real de uma área depende da declividade e rugosidade da superfície do solo e sua posição com respeito a outras áreas que produzem escoamento superficial.

EDLING (1979) analisando o uso de sistemas de irrigação por pivô central em terrenos inclinados concluiu que para terrenos ascendentes, o aumento na pressão próximo ao ponto do pivô, resulta no acréscimo da vazão nesses pontos, sendo que, ao longo da lateral, a influência do aumento da pressão é gradualmente reduzido, devido à elevação do terreno. No final da lateral pode ocorrer um decréscimo na vazão. O oposto ocorre em declives descendentes onde há uma redução da vazão próximo ao pivô e um acréscimo no final da

lateral. A variação na vazão da lateral, encontrada com as variações de nível do terreno, acarreta um agravamento nos problemas que possam existir devido ao escoamento superficial e mais água é aplicada nas áreas baixas onde o escoamento é coletado.

Segundo ADDINK *et alii* (1983), se a taxa de aplicação de água for menor que a capacidade de infiltração do solo, não ocorrerá escoamento superficial, se for maior deverá ser usada uma lateral curta, embora esta irá irrigar uma área menor. Em algumas áreas inclinadas, a taxa de aplicação pode exceder a taxa de infiltração do solo, cultivando no contorno ou no desnível transversal, construindo pequenas bacias entre as fileiras, ou outra prática de cultivo, poderá reter a água no ponto de aplicação e evitar o escoamento superficial.

De acordo com Valmatic*, em certas áreas, onde a taxa de aplicação exceda a taxa de infiltração do solo, podem ser usadas práticas tais como: plantio em nível, pequenos terraços entre fileira de plantas, preparo do solo, plantio direto, afim de reter a água no ponto de sua aplicação, e assim, evitar o escoamento superficial. Os sistemas automatizados operam melhor em solos que absorvem a água no seu ponto de impacto com o solo. Quando a água é aplicada, por um método qualquer, mais rapidamente que o tempo levado pelo solo para sua absorção, ocorre escoamento

* VALMATIC IRRIGAÇÃO LTDA. Informações Técnicas-Projetos.

superficial, resultando numa irrigação pobre e erosão excessiva do solo. O material erodido pode acumular-se nas áreas mais baixas, reduzindo a resistência de sustentação do solo e provocando o afundamento das trilhas e rodas, ou o patinamento das mesmas.

JOHNSON *et alii* (1987) analisando vários sistemas de irrigação por pivô central, com o objetivo de determinar o mais econômico, concluiu que inúmeros fatores afetam o escoamento superficial durante uma irrigação. Nesses estão incluídos o tamanho e vazão do sistema, lâmina de aplicação, sistema de aplicação do aspersor (intensidade e tempo de aplicação) e taxa de infiltração do solo. Para qualquer conjunto de condições, aumentando-se área do sistema, terá como efeito o acréscimo do potencial para escoamento superficial. Sistemas com baixa pressão (difusores) tiveram uma alta taxa de aplicação, tendo maior potencial para escoamento superficial do que conjuntos com altas pressões (aspersores de impacto). Nos testes conduzidos obtiveram um escoamento superficial de 0% a 6% da água total aplicada para aspersores de impacto com espaçamento constante, enquanto que o potencial de escoamento superficial variou de 28% a 53% para os difusores. O local onde o escoamento superficial inicia, também varia com o tipo do equipamento e inicia-se mais próximo ao ponto do pivô para equipamentos de baixa pressão. No estudo, a produtividade da cultura diminuiu com decréscimo da umidade média do solo, causada pelo escoamento na irrigação com alta intensidade.

Analisando o retorno líquido de um sistema pivô central com difusores, aplicando uma lâmina de 3 cm, num total anual de 50 cm, os autores concluíram, que para sistemas maiores, em solos com alta capacidade de infiltração, obtem-se menor escoamento e maior retorno líquido. Para um solo classificado como da família 2.0 segundo o serviço de conservação do solo (SCS) dos Estados Unidos, o escoamento superficial foi quase eliminado, resultando no maior retorno líquido das quatro famílias estudadas sendo elas 0.5, 1.0, 1.5, 2.0. Na família 0.5 obteve-se um escoamento superficial substancial, resultando em uma grande redução no retorno líquido comparado com os outros tipos de solo.

Bathy³ et alii em 1975, citados por JAMES (1982), afirmam que uma redução na pressão de operação do sistema, pode resultar em um escoamento superficial excessivo e baixa uniformidade na aplicação de água.

2.4. Lâmina de Aplicação

KINCAID et alii (1969) avaliando o escoamento superficial em três sistemas de irrigação por pivô central, concluíram que a lâmina total de água aplicada durante a irrigação influencia no valor do escoamento superficial. A lâmina pode ser aumentada pelo acréscimo no número de horas

³ BATHY, J.C.; HAMAD, S.N. & KELLER, J. Energy inputs to irrigation. Journal of irrigation and drainage division ASCE 101 (IR4): 269-307, 1975.

por revolução ou pelo acréscimo na descarga dos aspersores. Com a mudança de velocidade, a porcentagem do total de água que resulta em escoamento superficial é substancialmente diferente. Reduzindo a lâmina aplicada, pelo acréscimo na velocidade de rotação ou pela diminuição da descarga dos aspersores, reduz-se também a porcentagem na lâmina total que seria escoada. A uniformidade da lâmina aplicada no perfil do solo, pode ser considerada reduzida pelo escoamento superficial em solos com baixa capacidade de infiltração.

THOYAMANI & NORUM (1987) analisando a uniformidade de distribuição de água em seis sistemas de irrigação por pivô central à baixa pressão, constataram que para evitar escoamento superficial devido a alta taxa de aplicação, fazendeiros operam os sistemas a altas velocidades de rotação, resultando em lâminas de aplicação reduzidas. Esse fato poderia explicar a razão para a lâmina média de aplicação ser menor que 10 mm, nos seis testes de campo, sendo que a lâmina média de aplicação deveria ser de 15 mm.

De acordo com ADDINK *et alii* (1983) a eficiência de aplicação de água varia com a uniformidade de distribuição ao longo da lateral. Ela também depende da água infiltrar-se no ponto de aplicação e varia de 70 a 80%.

2.5. Uniformidade de Distribuição

De acordo com HEERMAN & HEIN (1968), a eficiência de um equipamento de irrigação por pivô central pode

ser avaliada segundo as recomendações da ASAE (American Societs of Agriculture Engineers), determinando valores mínimos para projeto, instalação e funcionamento de um equipamento de irrigação. Uma dessas recomendações, específica que a taxa de aplicação não deve causar escoamento superficial durante a operação do sistema. A segunda, determina que uma distribuição uniforme da lâmina aplicada tem de ser alcançada. Na prática, isso é feito limitando a variação da pressão do bocal na lateral em 20% da pressão máxima. Uma diferença excessiva da pressão pode causar uma desuniformidade considerável na água aplicada em um sistema convencional. Entretanto, a uniformidade da lâmina aplicada com o pivô central não é função da distribuição da pressão somente, mas é determinada pelo aumento do tamanho e vazão dos aspersores, proporcionalmente ao acréscimo da área com o acréscimo da distância do pivô.

RING & HEERMAN (1978) afirmam que é frequentemente necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação a fim de determinar sua aplicabilidade sob certas condições. A uniformidade de distribuição de água é uma característica que pode ser usada para comparar sistemas. Uma uniformidade deficiente resulta em área super ou sub-irrigada. A fim de obter a mesma produtividade, um sistema com baixa uniformidade teria que distribuir mais água, ou se dois sistemas distribuem a mesma quantidade de água, o sistema com melhor uniformidade teria melhor eficiência no uso de água. Muitos sistemas pivô central são usados para

aplicação de produtos químicos e a má uniformidade de distribuição poderia resultar em dano a cultura devido a uma aplicação excessiva de produto químico. Analizando o efeito do número de linhas radiais de coletores na determinação da uniformidade de distribuição de água ao longo da lateral de sistemas de irrigação pivô central, concluíram que uma linha radial de coletores não é suficiente para avaliação do sistema e sim duas linhas radiais de coletores formando um ângulo de 3° entre si.

Kincaid⁴ em 1968 citado por KINCAID *et alii* (1969), afirma que o sistema pivô central oferece uma uniformidade de aplicação relativamente alta, desde que esteja com tamanho de bocais apropriados operando a pressões recomendadas.

Segundo THOYAMANI & NORUM (1987), a uniformidade de aplicação no sistema pivô central pode ser melhorada consideravelmente se a redistribuição no perfil do solo for considerada.

Hart⁵ em 1972 citado por THOYAMANI & NORUM (1987), mostrou exemplos de um coeficiente de uniformidade de 0.6 para a distribuição de água na superfície do solo, atingindo 0.76 e 0.86 depois da redistribuição no solo por um e dois dias, respectivamente.

⁴ KINCAID, D. C. Center Pivot Sprinkler Irrigation Unpublished Master's Thesis, Colorado State University Ft Collins, Colo., 1968.

⁵ HART, W.E. Subsurface Distribution of Nonuniformly Applied Surface Waters. TRANS. ASAE (AM. SOC. AGRIC. ENG.) 15(4): 656-661, 666. 1972.

De acordo com GILLEY *et alii* (1983), um importante fator a ser considerado nos sistemas com pressão reduzida é a uniformidade de aplicação de água. Sistemas com altas pressões geralmente apresentam boas uniformidades de aplicação devido a maior sobreposição. Em sistemas com pressões reduzidas o raio de alcance dos aspersores ou difusores será menor que os sistemas a alta pressão, resultando em uma menor sobreposição, especialmente em sistemas com difusores.

THOYAMANI *et alii* (1987), analisando 8 sistemas pivô central à baixa pressão, com difusores, concluíram que é possível obter uma alta uniformidade com qualquer tipo de difusor, desde que os bocais sejam espaçados adequadamente, entretanto, haverá uma taxa de aplicação elevada ocorrendo escoamento superficial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O estudo foi conduzido nas Fazendas Invernadinha e Santa Helena, no município de Guaira - SP., à uma Latitude de $20^{\circ}22'S$ e $20^{\circ}14'S$, Longitude de $48^{\circ}18'W$ Gr e $48^{\circ}16'W$ Gr e Altitude 530 e 500 m respectivamente. As Figuras 2 e 3 mostram a posição da lateral no momento do ensaio.

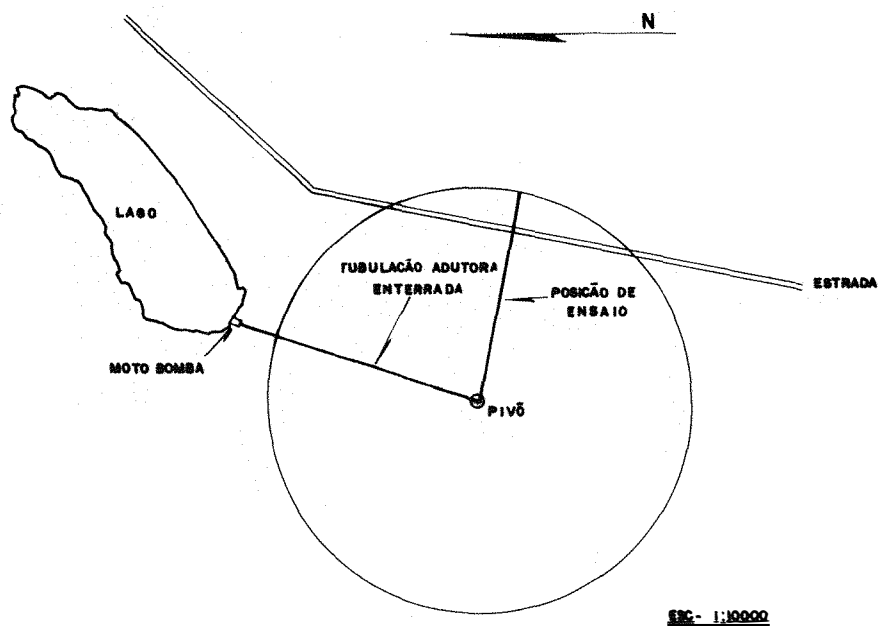


Figura 2 -Posição da lateral no momento do ensaio. Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.

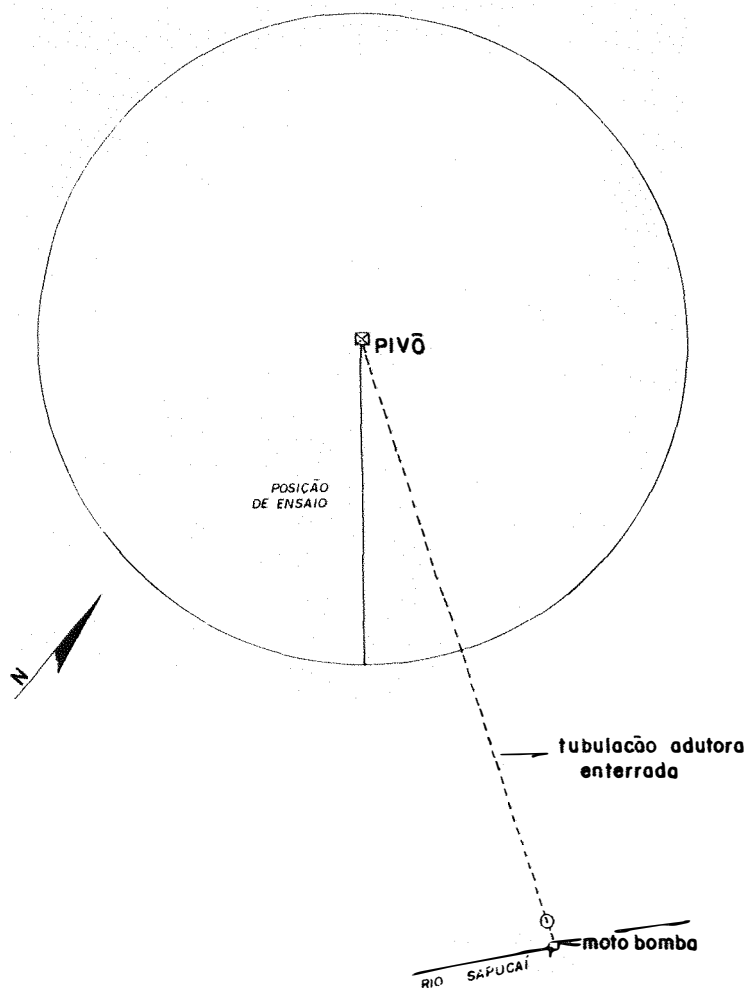


Figura 3 - Posição da lateral no momento do ensaio. Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.

3.2. Clima

O clima da região é Aw pela classificação climática de Köppen, ou seja, clima tropical de inverno seco (precipitação do mês mais seco menor que 30 mm), temperatura do mês mais quente maior que 22°C e do mês mais frio maior que 18°C.

A velocidade e direção do vento também foram determinadas para que se pudesse determinar a influência desses fatores na curva de distribuição de água dos sistemas.

Na determinação da velocidade do vento foi usado um anemômetro de concha totalizador, tipo casella, graduado em quilômetros com precisão de 0.01 km, instalado a 2.0 metros de altura do solo, na área dos ensaios. A direção do vento foi determinada por meio de uma biruta instalada na mesma altura do anemômetro.

3.3. Solo

3.3.1. Tipo

O solo se enquadra no Grande Grupo Latossol Roxo de acordo com o boletim n^o 12 do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas.

3.3.2. Análise física

A análise granulométrica e densidade global das amostras de solo representativas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em duas posições ao longo da lateral do sistema, isto é, no início e no seu final, foram determinadas no laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", conforme Tabelas 2 e 3.

A densidade global foi determinada com auxílio de anéis de alumínio de 5 cm de diâmetro de 3 cm de altura.

Tabela 2 - Granulometria, classe textural e densidade global
Fazenda Invernadinha.

POSIÇÃO EM RELAÇÃO A LATERAL DO SISTEMA	PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	DENS. GLOBAL g/cm ³
Início	0-20	58.00	31.80	10.20	1.14
	20-40	59.00	32.30	8.70	1.14
	40-60	65.00	27.86	7.14	1.07
Final	0-20	59.20	30.16	10.64	1.10
	20-40	62.70	27.16	10.14	1.17
	40-60	67.08	23.36	9.64	1.02

Tabela 3 - Granulometria, classe textural e densidade global
Fazenda Santa Helena.

POSIÇÃO EM RELAÇÃO A LATERAL DO SISTEMA	PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	DENS. GLOBAL g/cm ³
Início	0-20	59.33	30.43	10.24	1.25
	20-40	59.04	31.36	9.60	1.12
	40-60	56.26	39.06	4.69	1.10
Final	0-20	53.58	32.25	14.17	1.34
	20-40	54.30	41.01	4.69	1.22
	40-60	56.28	39.05	4.69	1.03

3.3.3. Características hídricas

3.3.3.1. Retenção de água

Para a determinação da retenção de água foram coletadas amostras indeformadas de solo em anéis de alumínio

de 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura, nas profundidades médias de 10, 20 e 50 cm ao longo da lateral dos sistemas em dois locais: sob o primeiro e oitavo vão no pivô DAN-MATIC e sob o primeiro e décimo terceiro vão no pivô ESCOMAT.

A curva de retenção foi determinada de acordo com a metodologia estabelecida por RICHARDS (1947) com auxílio de placas de pressão, e estão representadas nas Figuras de 4 a 7.

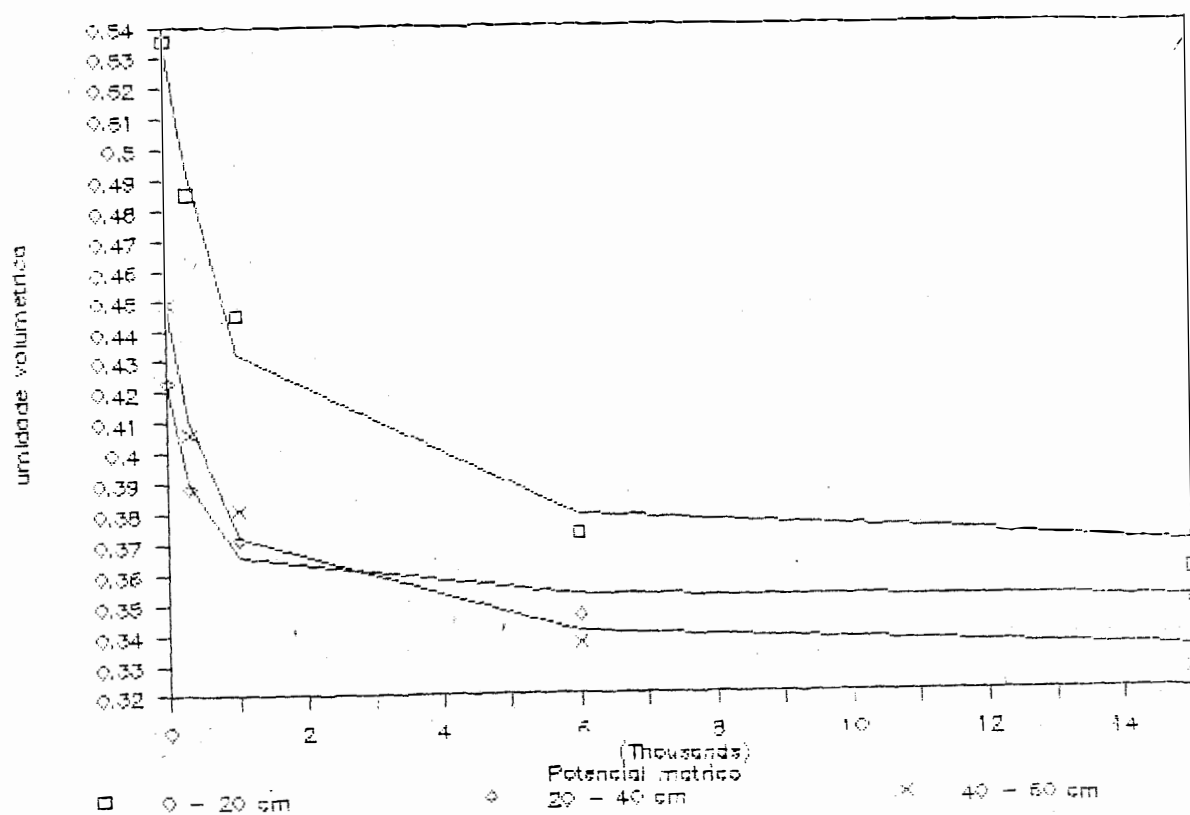


Figura 4 - Curva característica de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. (1^o vão).

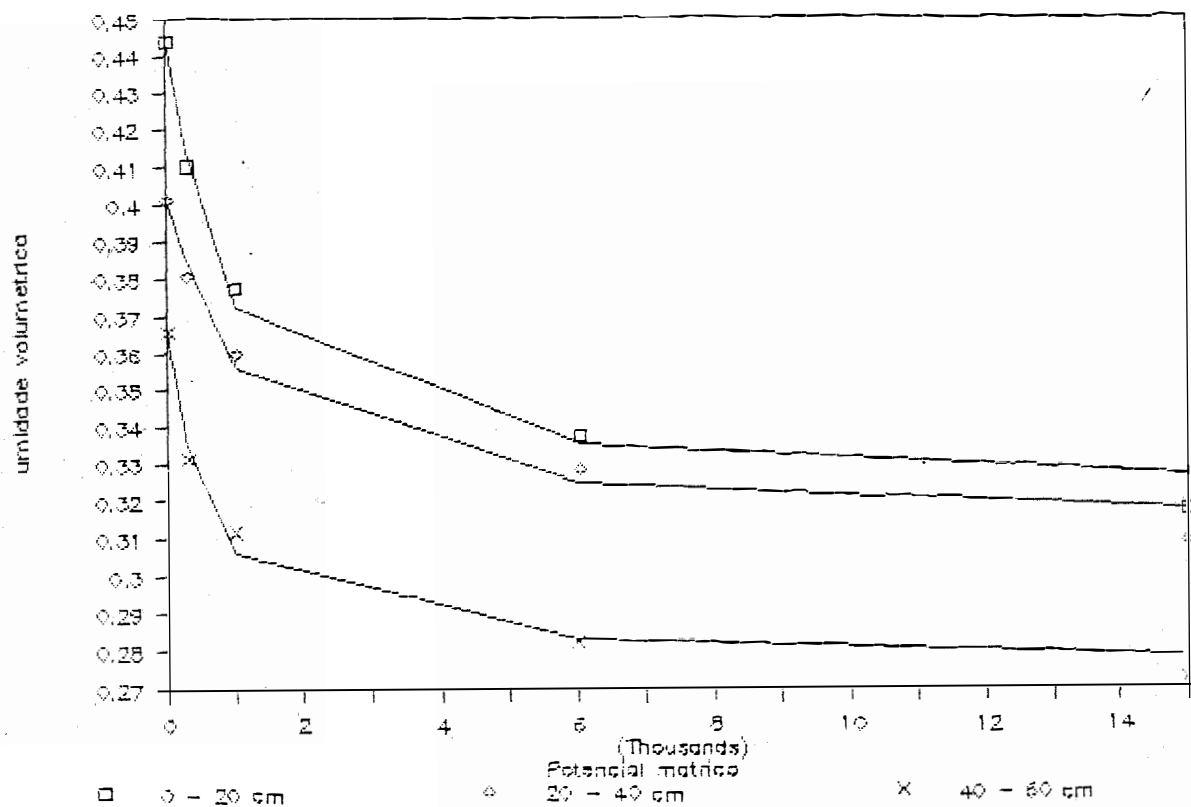


Figura 5 - Curva característica de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC. (8^o vão).

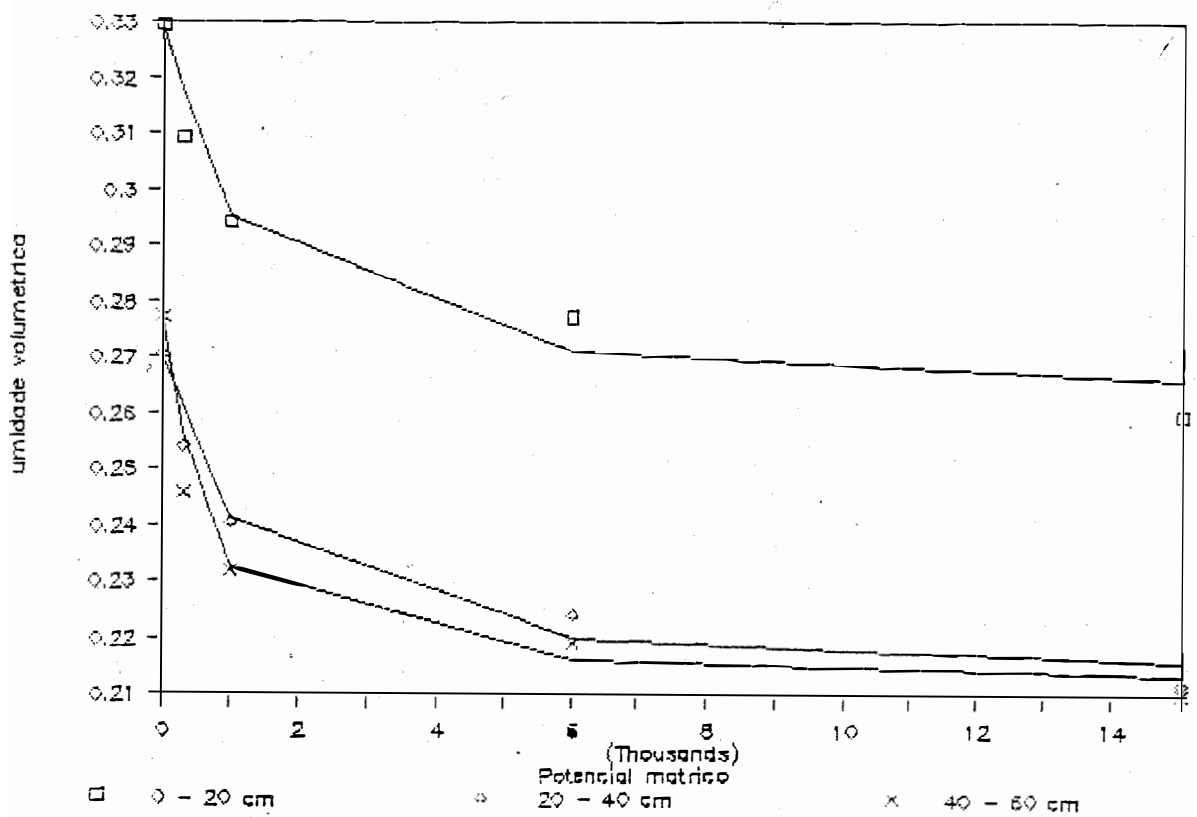


Figura 6 - Curva característica de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. (1^o vão).

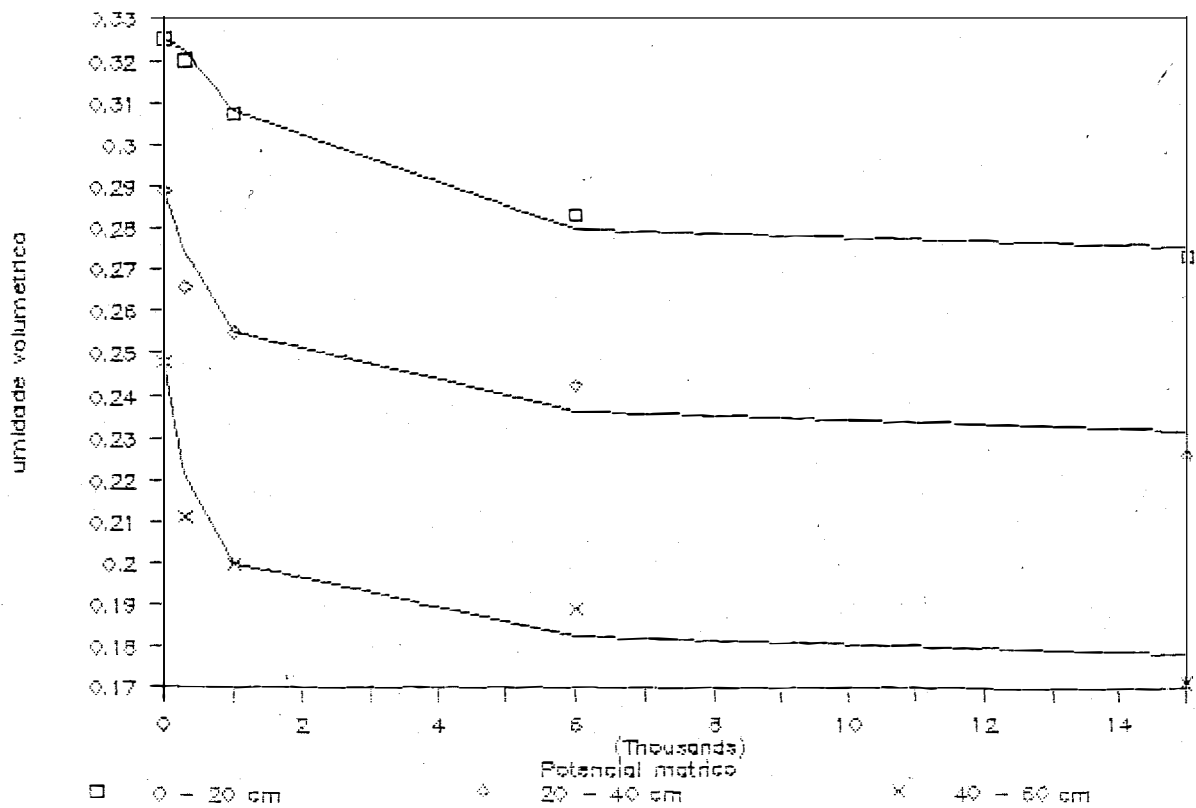


Figura 7 - Curva característica de retenção da "água" no solo (LR). Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT. (13^o vão).

3.3.3.2. Infiltração de água

As curvas de infiltração foram determinados com anel infiltrômetro, utilizando-se dois cilindros com altura de 20 cm e diâmetro de 20 e 40 cm para os anéis internos e externos respectivamente. Utilizou-se uma carga hidráulica de 10 cm, com variação em torno de 3 cm.

As curvas foram determinadas em três posições ao longo da lateral; no início, no meio e no final. No pivô DAN-MATIC (Fazenda Invernadinha) elas foram determinadas sob o 1^o e o 5^o vão e o balanço; no pivô ESCOMAT (Fazenda Santa Helena) elas foram determinadas sob o 1^o e o 7^o vão, e o balanço. Foram feitos três ensaios em cada posição e a média representa a curva de infiltração de cada posição. As Figuras de 8 a 13, mostram as curvas de infiltração instantânea.

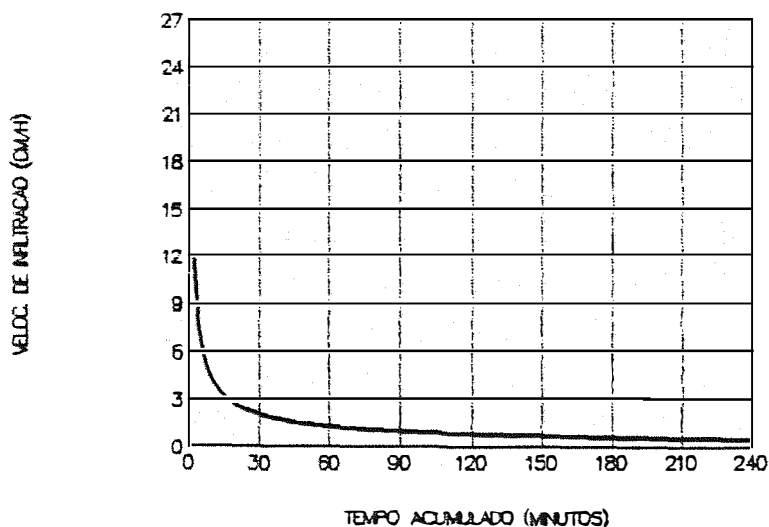


Figura 8 - Curva de infiltração da água no solo (1^o vão). Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.
 $VI = 19.31 T^{-0.67}$.

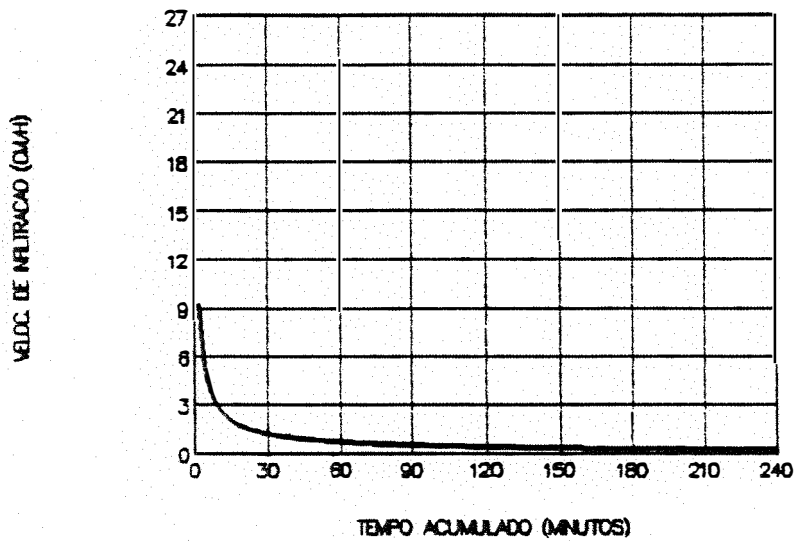


Figura 11 - Curva de infiltração da água no solo (1^o vão).
 Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.
 $VI = 15.45 T^{-0.75}$.

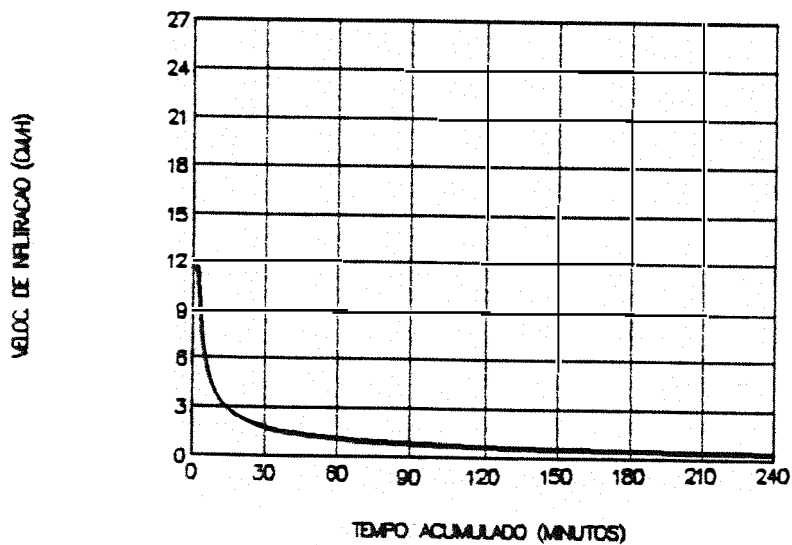


Figura 12 - Curva de infiltração da água no solo (7^o vão).
 Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.
 $VI = 19.02 T^{-0.71}$.

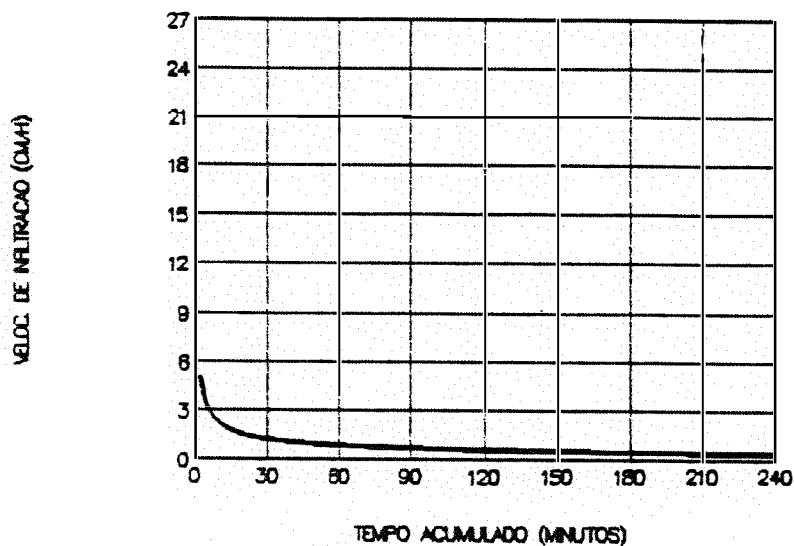


Figura 13 - Curva de infiltração da água no solo (balanço).
 Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.
 $VI = 7.2 T^{-0.52}$.

As curvas de infiltração determinadas com o anel infiltrômetro, foram modificadas de acordo com o processo gráfico proposto por CHU (1987), para a determinação de escoamento superficial. O autor adota modelo elíptico para descrever o padrão de aplicação da água e dispõe a curva da taxa de aplicação, precipitação acumulada, taxa de infiltração e infiltração acumulada de acordo com a Figura 14.

Curva de Aplicação Curva de Infiltração

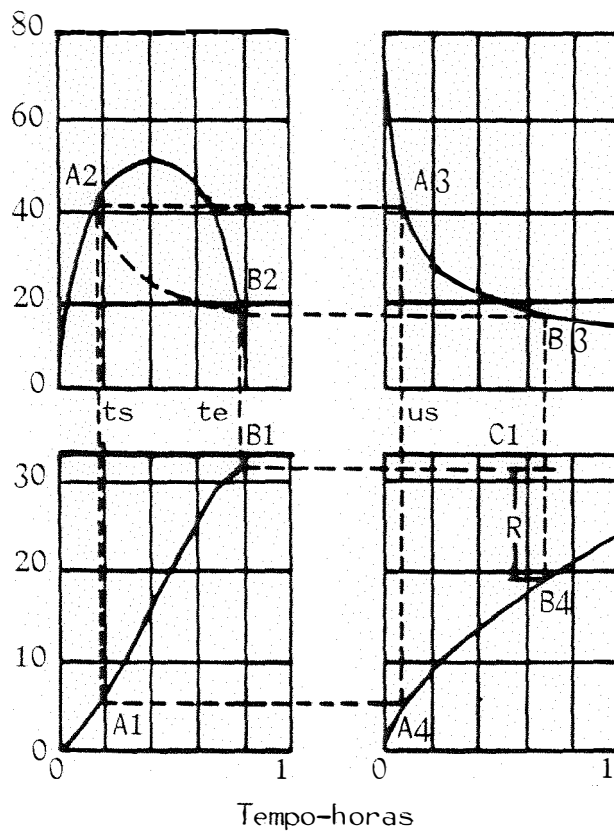


Figura 14 - Solução gráfica para determinação de escoamento superficial sob precipitação variável.

Por tentativa, determina um retângulo com os pontos A_1 , A_2 , A_3 e A_4 . O tempo encontrado na curva da taxa de aplicação, correspondente ao ponto A_2 , é o tempo em que se inicia a saturação da superfície (t_s). O tempo lido na curva de infiltração é igual a u_s (tempo necessário para que a taxa infiltração se iguale a taxa de aplicação no início do processo). O retângulo sugere que a taxa de infiltração é igual a taxa de aplicação, e que a lâmina aplicada é igual a lâmina infiltrada, o que satisfaz as equações 5 e 6. Deslocando a curva de infiltração de modo que A_3 se sobreponha a A_2 da curva de aplicação, tem-se a representação geométrica da equação 10. A sobreposição das duas curvas determina o ponto B_2 , onde o tempo correspondente representa o final do escoamento superficial t_e , de acordo com a equação 11. Por B_2 traça-se uma horizontal obtendo-se o ponto B_3 sobre a curva de infiltração. Traçando-se uma vertical por B_3 e B_2 obtêm-se os pontos B_4 e B_1 sobre a curva de infiltração acumulada e a curva de precipitação acumulada respectivamente. A diferença entre B_4 e B_1 , determina a altura de água escoada, de acordo com a equação 12.

3.4. Características dos Sistemas

Foram analisados a distribuição e a taxa de aplicação de água em dois pivôs instalados na Fazenda Invernadinha (marca DAN-MATIC, de propriedade do Sr. Jonas Lélis) e na Fazenda Santa Helena (marca ESCOMAT, de proprie-

dade do Sr. José Antônio Lélis). As fazendas estão situadas no município de Guaira - SP., e as características dos dois sistemas se encontram na Tabela 4.

A água fornecida aos pivôs é bombeada de um lago na Fazenda Invernadinha e do rio Sapucaí na Fazenda Santa Helena. As características dos sistemas de recalque são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 - Características dos sistemas.

	PIVO DAN-MATIC	PIVO ESCOMAT
- Marca	DAN-MATIC	ESCOMAT
- Modelo	MD 400/8VM	LM/AP625
- Propulsão	elétrico	elétrico
- Comprimento da tubulação	372.2 m	613.9 m
- Número de Torres	8	13
- Distância entre torres	45.0 m	46.3 m
- Balanço	12.2 m	12.0 m
- Alcance do canhão final	30 m	não possui
- Raio efetivo da área irrigada	402.2 m	618.9 m
Características dos aspersores:		
- Tipo de aspersor	spray	spray
- Pressão de serviço	1.4 atm*	
Características do canhão final		
- Fabricante	Dantas	
- Modelo	CD-50	
- Bocal	21.5 mm	
- Vazão	27.0 m ³ /h	
- Pressão	40.0 m. c. a.	
Bomba booster:		
- Fabricante	KSB	
- Modelo	32-125	
- Potência	4 CV	
- Vazão	27 m ³ /h	
- Pressão	25 m. c. a.	

* Existência de reguladores de pressão.

Tabela 5 - Características dos conjuntos motobomba.

	DAN-MATIC	ESCOMAT
Motor Elétrico	SIEMENS	SIEMENS
Bomba	KSB	WORTHINGTON
Rotação (RPM)	1750	3500
Potência (CV)	100	250
Vazão (m ³ /h)	169	316

3.5. Taxa de Aplicação dos Sistemas

A taxa de aplicação de água dos sistemas foi determinada com auxílio de um pluviógrafo da Hidrologia S. A. Modelo PLG-7, com área de captação de 200 cm² e velocidade do tambor de registro modificada para 5 mm/min, compatível com a alta velocidade de deslocamento das últimas torres.

O pluviógrafo foi instalado no meio do vão, registrando a precipitação acumulada em função do tempo, a Figura 15 ilustra a montagem.

A taxa de aplicação foi determinada nos treze vãos e no balanço do sistema pivô central ESCOMAT, nos oito vãos e no canhão final do sistema pivô central DAN-MATIC. As coletas de precipitação foram obtidas no mesmo alinhamento em relação ao pivô e em pontos onde não houve irregularidades na aplicação da água.

A velocidade dos sistemas foi utilizada pelos irrigantes, correspondente a 50% da velocidade máxima. Esta velocidade condicionava uma precipitação média pré determinada em ambos os sistemas.

Confrontou-se os dados da taxa de aplicação com os dados referentes à capacidade de infiltração dos solos, para se determinar a ocorrência de escoamento superficial, de acordo com o processo gráfico descrito por CHU (1987).

3.8. Uniformidade de Distribuição

A uniformidade de distribuição da água ao longo da lateral foi obtida segundo a metodologia de MERRIAN *et alii* (1973), que consiste na utilização de pluviômetros na coleta da precipitação, numa distância radial à partir do centro do sistema.

Foram utilizados 148 coletores cilíndricos dispostos em duas linhas radiais de 74 coletores, formando um ângulo de três graus entre si no pivô DAN-MATIC, e 230 coletores em linhas radiais de 115 coletores no pivô ESCOMAT de acordo com RINGE & HEERMANN (1978). Os coletores com área

de captação de 53 cm², obedeceram a um espaçamento de 5.5 m. O primeiro coletor mantinha uma distância de 2.75 m do centro do sistema. Observou-se a altura de 0.3 m da borda superior do coletor até o solo, mediante utilização de suportes. Foram adicionados aos coletores 20 ml de óleo diesel, como supresor de evaporação.

Os dados para a avaliação da uniformidade de distribuição foram fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo Divisão de Minas e Geologia Aplicada, Seção de irrigação e Drenagem.

Na determinação da Uniformidade de Distribuição de água, foi empregado o coeficiente de Uniformidade de Christiansen, dado pela seguinte equação:

$$C. U. C. = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right] \quad [13]$$

sendo:

C. U. C. - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

\bar{x} - Precipitação média geral (mm);

X_i - Precipitação obtida no pluviômetro de ordem i (mm);
i (mm);

$|X_i - \bar{X}|$ - Valor absoluto dos desvios (mm);

n - Número de observações.

Segundo DAVIS (1966), o coeficiente de Uniformidade de Distribuição é representado pela equação:

$$UD = 100 \frac{\bar{x}}{\bar{X}} \quad [14]$$

sendo:

UD - Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

\bar{x} - Média ponderada de 25% do total de pluviômetros com as menores precipitações (mm);

\bar{X} - Média ponderada das precipitações, considerando todos os pluviômetros (mm).

O coeficiente de Uniformidade de Distribuição foi outro parâmetro utilizado na determinação da uniformidade de distribuição.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Taxa de Aplicação

Os resultados da taxa de aplicação dos sistemas DAN-MATIC e ESCOMAT se encontram nas Tabelas 6 e 7 respectivamente.

As Figuras 18 a 24 e as Figuras 25 a 38 mostram as curvas da taxa de aplicação dos sistemas DAN-MATIC e ESCOMAT respectivamente, em todos os vãos ao longo da lateral dos pivôs. Analisando as curvas observou-se uma ligeira queda na taxa de aplicação próximo ao centro do modelo, devido à passagem da lateral sobre o coletor, confirmando as observações de KELSO & GILLEY (1986).

Tabela 6 - Valores da taxa de aplicação de água do sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.

TEMPO (min)	TAXA DE APLICAÇÃO (cm/h)							
	1 ^o vão	2 ^o vão	3 ^o vão	4 ^o vão	5 ^o vão	6 ^o vão	7 ^o vão	8 ^o vão
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.5	0.2	0.3	1.1	2.2	1.7	4.9	4.6
4	0.6	0.4	0.8	2.9	5.2	2.9	6.0	5.4
6	0.6	1.3	1.7	3.4	5.0	4.6	6.0	4.7
8	1.6	2.4	2.2	4.3	3.4	4.1	5.6	5.0
10	1.9	2.8	2.5	3.2	2.9	4.2	5.2	4.0
12	2.2	2.9	2.4	2.8	3.6	4.4	5.0	5.7
14	1.9	2.7	2.9	2.9	3.8	4.0	6.2	0.8
16	1.5	2.7	4.1	4.8	4.3	2.8	0.8	0.0
18	1.7	2.4	3.6	4.7	4.5	0.9	0.0	
20	1.7	2.3	2.7	3.6	2.7	0.0		
22	1.5	2.2	2.8	2.4	0.6			
24	1.3	2.1	2.9	1.3	0.0			
26	1.7	2.1	3.3	0.2				
28	1.6	1.9	3.2	0.0				
30	1.5	1.9	3.1					
32	1.5	1.7	2.7					
34	1.5	1.9	1.5					
36	1.8	1.7	0.9					
38	2.0	1.3	0.4					
40	2.4	0.7	0.0					
42	1.9	0.3						
44	1.5	0.3						
46	0.7	0.1						
48	0.5	0.0						
50	0.5							
52	0.5							
54	0.3							
56	0.0							

Tabela 6 - Continuação.

TEMPO (seg)	CANHÃO * T. A.	TEMPO (seg)	CANHÃO * T. A.	TEMPO (seg)	CANHÃO * T. A.	TEMPO (seg)	CANHÃO * T. A.
0	0	576	0	1152	6.3	1728	0.4
12	3.4	588	0	1164	0.8	1740(29)	0
24	0.4	600(10)	2.5	1176	0	1752	0
36	0	612	0.4	1188	0	1764	4.2
48	0	624	0	1200(20)	3.4	1776	0.8
60(1)	0	636	0	1222	0.8	1788	0
72	1.7	648	2.1	1224	0	1800(30)	0
84	0	660(11)	0.4	1236	0	1812	0
96	0	672	0	1248	0	1824	2.5
108	0	684	0	1260(21)	2.9	1836	0.4
120(2)	4.2	696	0	1272	0.8	1848	0
132	0	708	5.0	1284	0	1860(31)	0
144	0	720(12)	0.8	1296	0	1872	2.1
156	0	732	0	1308	2.5	1884	0.8
168	3.4	744	0	1320(22)	1.3	1896	0
180(3)	0.8	756	0	1332	0	1908	0
192	0	768	2.9	1344	0	1920(32)	2.5
204	0	780(13)	0.4	1356	0	1932	0.8
216	0	792	0	1368	3.4	1944	0
228	4.2	804	0	1380(23)	0.8	1956	0
240(4)	0	816	4.2	1392	0	1968	2.1
252	0	828	1.3	1404	0	1980(33)	0
264	0	840(14)	0	1416	0	1992	0
276	7.1	852	0	1428	7.6	2004	0
288	1.3	864	0	1440(24)	0.8	2016	0
300(5)	0	876	5.5	1452	0	2028	1.7
312	0	888	0.4	1464	0	2040(34)	0
324	3.4	900(15)	0	1476	0	2052	0
336	0.8	912	0	1488	4.2	2064	0
348	0	924	0	1500(25)	0.8	2076	2.1
360(6)	0	936	2.9	1512	0	2088	0.4
372	0	948	0.8	1524	0	2100(35)	0
384	5.0	960(16)	0	1536	0	2112	0
396	0.8	972	0	1548	1.7	2124	4.2
408	0	984	3.4	1560(26)	0	2136	0.8
420(7)	0	996	0.8	1572	0	2148	0
432	0	1008	0	1584	0	2160(36)	0
444	4.2	1020(17)	0	1596	4.2	2172	0
456	0.8	1032	4.2	1608	0	2184	4.6
468	0	1044	0.8	1620(27)	0	2196	1.3
480(8)	0	1056	0.4	1632	0	2208	0
492	3.4	1068	0	1644	2.9	2220(37)	0
504	0.8	1080(18)	0	1656	0.4	2232	0
516	0	1092	5.0	1658	0	2244	0
528	0	1104	0.8	1680(28)	0	2256	0
540(9)	4.2	1116	0	1692	0	2268	0
552	0.4	1128	0	1704	4.6		
564	0	1140(19)	0	1716	1.7		

* Taxa de Aplicação (cm/h).

Tabela 7 - Valores da taxa de aplicação de água do sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.

TEMPO (min)	TAXA DE APLICAÇÃO (cm/h)						
	1º vão	2º vão	3º vão	4º vão	5º vão	6º vão	7º vão
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.9	1.0	0.3	0.4	2.0	0.9	1.8
4	1.1	0.7	0.5	0.8	2.3	1.7	4.0
6	1.3	1.9	1.1	1.6	3.1	2.3	5.4
8	1.2	1.6	2.4	2.0	2.7	2.3	4.0
10	1.0	2.6	2.1	3.4	2.3	3.4	3.9
12	0.9	2.1	1.8	3.8	2.7	3.7	4.8
14	1.1	1.8	2.6	2.9	3.0	2.9	3.5
16	2.0	2.2	2.6	2.9	3.4	2.1	3.8
18	2.4	2.5	2.6	2.6	2.1	2.7	3.7
20	1.9	1.5	2.4	1.9	2.0	2.5	2.2
22	1.1	1.0	3.3	1.0	1.7	2.1	0.8
24	1.7	1.1	2.6	0.9	1.3	2.0	0.0
26	1.6	1.4	3.3	0.7	1.0	1.5	
28	0.9	0.8	3.4	0.2	0.7	0.9	
30	1.5	1.3	2.0	0.2	0.2	0.0	
32	1.7	1.0	0.9	0.4	0.0		
34	0.8	0.8	0.7	0.2			
36	1.1	0.8	0.3	0.0			
38	0.8	0.8	0.2				
40	0.8	0.5	0.1				
42	0.4	0.4	0.0				
44	0.3	0.3					
46	0.6	0.3					
48	1.0	0.2					
50	*	0.0					

* Precipitação não coletada.

Tabela 7 - Continuação.

TEMPO (min)	TAXA DE APLICAÇÃO (cm/h)						balanço
	8° vão	9° vão	10° vão	11° vão	12° vão	13° vão	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.6	1.5	1.5	2.4	3.0	3.2	4.2
4	5.3	3.1	2.2	4.6	6.1	4.2	4.7
6	3.9	4.1	4.2	3.9	5.7	3.8	4.5
8	3.6	3.6	3.6	3.2	5.0	2.9	5.3
10	2.9	3.0	4.0	3.3	6.5	5.6	8.6
12	3.2	3.9	4.2	4.4	6.7	5.9	5.0
13	-	-	-	-	3.4	1.0	2.2
14	4.2	4.0	2.9	3.4	0.0	0.0	0.0
15	-	-	-	0.8			
16	2.9	3.9	2.1	0.0			
17	-	-	0.6				
17.5	-	2.5	-				
18	1.3	0.0	0.0				
20	0.0						

- Taxa de aplicação não calculada.

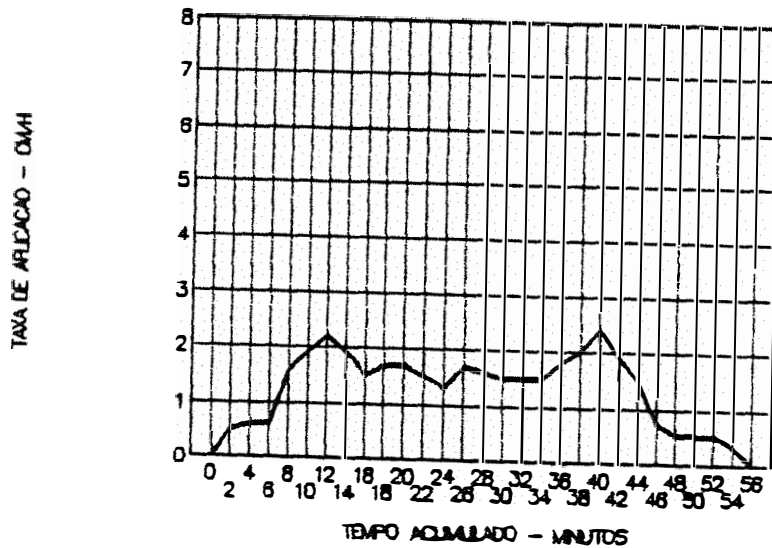


Figura 16 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (1^o vão).

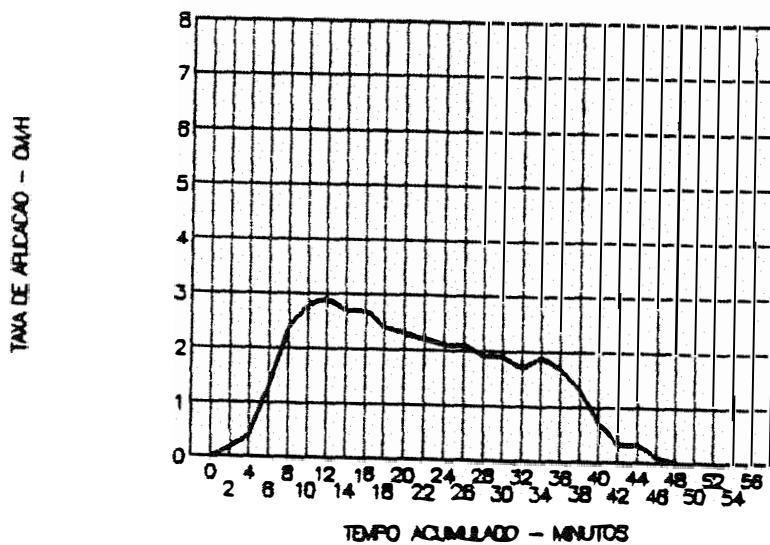


Figura 17 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (2^o vão).

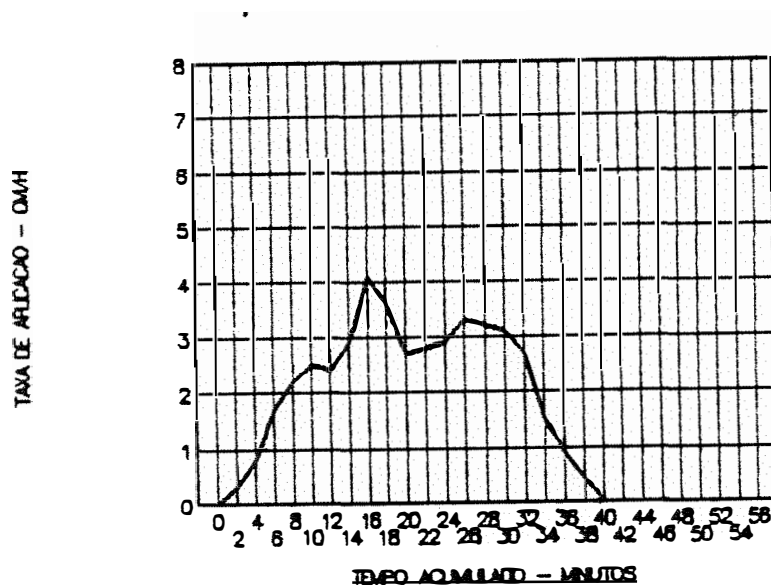


Figura 18 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (3º vão).

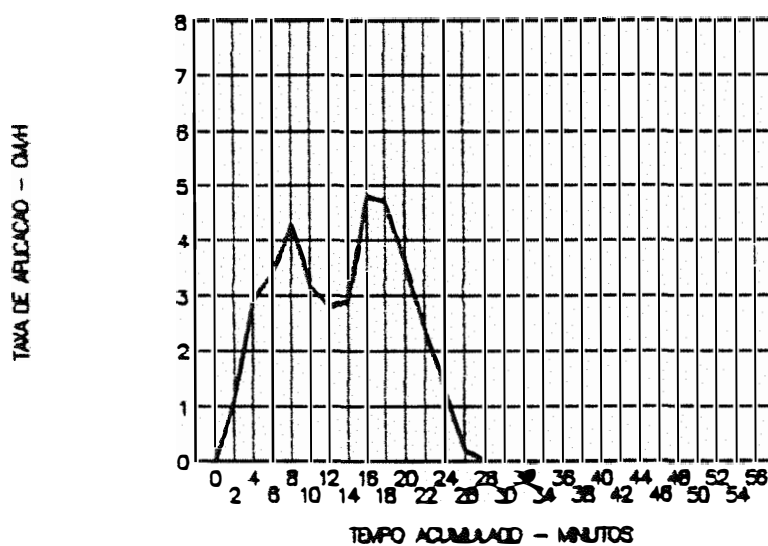


Figura 19 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (4º vão).

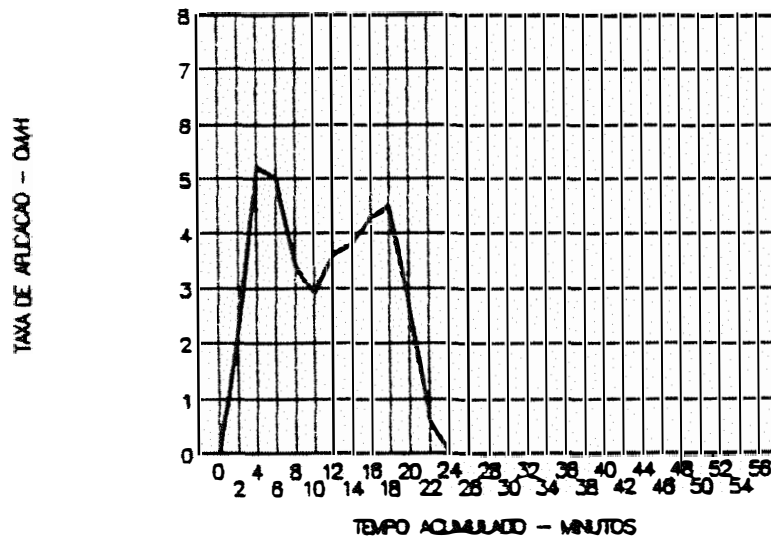


Figura 20 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (5^o vão).

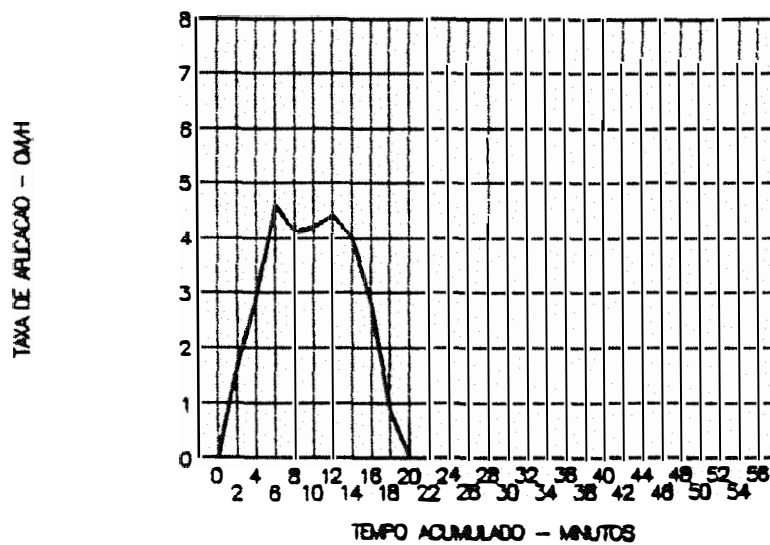


Figura 21 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (8^o vão).

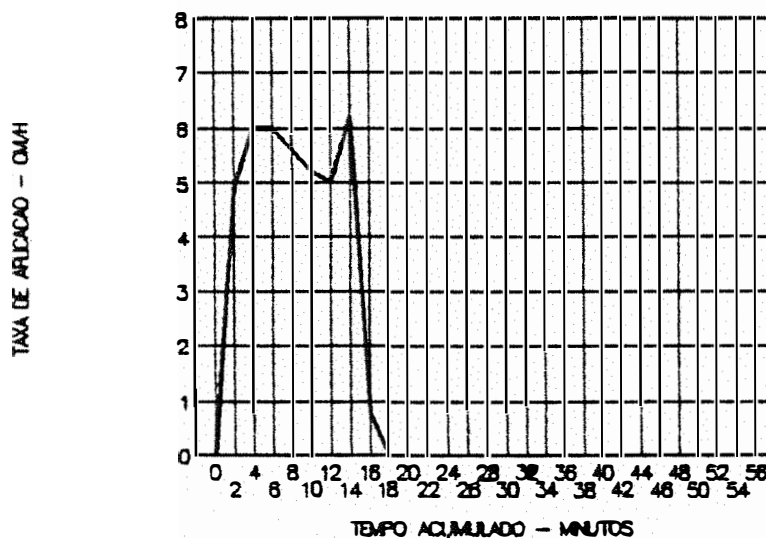


Figura 22 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (7^o vão).

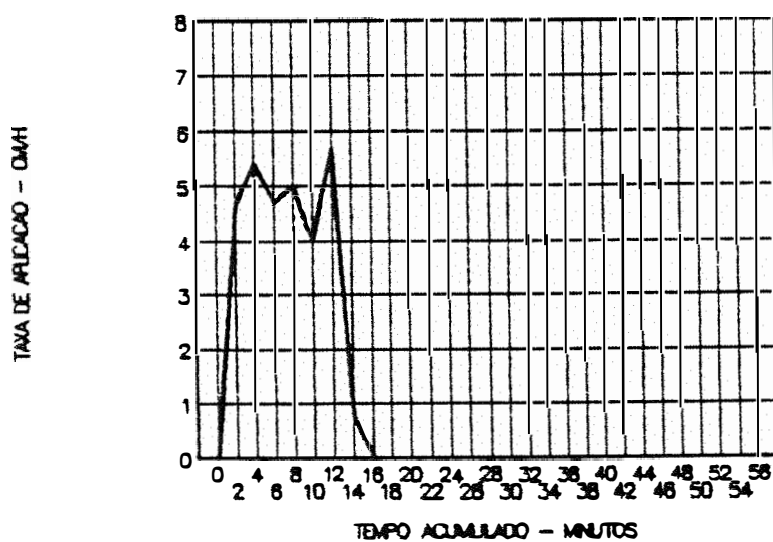


Figura 23 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (8^o vão).

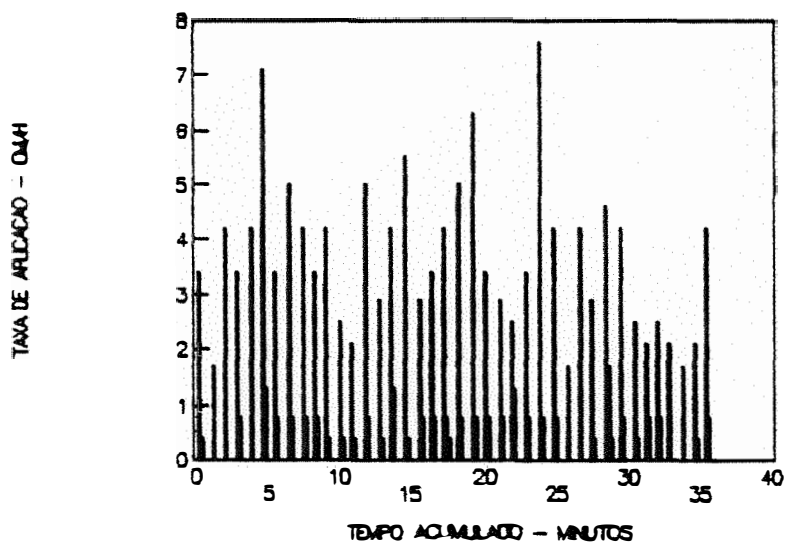


Figura 24 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô DAN-MATIC. (canhão).

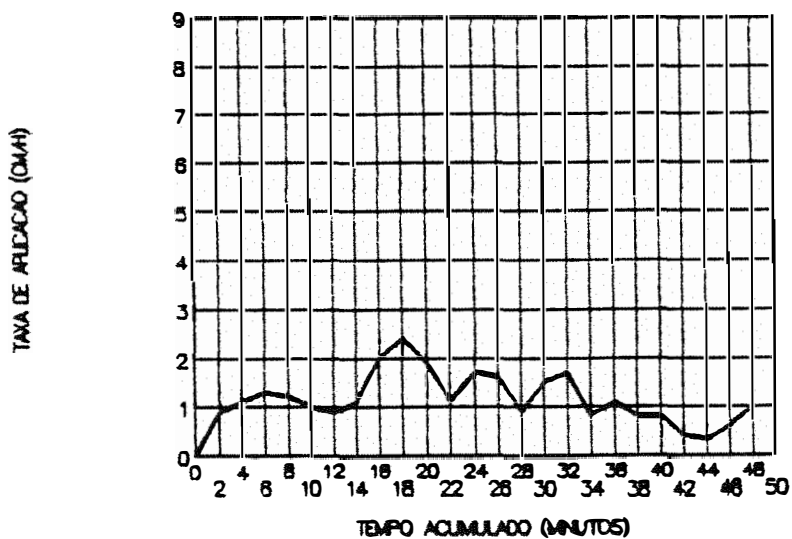


Figura 25 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (1º vão).

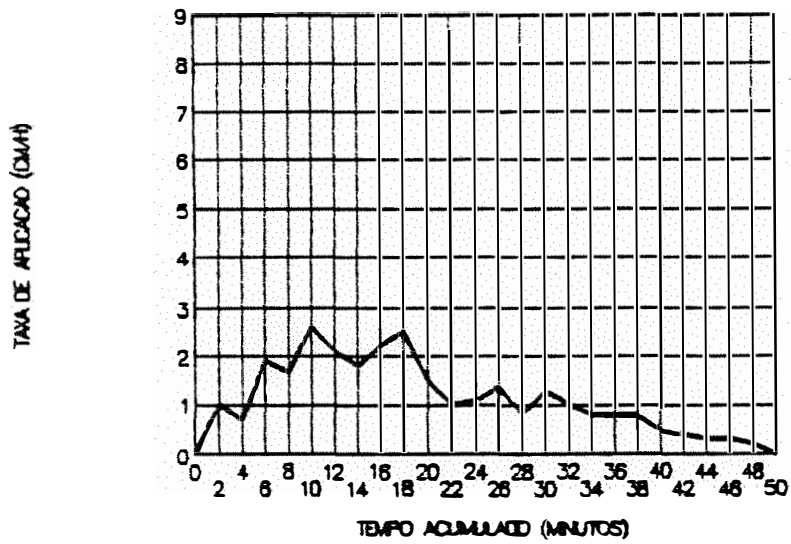


Figura 26 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (2º vão).

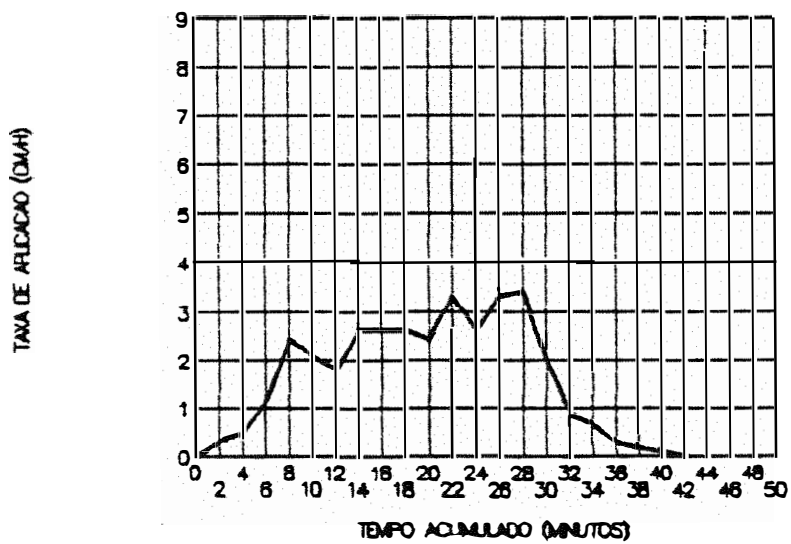


Figura 27 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (3º vão).

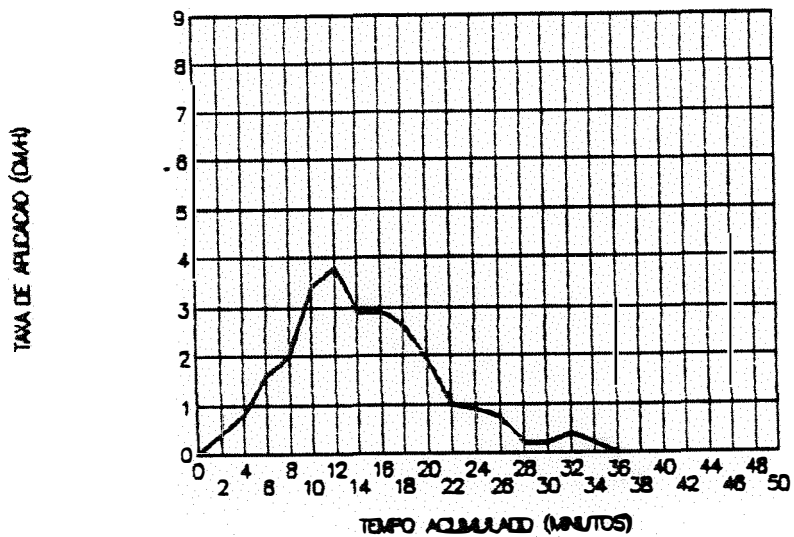


Figura 28 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (4^o vão).

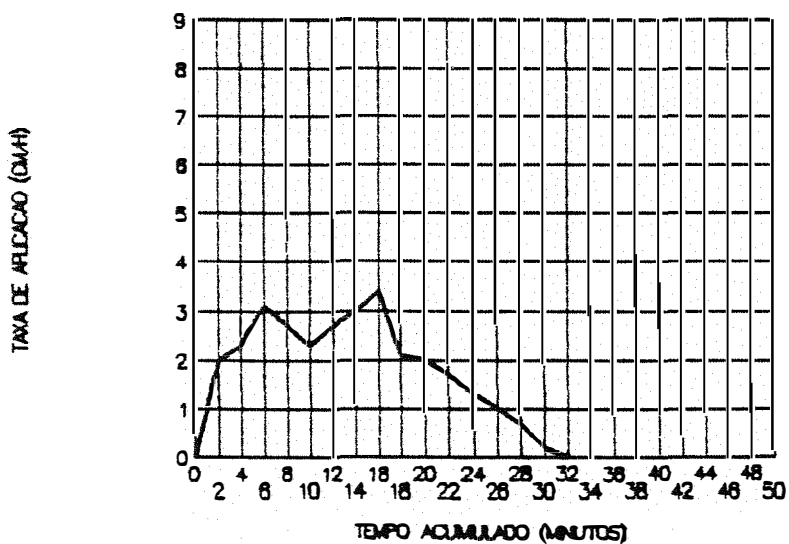


Figura 29 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCOMAT. (5^o vão).

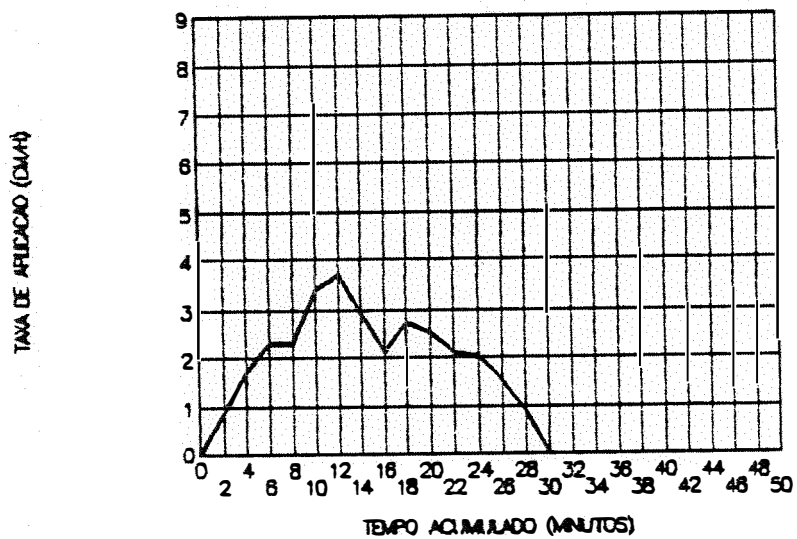


Figura 30 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (6º vão).

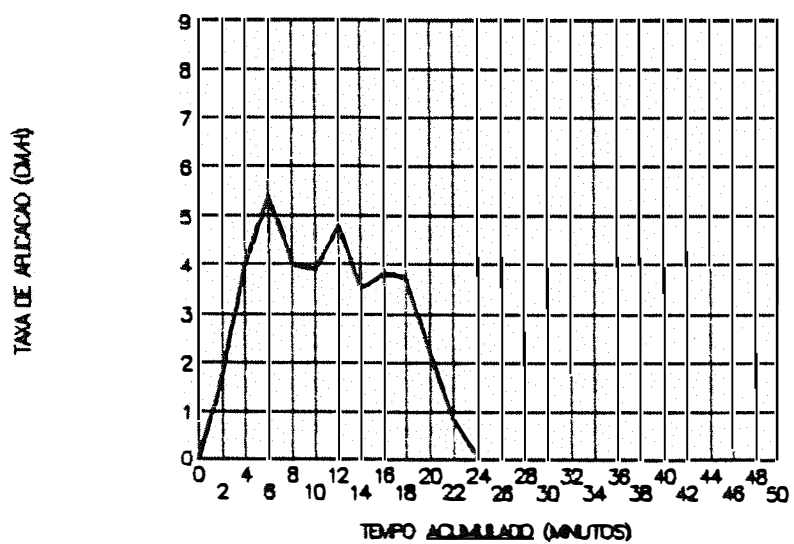


Figura 31 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (7º vão).

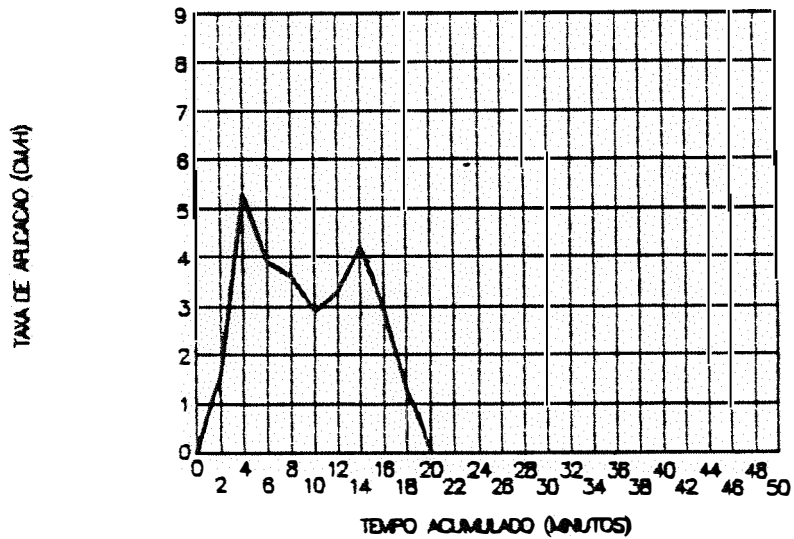


Figura 32 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (8^o vão).

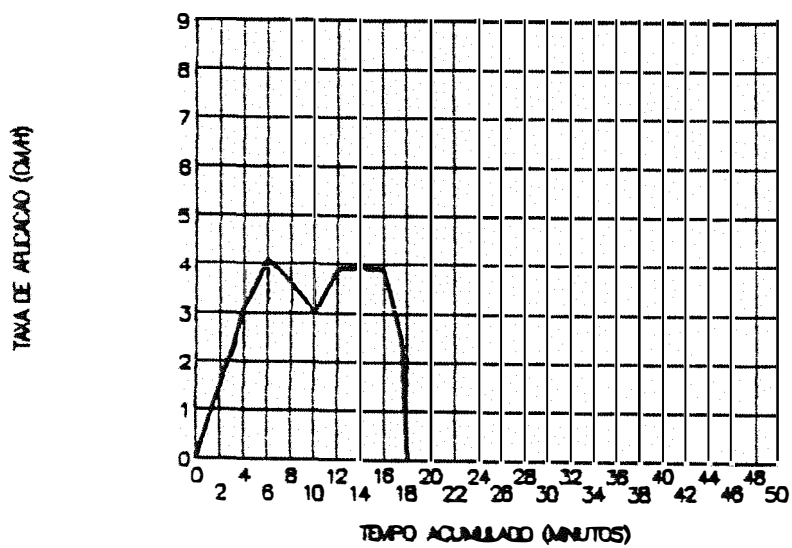


Figura 33 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (9^o vão).

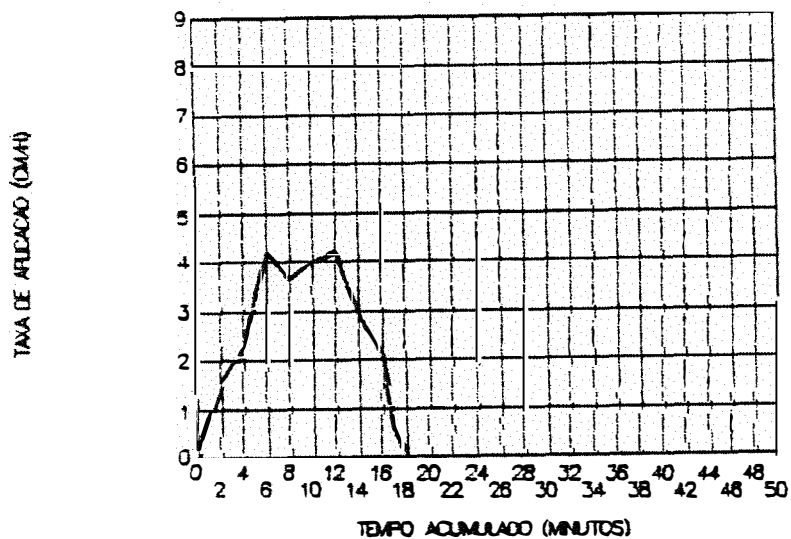


Figura 34 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (10^o vão).

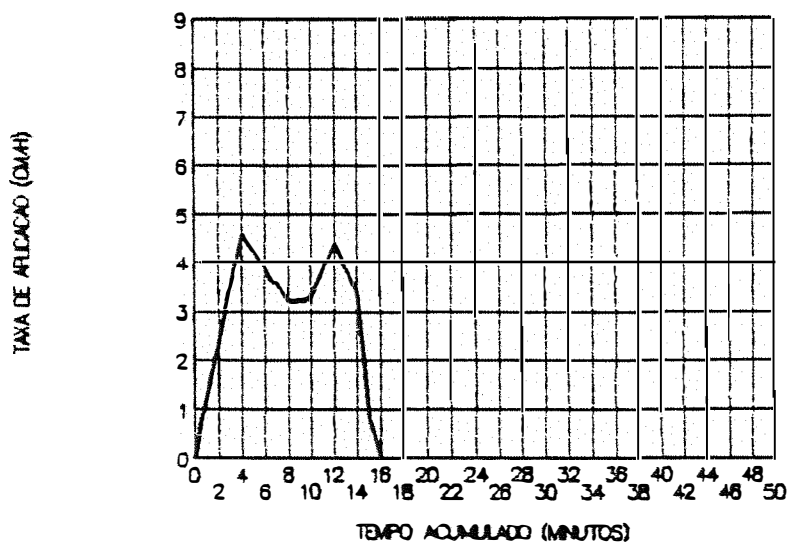


Figura 35 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (11^o vão).

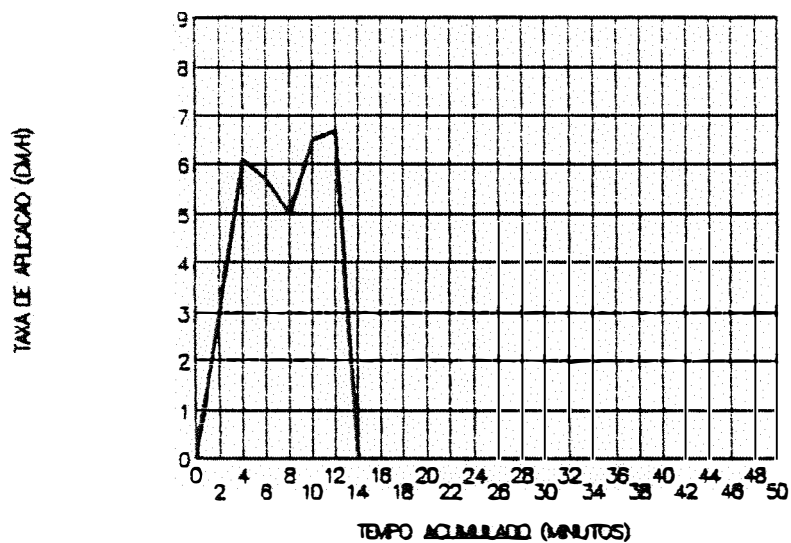


Figura 36 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (12^o vão).

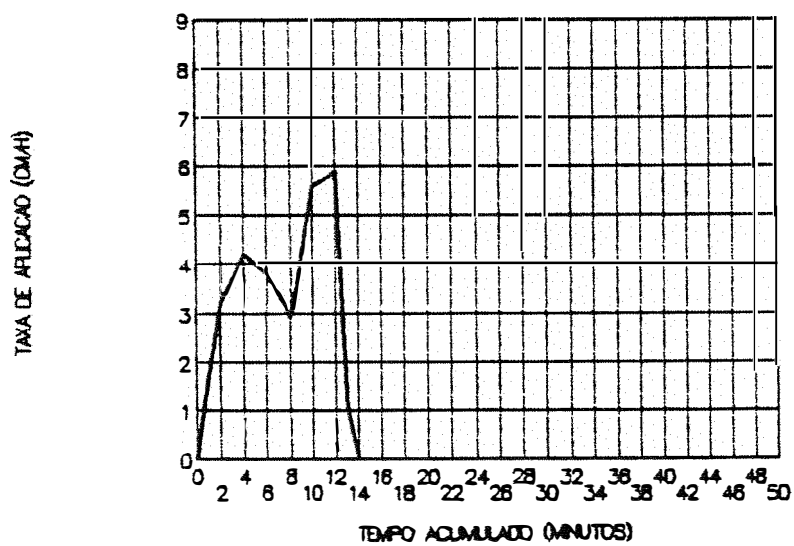


Figura 37 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (13^o vão).

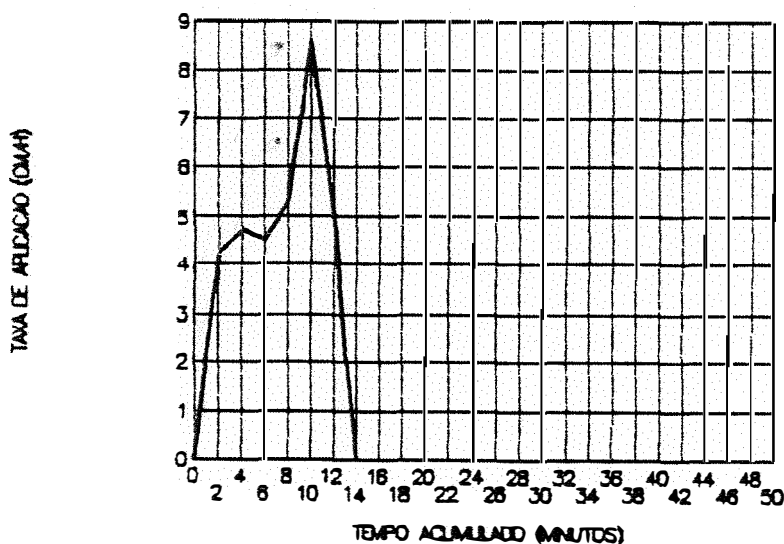


Figura 38 - Perfil da taxa de aplicação de água. Pivô ESCO-MAT. (balanço).

A taxa de aplicação é baixa próximo ao pivô, mas o tempo de aplicação é longo. Seguindo radialmente ao extremo da lateral, observa-se que o tempo de aplicação sobre o ponto diminui, mas a taxa de aplicação aumenta e este aumento na taxa de aplicação é necessário para que se consiga a lâmina de água desejada, conforme observam HEERMAN & HEIN (1968) E ADDINK *et alii* (1983).

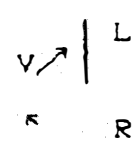
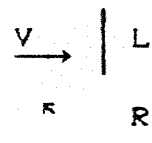
Pode-se observar pelas curvas das Figuras 14 a 22 do sistema DAN-MATIC, que houve um aumento crescente da taxa de aplicação de água ao longo da lateral, que está de acordo com KINCAID *et alii* (1969), em virtude desta taxa ser diretamente proporcional à distância do pivô, a vazão e a

velocidade de movimento dos aspersores serem proporcionais ao comprimento da lateral. Observa-se que no 6^o e 8^o vão houve uma ligeira diminuição, e isto poderá ser atribuído à desuniformidade de aplicação de água ao longo da lateral.

No sistema pivô ESCOMAT houve um aumento na taxa de aplicação ao longo da lateral, entre o 1^o e 4^o vão, mas, no 4^o e 6^o vão houve uma pequena diminuição, aumentando no 7^o e 8^o vão, voltando a diminuir no 9^o e 10^o vão para aumentar a seguir até o vão em balanço, chegando atingir uma taxa de 86 mm/h. A grande variação ocorrida na taxa de aplicação se deve a presença de ventos, como mostra a Tabela 8 causando uma desuniformidade bem acentuada na distribuição da água, conforme ilustram as Figuras 23 a 38. Outra justificativa para estas variações, é o fato do local de captação de água pelo pluviografo ser representado por uma área muito pequena, que poderia estar situada em pontos do vão onde o sistema teria taxas de aplicação ora acima e ora abaixo da média.

A velocidade e direção do vento para cada vão dos sistemas estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Velocidade e direção do vento durante a determinação da taxa de aplicação dos sistemas.

PIVO	VÃO	VELOCIDADE (km/h)	DIREÇÃO
DAN-MATIC	não ocorreu vento durante os ensaios		
ESCOMAT	1°	4.1	
	2°	3.7	
	3°	3.7	*
	4°	3.4	
	5°	3.6	
	6°	3.5	
	7°	4.0	
	8°	3.5	
	9°	4.5	*
	10°	4.9	
	11°	5.8	
	12°	5.3	
	13°	6.1	
Balanço		6.4	

* V - Direção do vento;
 L - Posição da lateral;
 R - Sentido de rotação do sistema.

4.2. Escoamento Superficial

O acréscimo na taxa de aplicação, tem como consequência, um aumento no escoamento superficial, visto que ela supera a taxa de infiltração do solo.

O escoamento superficial foi determinado pelo processo gráfico proposto por CHU (1987), para cada vão dos sistemas e não teve um aumento crescente, fator atribuído não só a pequena área de captação do pluviógrafo, que define

a taxa de aplicação de água no ponto, como pela variação na capacidade de infiltração da água no solo ao longo da linha lateral. A lâmina de água escoada sob cada vão da lateral dos sistemas está na Tabela 9.

Tabela 9 - Lâmina de água escoada.

PIVO	VÃO	LÂMINA DE ÁGUA ESCOADA (mm)
DAN-MATIC	1 ^o	0.0
	2 ^o	0.0
	3 ^o	0.0
	4 ^o	0.0
	5 ^o	0.0
	6 ^o	0.0
	7 ^o	0.0
	8 ^o	0.0
	Canhão	0.0

ESCOMAT	1 ^o	0.0
	2 ^o	0.0
	3 ^o	0.9
	4 ^o	0.0
	5 ^o	0.0
	6 ^o	0.0
	7 ^o	0.0
	8 ^o	0.0
	9 ^o	0.0
	10 ^o	0.0
	11 ^o	0.0
	12 ^o	5.3
	13 ^o	2.15
Balanço	4.65	

4.3. Uniformidade de Distribuição

Os valores da precipitação ao longo da lateral estão nas Tabelas 10 e 11 e os valores da uniformidade de distribuição com resultados completos, incluindo caracterização climática e dados complementares encontram-se na Tabela 12.

Tabela 10 - Distribuição da precipitação ao longo da lateral.
 Pivô DAN-MATIC. Valores obtidos no Instituto de
 Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIÔMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIÔMETROS (mm)
		R ₁	R ₂	
1	1	0.0	0.0	0.0
1	2	131	152	26.7
1	3	107	134	22.7
1	4	115	182	28.0
1	5	93	95	17.7
1	6	89	86	16.5
1	7	84	73	14.8
1	8	86	105	18.0
2	9	88	81	15.9
2	10	108	195	28.58
2	11	90	98	17.7
2	12	91	103	18.3
2	13	81	84	15.6
2	14	85	93	16.8
2	15	65	72	12.9
2	16	80	86	15.7
3	17	74	114	17.7
3	18	101	105	19.4
3	19	100	121	20.8
3	20	100	116	20.4
3	21	91	94	17.5
3	22	82	92	16.4
3	23	79	82	15.2
3	24	75	85	15.1
3	25	103	116	20.7
4	26	97	101	18.7
4	27	87	85	16.2
4	28	87	101	17.7
4	29	81	99	17.0
4	30	110	88	18.7
4	31	91	114	19.3
4	32	85	85	16.0
4	33	124	137	24.6
5	34	105	102	19.5
5	35	89	110	18.8
5	36	72	76	14.0
5	37	73	85	14.9
5	38	79	91	16.0
5	39	101	104	19.3
5	40	71	80	14.2

Tabela 10 - Continuação.

VÃO ENTRE TORRES	N ^o DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIÔMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIÔMETROS (mm)
		R ₁	R ₂	
5	41	95	85	17.0
6	42	102	80	17.2
6	43	81	84	15.6
6	44	84	90	16.4
6	45	95	116	19.9
6	46	81	85	15.7
6	47	84	120	19.2
6	48	84	85	15.9
6	49	84	80	15.5
7	50	78	94	16.2
7	51	78	90	15.8
7	52	95	94	17.8
7	53	94	88	17.2
7	54	91	85	16.6
7	55	84	106	17.9
7	56	80	109	17.8
7	57	80	92	16.2
8	58	84	91	16.5
8	59	94	83	16.7
8	60	81	80	15.2
8	61	94	95	17.8
8	62	84	97	17.1
8	63	109	104	20.1
8	64	86	95	17.1
8	65	88	90	16.8
Balanço	66	71	92	18.5
Balanço	67	110	119	21.8
Balanço	68	40	48	8.3
Canhão	69	88	80	15.8
Canhão	70	102	107	19.7
Canhão	71	91	92	17.3
Canhão	72	79	87	15.7
Canhão	73	52	52	9.8
Canhão	74	13	5	1.7

Tabela 11 - Distribuição da precipitação ao longo da lateral.
 Pivô ESCOMAT. Valores obtidos no Instituto de
 Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

VÃO ENTRE TORRES	N ^o DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIÔMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIÔMETROS (mm)
		R ₁	R ₂	
1	1	0.0	0.0	0.0
1	2	19	23	4.0
1	3	38	35	6.9
1	4	52	46	9.2
1	5	37	51	8.3
1	6	37	42	7.5
1	7	57	36	8.8
1	8	47	34	7.8
2	9	50	36	8.1
2	10	43	32	7.1
2	11	34	20	5.1
2	12	41	23	6.1
2	13	56	34	8.5
2	14	57	38	9.0
2	15	53	32	8.0
2	16	57	30	8.2
2	17	59	49	10.2
3	18	57	44	9.5
3	19	51	43	8.9
3	20	78	34	10.6
3	21	37	31	6.4
3	22	52	42	8.9
3	23	51	40	8.6
3	24	58	42	9.4
3	25	47	45	8.7
4	26	57	55	10.6
4	27	58	47	9.9
4	28	53	42	9.0
4	29	51	48	9.3
4	30	49	48	9.2
4	31	65	60	11.8
4	32	49	50	9.3
4	33	52	61	10.7
4	34	53	57	10.4
5	35	44	54	9.2
5	36	46	47	8.8
5	37	53	59	10.6
5	38	57	58	10.8
5	39	52	58	10.4
5	40	65	59	11.7

Tabela 11 - Continuação.

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIÔMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIÔMETROS (mm)
		R ₁	R ₂	
5	41	61	57	11.1
5	42	61	69	12.3
6	43	59	58	11.0
6	44	54	73	12.0
6	45	52	55	10.1
6	46	49	60	10.3
6	47	45	57	9.6
6	48	50	60	10.4
6	49	60	58	11.1
6	50	61	70	12.4
6	51	61	68	12.2
7	52	64	64	12.1
7	53	50	57	10.1
7	54	46	62	10.2
7	55	57	58	10.8
7	56	52	59	10.5
7	57	61	73	12.6
7	58	48	67	10.8
7	59	57	61	11.1
8	60	64	77	13.3
8	61	52	84	12.8
8	62	61	80	13.3
8	63	46	56	9.6
8	64	50	50	9.4
8	65	50	66	10.9
8	66	56	70	11.9
8	67	54	72	11.9
9	68	54	74	12.1
9	69	56	78	12.6
9	70	56	56	10.6
9	71	56	55	10.5
9	72	64	68	12.5
9	73	52	62	10.8
9	74	58	59	11.0
9	75	57	62	11.2
9	76	54	56	10.4
10	77	58	62	11.3
10	78	60	54	10.8
10	79	52	53	9.9
10	80	54	52	10.0

Tabela 11 - Continuação.

VÃO ENTRE TORRES	N ^o DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIÔMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIÔMETROS (mm)
		R ₁	R ₂	
10	81	49	52	9.5
10	82	42	44	8.1
10	83	51	52	9.7
10	84	38	48	8.1
11	85	48	39	8.2
11	86	48	50	9.2
11	87	50	55	9.9
11	88	52	68	11.3
11	89	48	48	9.1
11	90	49	49	9.2
11	91	44	47	8.6
11	92	34	56	8.5
11	93	52	55	10.1
12	94	49	52	9.5
12	95	51	61	10.6
12	96	32	48	7.5
12	97	47	48	9.0
12	98	42	35	7.3
12	99	35	51	8.1
12	100	55	47	9.6
13	101	66	64	12.3
13	102	57	61	11.1
13	103	48	63	10.3
13	104	51	56	10.1
13	105	49	52	9.5
13	106	50	49	9.3
13	107	52	57	10.3
13	108	51	54	9.9
Balanço	109	72	69	13.3
Balanço	110	71	67	13.0
Balanço	111	59	62	11.4
Balanço	112	76	80	12.8
Balanço	113	70	60	12.3
Balanço	114	0	22	2.1

Pelas Figuras 39 e 40, que mostram o perfil da altura de água aplicada ao longo das laterais dos sistemas, pode-se observar uma desuniformidade de distribuição de água.

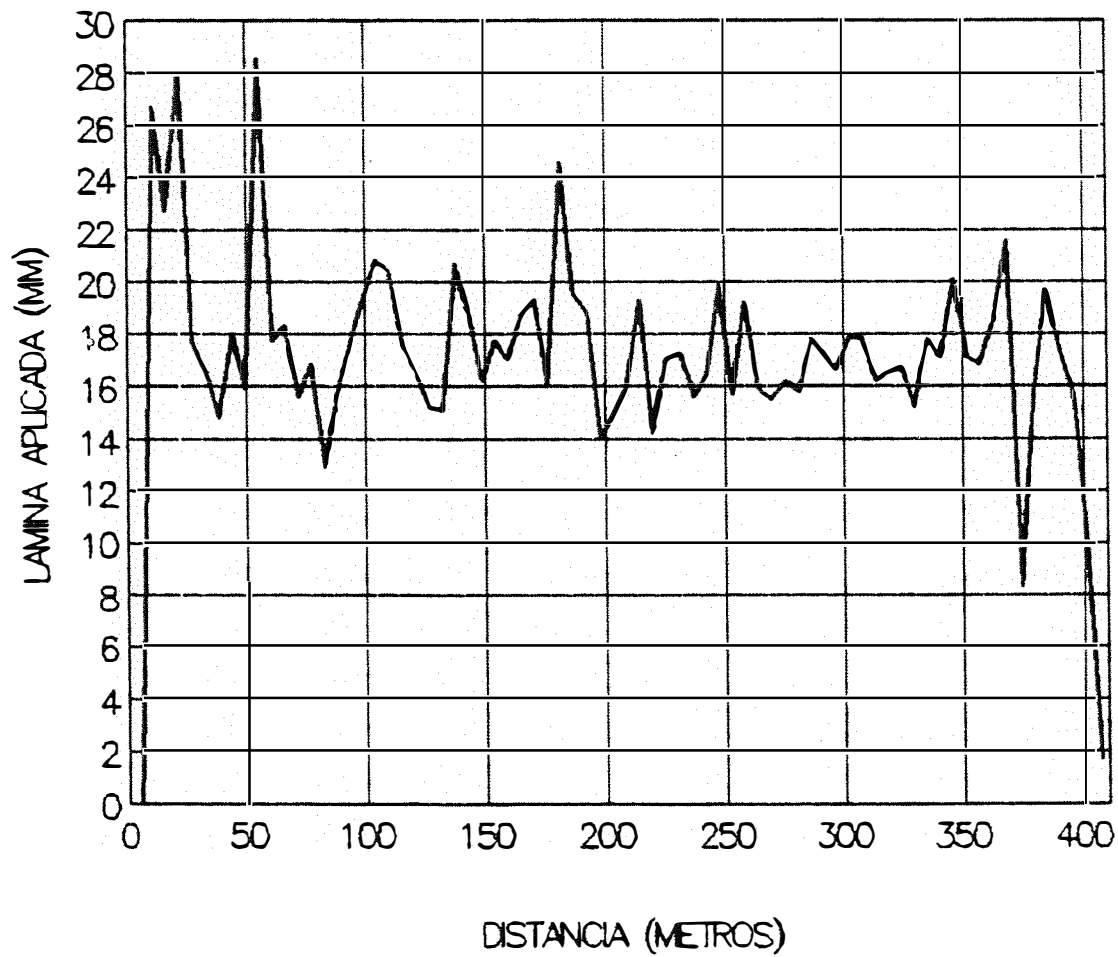


Figura 39 - Perfil da precipitação ao longo da linha lateral.
Sistema de irrigação pivô central DAN-MATIC.

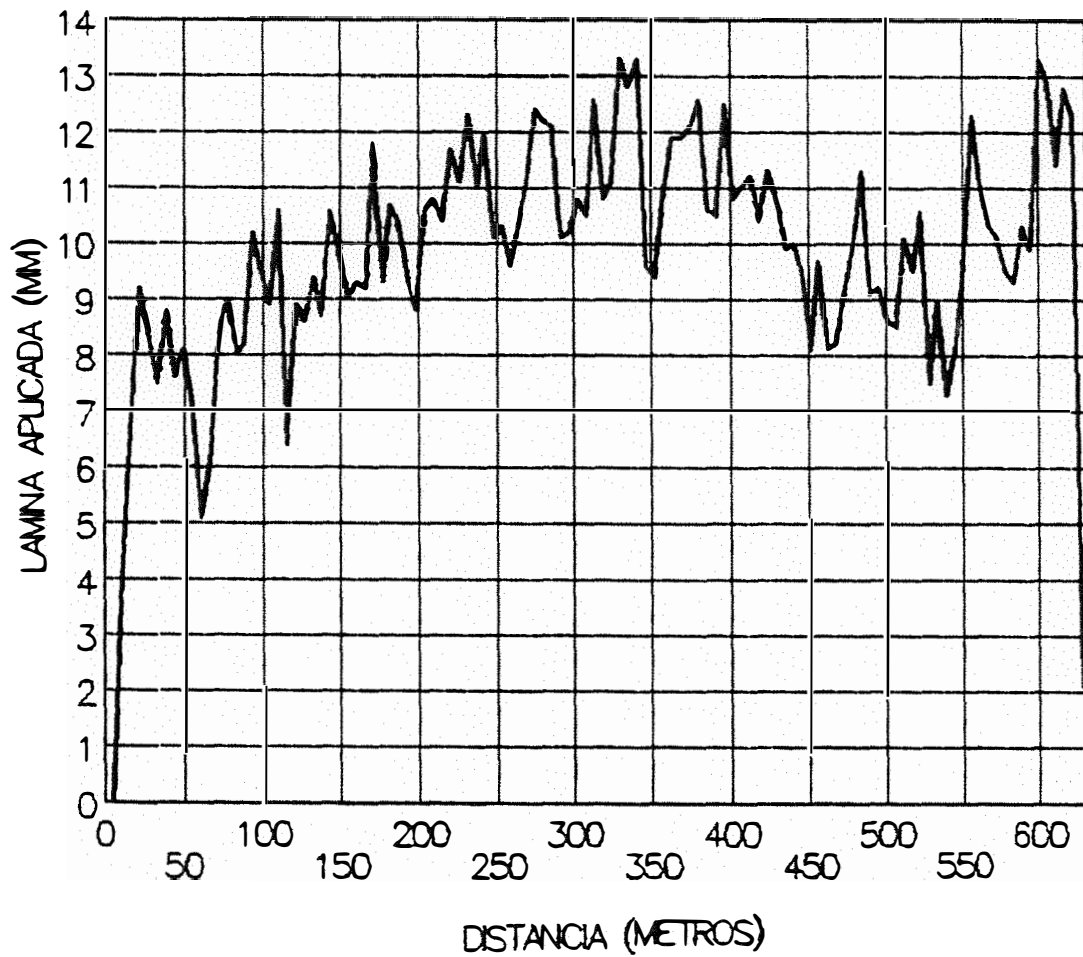


Figura 40 - Perfil da precipitação ao longo da linha lateral.
Sistema de irrigação pivô central ESCOMAT.

É considerado como valor mínimo aceitável para um desempenho normal do sistema, um coeficiente de Uniformidade de Christiansen (C.U.C.) de 80%, segundo OLITTA (1978). Nos dois sistemas analisados os valores do C.U.C. estiveram acima do valor mínimo, como mostra a Tabela 12.

Valores do coeficiente de Uniformidade de Distribuição de água (U.D) acima de 80%, são considerados bons, por grande número de autores, segundo BRIDI (1984). Os valores encontrados nos sistemas estiveram aquém desse mínimo (Tabela 12), o que pode ser explicado pelo uso de difusores e a baixa pressão do sistema, conforme atestam BERNUTH & GILLEY (1985), THOYAMANI *et alii* (1987).

A diferença de resultados entre os dois parâmetros de avaliação da Uniformidade de Distribuição dos sistemas, pode ser explicada pelo fato da equação que determina o coeficiente de Uniformidade considerar apenas a média de 25% do total de pluviômetros com as menores precipitações, sendo que, geralmente, esses 25% estão na primeira metade da linha lateral, concorrendo com menor peso no processo de ponderação. Já a equação de Christiansen considera a média da precipitação de todos os pluviômetros ao longo lateral, o que torna, segundo BRIDI (1984) seus resultados de Uniformidade de Distribuição mais representativos.

Nas Figuras 39 e 40 se observa aspersiones em alguns pontos da lateral, com precipitação muito abaixo e muito acima da média. Esses pontos não alteraram o desempenho dos sistemas, pois de um modo geral as precipitações estiveram próximas à precipitação média.

Tabela 12 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, Caracterização Climática e Dados Complementares.

	PIVÔ DAN-MATIC	PIVÔ ESCOMAT
- Coef. de Unif. de Distribuição (%)	73.98	74.14
- Coef. de Unif. de Christiansen (%)	88.39	85.85
- Temperatura média (°C)	26.40	28.80
- Umidade relativa do ar (%)	41.40	38.10
- Velocidade média do vento (km/h)	2.16	10.30
- Lâmina evaporada (mm)	* 0.0	0.0
- Declividade do Local (%)	0.32	1.14
- Velocidade de mov. do sistema (m/h)	50.47	80.39
- Velocidade de mov. do sistema em relação à velocidade máxima (%)	40	50

* Não houve evaporação da água.

5. CONCLUSÕES

Com base nas análises e interpretação dos resultados obtidos na presente pesquisa e, considerando as condições em que a mesma foi conduzida chegaram-se às seguintes conclusões:

1. A taxa de aplicação sofre uma pequena queda durante a passagem da lateral, sendo refletida no padrão de distribuição;
2. Não ocorreu um aumento crescente e gradual da taxa de aplicação de água ao longo da lateral em virtude da variação na aplicação de água ao longo da lateral;
3. Não houve um aumento crescente do escoamento superficial ao longo da lateral, devido, à variação espacial na capacidade de infiltração de água no solo, à variação no padrão de distribuição decorrente da existência de vento durante os ensaios e à desuniformidade na aplicação de água.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINK, J.W.; KELLER, J.; SNEED, R.E.; WOLFE, J.W. Design and operation of sprinkler systems. In: JENSEN, M.E.; Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. (ASAE Monograph, 3). Michigan, 1983.
- ADDINK, J.W.; MILES, D.L.; SKOGERBOE, G.V. Water intake under center-pivots from time - varying application rates. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 18(3): 523-5, 528, 1975.
- BERNUTH, R.D.V. & GILLEY, J.R. Evaluation of center pivot application packages considering droplet induced infiltration reduction. St. Joseph, (Paper, 83-2516). ASAE, 1985.
- BITTINGER, N.W. & LONGENBAUGH, R.A. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 5(1): 26-30, 1962.
- BRIDI, S. Análise de uniformidade da distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central. Viçosa, 1984, 87.p. (M.S. Universidade Federal de Viçosa).
- CHU, S.T. Generalized Mein - Larson infiltration model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, 113(2): 155-62, 1987.

- DILLON, R. C. , HILER, E. A. ; VITTETOE, G. Center-pivot sprinkler desing based on intake characteristics. Chicago, USDA, Illinois, (Paper 71-759), 1971.
- EDLING, R. J. Variation of center-pivot operation with field slope. *Transactions of The ASAE*, St. Joseph, 22(5): 1032-43, 1979.
- GILLEY, J. R. ; MIELK, L. N. ; WILHELM, W. W. An experimental center-pivot irrigations system for reduce energy crop production estudies. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 26(5): 1375-9, 1385; 1983.
- GILLEY, J. R. . Suitability of reduced pressure center-pivots. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, St. Joseph, 110(1): 22-34, 1984.
- HEERMANN, D. F. & HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 11(1): 11-15, 1968.
- JAMES, L. G. Modeling the performance of center-pivot irrigation systems operating on variable topography. *Transactions of The ASAE*, St. Joseph, 25(1): 143-9, 1982.
- JAMES, L. G. & BLAIR, S. K. Performance of low pressure center-pivot system. *Transactions of The ASAE*, St. Joseph, 27(6): 1753-62, 1984.
- JOHNSON, G. C. ; ROCHESTER, E. W. ; HATCH, L. U. ; CURTIS, L. M. ; YOO, K. H. Analysis of center-pivot irrigation systems operating in a humid area environment. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, 30(6): 1720-5, 1987.
- KELSO, G. L. & GILLEY, J. R. A sistem for measuring infiltration rates under center-pivot irrigation systems. *Tran-*

- saction of the ASAE, St. Joseph, 29(4): 1058-64, 1986.
- KINCAID, D.C.; HEERMANN, D.F.; KRUSE, E.G. Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*, 12(6): 790-795, 1969.
- KINCAID, D.C. & HEERMANN, D.F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. *Transactions of The ASAE*, St. Joseph, 13(11): 556-558, 1970.
- MARCHETTI, D. Irrigação por pivô central. Brasília, EMBRAPA, 1983. 23 p. (Circular Técnica, 1).
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. & ALFARO, J. Irrigation system evaluation and improvement. Logan, Utah State University, 1973.
- OLLITA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1987. 267 p.
- RICHARDS, L.A. Pressure - membrane apparatus. construction and use. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, 28: 451-4, 1947.
- RING, L. & HEERMANN, D.F. Determining center-pivot sprinkler uniformities. (Paper, 78-2001). U.S.D.A., Logan, USDA, 1978.
- TOOYAMANI, K.P. & NORUM, D.I. Performance of low-pressure center-pivot sprinkler irrigation systems in Saskatchewan. *Canadian Agricultural Engineering*, Ottawa, 29(2): 143-8, 1987.
- TOOYAMANI, K.P.; NORUM, D.I.; DUBETZ, S. Application rates and uniformity under center-pivot sprinkler irrigation systems using spray nozzles. *Canadian Agricultural Engineering*, Ottawa, 29(2): 149-154, 1987.