

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO ATRAVÉS DO  
MODELO LINEAR.

José Mauro Ribeiro

---

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Fortaleza - 1982

Esta dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrícola, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e em contra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

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

---

José Mauro Ribeiro

DISSERTAÇÃO APROVADA EM : 30/08/82

---

Francisco de Souza  
Orientador da Dissertação

---

Paulo Theodoro de Castro

---

Luis Carlos Uchoa Saunders

à minha esposa stela,  
aos meus pais josé e sebastiana,  
aos meus filhos césar ricardo e mauro juliano

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Goiás - EMATER-GO e à Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMBRATER, pela oportunidade da realização deste curso.

Ao Convênio "Dessalinização", UFC/FCPC/CNPq, através do seu Coordenador Dr. José Matias Filho, pela colaboração nos trabalhos de campo.

Ao professor Francisco de Souza, pela amizade e orientação prestada no decorrer da elaboração deste trabalho.

Aos professores Luis Carlos Uchoa Saunders e Paulo Theodoro de Castro, pela valiosa colaboração e sugestões apresentadas.

A todos os professores do Curso de Mestrado de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, pela consideração e conhecimentos transmitidos no decorrer do curso.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Vale do Curu, pelo tratamento cordial e amigável durante a realização dos trabalhos de campo.

A Renato Sílvio da Frota Ribeiro, Ana Tereza Coelho Leite e Ângela Maria Magalhães Gonzaga, pelo auxílio na tabulação, computação e redação.

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

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

## SUMÁRIO

Página

<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	
<u>RESUMO</u> .....	
<u>- ABSTRACT</u> .....	
x 1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	3
2.1 - <u>Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão</u> .....	3
2.2 - <u>Fatores que influenciam a performance e do sistema de irrigação por aspersão</u> .....	6
- 2.3 - <u>Parâmetros de uniformidade</u> .....	11
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	17
3.1 - <u>Procedimento de campo</u> .....	17
x 3.2 - <u>Modelo linear</u> .....	21
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	35
4.1 - <u>Comportamento dos aspersores com relação as especificações dos fabricantes</u> .....	35
4.1.1 - <u>Raio de alcance do jato</u> .....	35
4.1.2 - <u>Diâmetro dos bocais</u> .....	35
4.1.3 - <u>Vazão</u> .....	40
4.2 - <u>Performance dos aspersores</u> .....	40
4.2.1 - <u>Raio de alcance do jato d'água</u> .....	40
4.2.2 - <u>Taxa de aplicação</u> .....	41
x 4.2.3 - <u>Velocidade de rotação dos aspersores</u> .....	43
4.2.4 - <u>Influência da rotação do aspersor por quadrante</u> .....	44
4.2.5 - <u>Verificação da distribuição e eficiência</u> .....	44
x 4.3 - <u>Outros fatores que afetam a uniformidade e eficiência</u> .....	45

	Página
4.3.1 - Efeito da velocidade do vento .....	45
4.3.2 - Efeito da direção do vento .....	47
4.3.3 - Efeito das perdas por evaporação e car reamento .....	51
4.4 - <u>Estudo das eficiências e perdas</u> .....	56
4.5 - <u>Modelo estudado - Aspectos da uniformida de relacionados com o modelo linear e normal</u> .....	60
5 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	67
6 - <u>LITERATURA CITADA</u> .....	69
APÊNDICE A .....	73
APÊNDICE B .....	79
APÊNDICE C .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Eficiência de aplicação de água (Ea), como função de b e Yr .....	32
2	Eficiência de armazenamento de água (Es), como função de b e Yr .....	
3	Fração total de água perdida por percolação profunda (Dp), como função de b e Yr .....	34
4	Parâmetros do modelo linear obtidas pelo aspersor ZED-30 .....	36
5	Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor ZED-30 .....	37
6	Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Top A .....	38
7	Comportamento dos aspersores com relação às especificações dos fabricantes, na pressão de serviço de 2,5 kgf/cm <sup>2</sup> .....	39
8	Velocidade média e tempo da rotação dos aspersores .....	43
9	Tempo médio de rotação do aspersor por quadrante em seg. ....	44
10	Influência da velocidade do vento no espaçamento da lateral .....	46
11a	Frequência da velocidade do vento obtida nas categorias propostas pelo Serviço de Conservação de solos dos Estados Unidos, nos testes iniciados de 6:00 às 7:30h .....	47
11b	Frequência da velocidade do vento nas categorias propostas pelo Serviço de Conservação do	

Tabela	Página
<p>solo dos Estados Unidos, nos testes iniciados de 7:30 a 8:30h .....</p>	47
<p>12 Velocidade média dos ventos obtida de 1964 a 1970 na Estação Meteorológica da Faz. Exp. Vale do Curu .....</p>	49
<p>13 Efeito da velocidade do vento sôbre os parâmetros de qualidade <math>s/\bar{y}</math>, CUC, CUH, Ea, Es e Dp, nos espaçamentos de 12 x 12m e usando os dados colhidos nos testes com o aspersor Agropolo .....</p>	50
<p>14 Efeito da direção do vento na distribuição da água .....</p>	55
<p>15 Efeito das perdas por evaporação e carreamento na qualidade da irrigação (aspersor Top A, espaçamento 12 x 12m),</p>	57
<p>16 Valores dos coeficientes de uniformidade (CUL, CUC e CUH) nos espaçamentos 12 x 12m, 12 x 18m e 12 x 36m.</p>	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efeitos típicos de padrões de distribuição de água em uma cultura irrigada sem presença de escoamento superficial (após HANSEN, citado por WALKER 1979). . . . .	12
2	Diagrama esquemático do campo experimental ...	19
3a	Histograma da altura de aplicação pela área irrigada . . . . .	23
3b	Curva de Frequência adimensional normal (após HART, citado por WALKER 1979). . . . .	23
4	Diagrama esquemático do Modelo Linear Distribuição adimensional acumulada . . . . .	25
5	Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 1 ( $Y_r > Y_{max}$ ) . . . . .	25
6	Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 2 ( $1,0 < Y_r \leq Y_{max}$ ) . . . . .	28
7	Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 3 ( $Y_r = 1,0$ ) . . . . .	28
8	Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 4 ( $Y_{min} \leq Y_r < 1,0$ ) . . . . .	31
9	Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 5 ( $Y_r < Y_{min}$ ) . . . . .	31
10	Padrão do aspersor Top A no teste nº 1, com velocidade do vento de 13,9 km/h . . . . .	52
11	Processo de superposição, para o espaçamento de 12 x 18m, com direção do vento paralela ao menor espaçamento . . . . .	52

Figura		Página
12	Superposição obtida do padrão do teste nº 1, para o espaçamento de 12 x 12m, com ventos <u>do</u> minantes paralelos ao menor espaçamento .....	54
13	Superposição obtida do padrão do teste nº 1, para o espaçamento de 12 x 12m, com ventos <u>do</u> minantes paralelos ao menor espaçamento .....	54
14	Diagrama linear acumulativo para diferentes distribuições .....	59
15	Diagrama linear acumulativo para diferentes distribuições (invertido) .....	61
16	Comparação dos ajustes linear e normal quando o coeficiente de variação é pequeno ou médio ( $s/\bar{y} < 0,62$ ) .....	62
17	Comparação entre os ajustes linear e normal, quando o coeficiente de variação é elevado ( $s/\bar{y} > 0,62$ ) .....	64

## RESUMO

Os testes de campo foram realizados em um período de 7 meses (agosto de 1981 a março de 1982), na Estação Experimental Vale do Curu, Pentecoste, Ce.

O modelo sugerido por KARMELI et alii (1978), foi usado no estudo dos padrões de precipitação dos aspersores, no que se refere a eficiência, uniformidade de distribuição, percolação profunda e outros parâmetros da irrigação. O modelo é baseado na curva de frequência acumulada adimensional da lâmina de infiltração (Y) e na fração da área (X), a qual é representada pela função da regressão linear.

$$Y = a + bX$$

onde

Y = lâmina adimensional da precipitação

X = fração da área

a e b = coeficiente da equação linear (constantes).

Para simular o padrão de distribuição da irrigação por aspersão, para 21 espaçamentos diferentes entre aspersores (12 x 12m a 42 x 42m), foi usado um programa de computador proposto por KARMELI et alii (1978).

Para cada espaçamento entre aspersores, o programa calculou: lâmina média de precipitação, desvio padrão, coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC), coeficiente de uniformidade de HART (CUH), coeficientes da equação linear, eficiência de aplicação da água (Ea), eficiência de armazenamento de água (Es) e perdas por percolação profunda (Dp).

Quatro marcas de aspersores disponíveis no mercado de

Fortaleza-Ce, foram testadas: ZED-30, Samoto AJS, Agropolo e Top A. Os testes de campo foram conduzidos considerando a metodologia proposta pela ASAE (American Society of Agricultural Engineers).

Com o resultado de 64 testes de campo, chegou-se às seguintes conclusões:

- Os aspersores testados seguem as recomendações dos fabricantes.
- O espaçamento entre aspersores, velocidade e direção do vento e o diâmetro molhado do aspersor afetam a uniformidade de distribuição da água.
- O modelo proposto por KARMELI et alii (1978) é um método simples, acurado e fácil de ser usado.
- Na aplicação da metodologia de KARMELI et alii (1978) é necessário estabelecer a relação custo-benefício entre a qualidade da irrigação e o valor econômico da cultura.

## ABSTRACT

Field tests were conducted over a seven-month period (august, 1981 to march, 1982) in the "Vale do Curú" Experimental Station, Pentecoste, CE, Brazil.

A model suggested by Karmeli et alii (1978) was used to study the precipitation patterns of sprinklers, in relation to efficiency, distribution uniformity, deep percolation and other irrigation parameters. The model is based upon the dimensionless cumulative frequency curve of the infiltration depth (Y) and the fraction of area (X), which is represented by the linear regression function

$$Y = a + bX$$

where

Y = dimensionless precipitation depth

X = fraction of area

a,b = linear regression coefficients (constante).

A computer program proposed by Karmeli et alii (1978) was used to simulate sprinkler overlapping patterns for twenty-one different sprinkler spacings (from 12m x 12m to 42m x 42m). For each sprinkler spacing the program calculates: mean precipitation depth, standard deviation, Christianzen Uniformity Coefficient (UCC), Hart Uniformity Coefficient (UCH), linear regression coefficients, water application efficiency (Ea), water storage efficient (Es) and deep percolation losses (Dp).

Four sprinkler models available in, Fortaleza-CE market were tested: ZED-30, Samoto AJS, Agropolo and Top A.

Field tests were undertaken using ASAE (American Society of Agricultural Engineers) methodology.

The results of 64 field tests led to the following conclusion:

- the sprinklers tested follow the fabricants recommendations
- sprinkler spacing, wind velocity and direction and sprinkler diameter of throw affect the water distribution uniformity
- Karmeli et alii (1978) model is a single, easaly usable and accurate method.
- In applying Karmeli et alii (1978) methodology, it is necessary to establish the cost-benefit relationship in regard to irrigation quality and crip economic value.

## 1 - INTRODUÇÃO

A água é um fator de alta relevância no crescimento e desenvolvimento das culturas. Em certas regiões e em determinadas épocas do ano, o regime pluviométrico torna difícil um rendimento razoável das espécies vegetais. Baixo teor de umidade no solo, causa redução e alteração no desenvolvimento das culturas.

O uso dos vários métodos de irrigação existentes, permite ao produtor maior independência do fator climático - chuva, possibilitando o uso de tecnologia sofisticada, com maior investimento e custeio, proporcionando maior rendimento dos cultivos.

A relevância do método de irrigação por aspersão fica patente, no momento em que o governo brasileiro lança o "Programa de Financiamento para aquisição de Equipamentos de Irrigação" - PROFIR, visando ao aumento expressivo da área irrigada em nosso país, com metas para incorporação de um milhão de hectares, em 5 anos, (100 mil hectares já em 1982), com o objetivo precípua de produzir todo trigo necessário ao abastecimento nacional, além do "Programa Nacional de Pequena Irrigação", também com metas altamente significativas.

Dados de pesquisa mostram uma assustadora diminuição dos recursos naturais, contrastando com uma crescente demanda de alimentos, causada pelo constante aumento da população humana. Torna-se, assim, necessária a incorporação de novas áreas ao processo produtivo, e, a irrigação por aspersão, devida a sua fácil adaptação aos mais variados tipos de solo e topografia, apresenta-se como um método capaz de proporcionar aumento considerável da área irrigada e, conseqüentemente, da produção agrícola, apesar do custo inicial elevado.

O uso de um único aspersor na avaliação do padrão de distribuição, permite rapidez, devido ao menor número de testes necessários, já que, é possível simular através da técnica de superposição, os vários espaçamentos desejados, calculando os seus devidos índices de uniformidade, eficiência e perda. A verificação do padrão é baseada nas lâminas de água coletadas em recipientes de igual dimensão e estrategicamente distribuídos sobre o terreno.

Considerando os aspectos acima apresentados e a necessidade de informações para o planejamento, operação e avaliação do sistema de irrigação por aspersão, resolveu-se realizar o presente trabalho, com os seguintes objetivos:

- Estudar o padrão de distribuição de 4 aspersores disponíveis no mercado.

- Estudar os fatores que influenciam a eficiência e uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão, através do modelo linear de KARMELI et alii (1978).

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão

Ao avaliar a qualidade de um sistema de irrigação por aspersão, deve-se ter conhecimento do coeficiente de uniformidade de distribuição da água, além de parâmetros tais como, eficiência de aplicação e armazenamento, (KARMELI et alii, 1978).

Segundo WALKER (1978), a taxa de aplicação dos aspersores não deve ultrapassar a taxa de infiltração de água do solo, nem deve ser muito baixa a ponto de possibilitar perdas elevadas por evaporação. A quantidade de água aplicada, durante uma irrigação, não deve ultrapassar àquela que o solo pode reter na zona de raízes das plantas, a menos que haja necessidade de lixiviação de sais.

A água deve ser aplicada com facilidade e de maneira uniforme sobre a cultura. O ponto de menor aplicação deverá, usualmente, receber 80% ou mais da lâmina média aplicada. A uniformidade é afetada pela diferença nas vazões individuais dos aspersores ao longo da linha lateral, e nas diferentes laterais. É também afetada pela uniformidade da precipitação dentro da área efetiva de cada aspersor. As maiores perdas de água, em um sistema por aspersão, são devidas à ação do vento e pela evaporação da água que ocorre entre o bocal do aspersor e o solo. O tamanho da gota e a taxa de aplicação afetam estas perdas. Para uso eficiente da água, o total perdido não deve ultrapassar 10 a 15% do que flui através do sistema.

Segundo MERRIAM e KELLER (1978), uma técnica simples de avaliação de irrigação, fornece informações úteis para

identificar e corrigir problemas operacionais. Os dados necessários podem ser obtidos através de perguntas ao irrigante ou através de simples observações de campo. Já uma avaliação completa, ou seja, uma avaliação detalhada, fornece informações necessárias para identificar os problemas existentes, tornando possível a adoção de modificações para corrigí-los, como também, permite fazer comparações de procedimento e método e ainda, fornece dados para projetos de sistema sob condições similares. Informações sobre solo e cultura, são fundamentais para o planejamento da irrigação. A taxa ou volume de aplicação do sistema de irrigação deve ser conhecida. Quando a aplicação é razoavelmente uniforme, o volume de aplicação pode ser facilmente controlado através da duração da aplicação.

A operação do sistema de irrigação por aspersão pode ser grandemente melhorada através de simples modificações, tais como: alteração da pressão de serviço, diâmetro dos bocais, altura da haste, duração do tempo de aplicação da água, utilizando sequência de posições alternadas; utilização de tubulação da lateral com maior diâmetro e pela inclinação da haste ao longo da margem do campo. Estes mesmos autores, propuseram um "Guia de Manejo", e mostraram que melhorando o manejo da água a nível de parcela, pode-se poupar trabalho, água, conservar o solo, e ainda aumentar o rendimento das culturas. Além do mais, eles afirmam, que um sistema de avaliação deve medir e mostrar a efetividade das práticas de irrigação existentes e selecionar medidas de cunho prático e econômico.

A "American Society of Agricultural Engineers" - ASAE (1975), através de seu Comitê de Irrigação por Aspersão, apresenta uma série de recomendações para a realização padronizada de testes com aspersores, as quais são resumidas a seguir:

- O aspersor deve ser instalado em área plana, livre de vegetação ou com vegetação menor que 8 cm. Esta área deve ter uma declividade menor do que 1%, quando os testes são con

duzidos com vazão menor que 2,21 l/s, e 2% de declividade, para aspersores com vazão superior a 2,21 l/s.

- Os coletores de precipitação devem ter a mesma área de captação, instalados verticalmente sobre um plano horizontal, uniformemente espaçados, e formando quadrículas ao redor do aspersor. Deve-se usar um número mínimo de 80 unidades para a coleta de precipitação durante a realização de um teste.

- A pressão de serviço do aspersor deve ser medida no bocal principal, usando-se um tubo pitot acoplado a um manômetro. Deve-se medir a vazão do aspersor em cada teste e obter precisão em torno de 3%, comparada à medição com o hidrômetro ou medição volumétrica. A velocidade angular do aspersor deve ser medida nos quadrantes. O volume ou lâmina de água em cada coletor deve ser medido com precisão próxima de 2% da lâmina média aplicada. Esta lâmina ou volume deve ser anotada em uma ficha com o "croquis" da área, mostrando a posição de cada coletor em relação ao aspersor.

- Deve-se medir a velocidade e direção do vento, como também a temperatura e umidade relativa do ar na área, durante a realização do teste.

- O tempo que o aspersor deve funcionar para a coleta dos dados de precipitação, nunca deve ser inferior a 1 hora.

O processo de verificação do valor da uniformidade para irrigação por aspersão, segundo SOLOMON (1978), envolve muitas medidas individuais e é influenciado por vários fatores considerados incontrolláveis, que podem ser também, não mensuráveis. Consequentemente, valores de uniformidade que representam ostensivamente números similares, podem exibir variabilidades consideráveis.

O desempenho de um sistema de irrigação pode ser avaliado através da uniformidade com que a água é distribuída no campo. HART (1961), mostra um processo que consiste em divi

dir a área em um número de partes de igual tamanho, verificar a quantidade de água que precipita em cada uma delas e compará-las. Nesse trabalho, a precipitação de cada uma destas áreas é avaliada através de recipientes coletores.

BRANSCHIED e HART (1968), fizeram estudos nos quais utilizaram o padrão de distribuição de água de apenas um aspersor, para verificar a distribuição em uma área a ser irrigada, usando um sistema fixo de aspersão. Os dois, realizaram testes com apenas um aspersor, e, com uma linha lateral contendo 13 aspersores, espaçados de 9 metros. A água foi coletada em pluviômetros, distribuídos sobre o solo em forma de quadrículas de 3m de lado. Ambos os sistemas de instalação funcionaram ao mesmo tempo, de maneira que as condições climáticas foram idênticas. O padrão de distribuição de água de um único aspersor foi determinado para representar o padrão de distribuição de um sistema fixo, após efetuada a superposição das lâminas de água, de acordo com o espaçamento usado na linha de aspersores. Para caracterização, da distribuição de um sistema fixo, fizeram as superposições do padrão de distribuição obtido pela linha lateral dos aspersores. No cálculo da uniformidade de distribuição, das duas instalações, eles usaram o coeficiente de uniformidade do HAWAIIAN SUGAR PLANTER'S ASSOCIATION (UCH). Eles fizeram comparação entre os coeficientes de uniformidade e concluíram que a simulação do sistema fixo a partir dos dados de precipitação de apenas um aspersor, é perfeitamente válida.

## 2.2 - Fatores que influenciam a performance do sistema de irrigação por aspersão.

Os aspersores distribuem água em áreas circulares, não sendo possível obter uma aplicação com absoluta uniformidade. Uma grande uniformidade, segundo CHRISTIANSEN (1942),

depende do tipo de distribuição, que é função do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação dos aspersores, altura da haste, diâmetro e tipo do bocal. A uniformidade depende, também, do espaçamento entre aspersores, sendo a distribuição triangular, a que produz melhor uniformidade de distribuição.

BATPISTELLA et alii (1980), trabalhando com canhão setorial, também, concluíram que o coeficiente de uniformidade e a eficiência de distribuição são maiores no espaçamento triangular.

Se o solo apresentar taxa de infiltração reduzida são necessários aspersores com baixa taxa de aplicação, com pequenos diâmetros dos bocais, que proporcionam menores tamanhos de gotas (AGARWAL e AGARWAL, 1977). Estas, por sua vez, são mais afetadas pelo vento, temperaturas elevadas e baixa umidade relativa.

FROST e SCHUWALEN (1960), concluíram que as perdas (das gotículas) de água são relativamente pequenas, comparadas com medidas anteriormente descritas por outros pesquisadores. Em 5 anos de estudo, os autores verificaram que velocidade elevada do vento em dias secos, temperatura elevada e projetos mal elaborados eram as causas de grandes perdas por evaporação, e propuseram irrigações noturnas para o sistema de aspersão.

Os mesmos autores (1955), já haviam concluído que as perdas sob extrema condição de luz solar, temperatura elevada e baixa umidade do ar, podem atingir de 35 a 45%, diminuindo bastante a eficiência de aplicação da água. Também, concluíram que as perdas por evaporação variam inversamente com o diâmetro do bocal e que o aumento da pressão de serviço torna menor o tamanho das gotículas, possibilitando maior perda pela ação do vento e evaporação.

CHRISTIANSEN (1942), baseado no resultado de vários

testes, realizados em diferentes condições climáticas, afirmou que as perdas por evaporação são desprezíveis, quando a umidade relativa é alta e a temperatura do ar é baixa. Nos testes realizados, quando a umidade relativa excedia 75%, a perda por evaporação variou de 0,35 a 3,9%. Já nos testes, onde a umidade relativa estava em torno de 15% e a temperatura média em 40,5°C, a perda variou de 10 a 42%.

O efeito do vento sobre o perfil de distribuição de água de um aspersor tipo canhão, com bocal único, foi estudado por SHULL e DYLLA (1976). Eles efetuaram leituras da direção do vento em intervalos de 5 minutos. Os padrões de distribuição da água, alterados pelo vento, foram comparados com outros padrões calculados na ausência de vento, com o intuito de determinar o efeito do vento sobre a uniformidade de distribuição. Estes autores usaram as médias dos valores absolutos dos desvios entre as lâminas de água coletadas durante os testes, com as lâminas correspondentes às mesmas posições dos modelos calculados, e concluíram que:

- A média dos valores absolutos dos desvios é bastante relacionada com a velocidade do vento e com a pressão de serviço do bocal do aspersor.

- O padrão de distribuição da água foi mais alterado pela velocidade do vento do que pela pressão.

- A uniformidade de distribuição decresce com o aumento da velocidade do vento e da pressão de serviço do aspersor.

Segundo AGARWAL e AGARWAL (1977), a velocidade do vento é mais uniforme quando o tempo de medição decresce. Um período relativamente pequeno de teste permite uma melhor determinação do efeito da velocidade do vento no padrão de distribuição, do que testes longos.

Fazendo determinação e análise da uniformidade de dis

tribuição da água, no sistema de irrigação por aspersão, GOMIDE (1978), chegou às seguintes conclusões: o espaçamento dos aspersores deve ser reduzido, à medida que aumenta a velocidade do vento; existe maior efeito do vento quando é maior a altura do tubo de elevação (haste) do aspersor; a uniformidade de distribuição é mais influenciada pelo vento, do que pela altura do tubo de elevação do aspersor.

CHRISTIANSEN (1941), fez testes de uniformidade em períodos de 30 e 60 minutos, com coletores espaçados de 3,0m e concluiu que:

- Os aspersores devem girar à velocidade de 1 rpm, pois altas rotações, reduzem a área coberta e, conseqüentemente, aumentam a taxa de aplicação de água.

- Nem sempre o melhor espaçamento é conseguido com aproximação da lateral.

- O arranjo triangular dos aspersores é mais sensível ao espaçamento, que o retangular, além de não ser prático para sistemas portáteis.

- O padrão de distribuição cônico, onde um máximo de aplicação ocorre próximo do aspersor e decresce, gradualmente, para a margem da área molhada, produz aplicação uniforme quando os aspersores não estão distanciados por mais de 55 a 60% do diâmetro molhado.

- Boa distribuição é conseguida quando o espaçamento entre linhas não excede 50 a 70% do diâmetro molhado pelo aspersor e o espaçamento entre os aspersores ao longo da linha lateral não é maior que 35% do diâmetro molhado.

Na irrigação por aspersão, tem-se por objetivo aplicar quantidades d'água pré-estabelecidas, da maneira mais uniforme possível, sobre a área irrigada. Essa uniformidade de aplicação expressa, juntamente com a eficiência, a qualidade

de uma irrigação. Em geral, a uniformidade de aplicação (também chamada, uniformidade de distribuição) é expressa em termos de coeficientes de uniformidades (CU), os quais, servem frequentemente, para comparar a performance de diferentes aspersores.

A uniformidade de distribuição depende, basicamente, segundo WALKER (1978), dos critérios adotados na elaboração do projeto (espaçamento entre aspersores e laterais, pressão de serviço, bocal do aspersor, altura do tubo de elevação, etc), do manejo e operação do sistema, e de fatores climáticos.

As eficiências de irrigação como definidas por ISRA ELSEN e HANSEN, citados por GOMEZ (1976), indicam a adequação com que os requerimentos de água são usados. A eficiência de aplicação ( $E_a$ ), é um indicador da água aplicada em excesso no campo, durante a irrigação, sem dar idéia da adequação, quanto ao reabastecimento da zona das raízes. A eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) é o indicador deste reabastecimento. A água que percola profundamente, ultrapassando a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas ( $D_p$ ), dá idéia das perdas existentes.  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  são calculados, de um modo geral, da seguinte maneira:

$$E_a = \frac{\text{Volume (ou lâmina) d'água armazenada na zona das raízes.}}{\text{Volume (ou lâmina) aplicada (Vt)}} \quad (1)$$

$$E_s = \frac{\text{Volume (ou lâmina) d'água armazenada na zona das raízes.}}{\text{Volume (ou lâmina) d'água real necessária (Yrr)}} \quad (2)$$

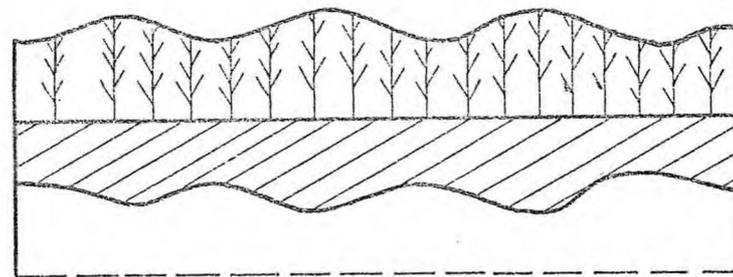
$$D_p = \frac{\text{Volume (ou lâmina) d'água perdida por percolação profunda.}}{\text{Volume (ou lâmina) aplicada (Vt)}} \quad (3)$$

As práticas de reposição artificial de água ao solo (irrigação), são conhecidas há bastante tempo. No entanto, segundo GRASSI (1972), a eficiência com que a mesma é realizada, varia substancialmente entre valores tão baixos como 35% e tão elevados como 75%. Por outro lado, em alguns casos, mesmo com elevada eficiência de aplicação, obtêm-se baixa eficiência de distribuição de água, no solo.

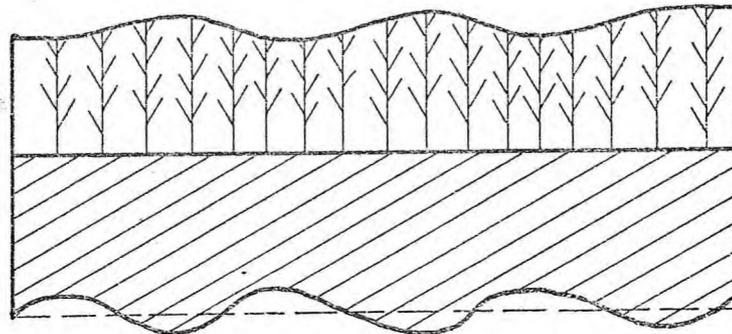
Para melhor entendimento da qualidade da irrigação, a FIGURA 1 (reproduzida de KARMELI *et alii*, 1978), mostra que a eficiência de aplicação (Ea) não é por si só um bom indicador da adequacidade da irrigação, apesar de seu grande uso. Para determinar completamente a adequacidade de uma irrigação, é necessário utilizar conjuntamente os conceitos de Ea, Es e UC's. Por exemplo, uma irrigação com Ea = 100%, pode ser muito deficiente do ponto de vista de reabastecimento do sistema radicular da cultura. Esta deficiência pode ser revelada através da eficiência de armazenamento e do coeficiente de uniformidade (Es = 50% e UC = 75%, de acordo com o ilustrado na FIGURA 1a). Por outro lado, é possível obter um melhor reabastecimento da zona das raízes (UC = 95% e Es = 100%), com elevadas perdas por percolação profunda, Ea = 60%, (FIGURA 1c).

Segundo MERRIAM e KELLER (1978), a percolação profunda é usualmente necessária para manter um satisfatório balanço de sais, desde que, a evaporação e a transpiração (outras únicas maneiras de remover água da zona das raízes), deixam sais dissolvidos na zona das raízes. Estes autores, afirmam também, que uma elevada eficiência na operação de um sistema de irrigação não é necessariamente econômica; entretanto, o técnico necessita avaliá-la, para decidir, racionalmente, se promove modificações ou adota um sistema de irrigação diferente.

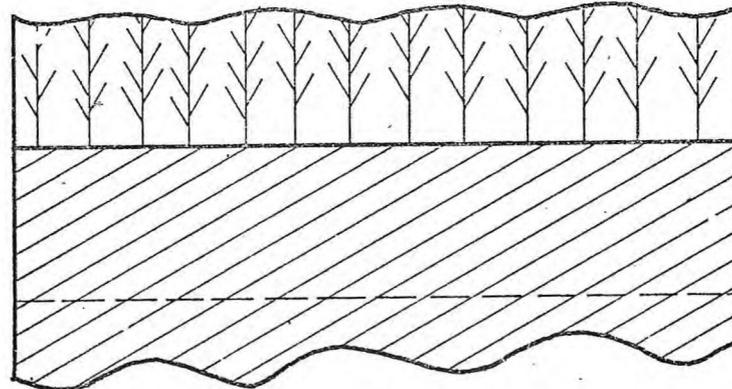
### 2.3 - Parâmetros de Uniformidade


 $E_d = 100\%$ 
 $E_s = 50\%$ 
 $UCC = 75\%$ 

(a)


 $E_d = 90\%$ 
 $E_s = 90\%$ 
 $UCC = 85\%$ 

(b)


 $E_d = 60\%$ 
 $E_s = 100\%$ 
 $UCC = 95\%$ 

(c)

FIGURA 1 - Efeitos típicos de padrões de distribuição de água em uma cultura irrigada sem presença de escoamento superficial (após Hansen, citado por KARMELI et alii, 1978).

O coeficiente de uniformidade proposto por CHRISTIANSEN (1942), foi o primeiro conceito desenvolvido para quantificar a uniformidade de aplicação. Ele é amplamente usado nos dias atuais e comumente chamado de Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC).

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}|}{n\bar{y}} \right] \quad (4)$$

onde,

$y_i$  = altura (ou lâmina) individual de água coletada

$\bar{y}$  = altura (ou lâmina) média coletada

$n$  = número total de observações.

Em 1947, WILCOX e SWAILES citados por WALKER (1979), sugeriram o coeficiente de uniformidade, UCW, substituindo o valor absoluto dos desvios em torno da média, na equação de CHRISTIANSEN, pelo valor do desvio padrão, obtendo a seguinte equação:

$$UCW = 100 \left[ 1 - \frac{s}{\bar{y}} \right] \quad (5)$$

onde,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (6)$$

é o desvio padrão.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, de acordo com BEALE e HOWELL (1966), propôs o padrão de eficiência

cia USDA, também indicado por PEU e definido como a média de 25% dos menores valores coletados de precipitação, dividido pela média de precipitação,  $\bar{y}$ ,

$$PEU = 100 \left[ \frac{\sum_{i=1}^{(1/4)n} y_i}{(1/4)_n \bar{y}} \right] \quad (7)$$

onde,

$\sum_{i=1}^{(1/4)n} y_i$  é a soma dos  $(1/4)n$  menores valores de precipitação.

HART (1961), e HART e REYNOLDS (1965), trabalhando para o "HAWAIIAN SUGAR PLANTER'S ASSOCIATION" (HSPA), desenvolveram um coeficiente de uniformidade, considerando que a precipitação dos aspersores comumente usados sob espaçamentos padrões é normalmente distribuída e, conseqüentemente, seu padrão pode ser descrito por uma distribuição normal. Portanto, a média dos valores absolutos dos desvios em torno da média,

$$\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \bar{y}|}{n} \text{ é igual a } 0,798 s,$$

onde  $s$  é o desvio padrão.

O coeficiente obtido, chamado coeficiente de uniformidade HSPA ou coeficiente de uniformidade de HART (CUH), é definido como:

$$CUH = 100 \left[ 1 - \frac{0,798 s}{\bar{y}} \right] \quad (8)$$

Em 1973, KARMELI et alii, verificaram que o modelo linear descrevia a uniformidade de distribuição, tão bem ou melhor, que o modelo normal e propuseram um novo coeficiente, chamado coeficiente de Uniformidade Linear (UCL),

$$UCL = 1 - 0,25 b \quad (9)$$

onde,

b = coeficiente angular da equação linear.

Segundo BENAMI e HORE (1964), a suposição de que a média dos desvios é medida satisfatória da performance de um sistema de aspersão é questionável, porque, em duas distribuições não efetivamente equivalentes, pode-se ter o mesmo valor do coeficiente de uniformidade. Eles afirmaram que nem mesmo o coeficiente sugerido por WILCOX e SWAILES (UCW), faz diferenciação adequada entre um padrão de distribuição satisfatôrio e um não satisfatório e propuseram um coeficiente baseado nos desvios da média, no grupo de leituras abaixo e acima da média geral.

A relação entre 5 medidas de uniformidade em aspersão foi estudada por BEALE e HOWELL (1966), quando verificaram que se os dados seguem uma distribuição normal, pode-se usar equações para estimar os valores de outros coeficientes de uniformidade, quando se conhece um deles. As medidas citadas referem-se aos:

- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)
- Coeficiente de Variação de Strong
- Coeficiente de Uniformidade de Wilcox - Swailes (UCW)
- Padrão de Eficiência do USDA (PEU)
- Padrão de Eficiência de Beale.

SENIWONGSE et alii (1972), estudaram o efeito da in

clinação sobre os coeficientes de uniformidade (inclinação é um parâmetro estatístico que descreve os desvios de um padrão de distribuição, para uma distribuição normal e ajuda na caracterização da curva de frequência de um padrão de distribuição). Eles também estudaram as distribuições Gama, Poisson e Exponencial, como possíveis caminhos capazes de descrever a distribuição de água na irrigação por aspersão. Destas três distribuições, a Gama foi a que melhor se ajustou aos dados, porém, usando o teste do Qui-Quadrado com 95% de nível de confiança, o ajuste normal foi superior a todos os outros citados. Eles ainda mostraram que quando o coeficiente de uniformidade é superior a 70%, a inclinação e curtose não têm efeito significativo sobre os valores da eficiência de aplicação ( $E_a$ ) e de armazenamento ( $E_s$ ).

WALKER (1979), apresentou modelos matemáticos que auxiliam na avaliação do sistema de irrigação por aspersão, considerando que os dados seguem uma distribuição normal, e selecionou o coeficiente de variação, fração da área adequadamente irrigada, razão da lâmina média requerida ( $y_{rr}$ ) com a lâmina média aplicada ( $\bar{y}$ ), volume de água em excesso e eficiência.

KARMELI et alii (1978), verificando que havia necessidade de um método único, acurado, de fácil aplicação, capaz de estabelecer um padrão de distribuição no sistema de irrigação por aspersão e também de fornecer outros parâmetros de qualidade como eficiência e perda, sugeriu um modelo linear baseado na curva de frequência adimensional da profundidade de infiltração ( $y$ ) e na fração da área irrigada ( $x$ ), que é representada pela função  $y = a + bx$ .

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo do presente estudo foram conduzidos em área plana, sem cobertura vegetal, localizada na Fazenda Experimental Vale do Curu, município de Pentecoste-Ce, pertencente a Universidade Federal do Ceará, entre os meses de agosto de 1981 e março de 1982.

#### 3.1 - Procedimento de Campo

Foram realizados sessenta e quatro (64) testes de uniformidade, usando-se quatro (4) diferentes marcas de aspersores, sendo dezesseis (16) testes para cada aspersor, em dois turnos distintos; um iniciando entre 6:00 e 6:30 h., horário de menor velocidade do vento, menor evaporação, menor temperatura e maior umidade relativa; outro, com início entre 7:30 e 8:30 h., horário de maior velocidade do vento, maior evaporação, maior temperatura e umidade relativa mais baixa. Em cada destes turnos foram realizados oito (8) testes para cada tipo de aspersor, na pressão de serviço de  $2,5 \text{ kgf/cm}^2$  e com uma (1) hora de duração.

Na montagem do campo experimental, bem como na realização dos ensaios, levou-se em conta, sempre que possível, as normas estabelecidas pela "American Society of Agricultural Engineers" (ASAE). O conhecimento da performance de um sistema de irrigação por aspersão é obtido quando o padrão de aplicação de água (distribuição) é estabelecido para dadas condições específicas. Quando o padrão de distribuição de água de um único aspersor é conhecido para determinadas condições de clima, critérios adotados no projeto e condições operacio

nais, pode-se, através de superposições, obter o padrão relativo ao conjunto de aspersores em funcionamento simultâneo, e simular analiticamente padrões de distribuição para qualquer espaçamento. Assim sendo, considera-se que todos os aspersores do conjunto de irrigação produzem padrão de distribuição semelhante. Para possibilitar tal procedimento, o local de realização dos testes foi dividido em subáreas de  $9\text{m}^2$  ( $3\text{m} \times 3\text{m}$ ), no centro das quais foram instalados os coletores, FIGURA 2.

Durante a realização dos testes foram usados 144 coletores, (latas de óleo lubrificante com 10 cm de diâmetro) que eram sempre posicionados de modo que a área de coleta permanecia em posição horizontal.

Usou-se um recipiente igual aos coletores como medidor da evaporação, no qual, colocava-se 50 ml de água, no início de cada teste. Nova medição do conteúdo de água do recipiente era feita no final de cada teste, para que a diferença entre o conteúdo inicial e final fosse a quantidade da água evaporada (durante o teste).

Para medir a pressão de serviço, foram usados dois manômetros. Um deles, foi instalado na tubulação, para possibilitar o controle da pressão de serviço durante a realização dos testes. O outro, foi conectado a um tubo pitot. O tubo pitot era usado a 1/8 de pol do bocal do aspersor, com a ponta no centro do jato. Dava-se ligeiro balanço no tubo pitot e anotava-se a maior pressão registrada.

Os aspersores testados foram:

- Top A - aspersor metálico, fabricado pelo KONI Ind. e Comércio Ltda., São Paulo, com bocais de 4,4 e 5,0mm de diâmetro e ângulo do jato de  $30^\circ$ .

- Samoto - modelo AJS setorial, metálico, fabricado pela Santo Amaro Motores Agrícolas Ltda., São Paulo, com bo

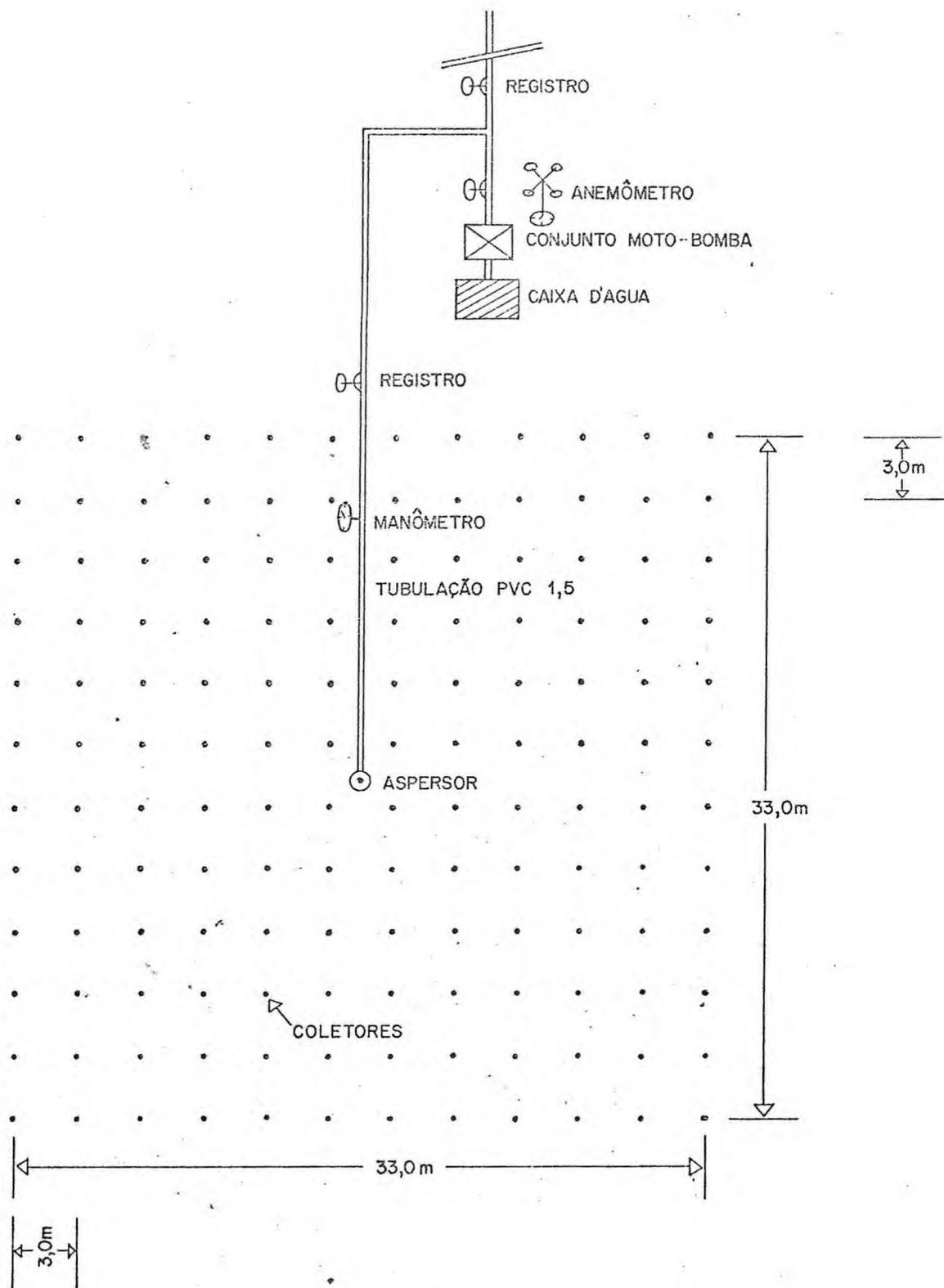


FIGURA 2 - Diagrama esquemático do campo experimental.

cal único de 4,3 mm de diâmetro e ângulo do jato de 30°.

- Asbrasil - modelo Perrot Asbrasil, tipo ZED-30, metálico, fabricado pela Dan Metal, Recife-Pe, com bocais de 4,4 x 5,4 mm de diâmetro e ângulo do jato de 30°.

- Agropolo - modelo único de uma (1) pol, fabricado pela Agropolo Máquinas Agrícolas Ltda., São Paulo, em fibra de nylon com parte interna metálica, bocais de 4,7 e 6,1 mm de diâmetro e ângulo do jato de 30°.

Deve-se observar que os diâmetros dos bocais citados referem-se àqueles efetivamente medidos.

Os outros equipamentos usados foram; cronômetros, proveta graduada, trena, paquímetro, conjunto moto-bomba, tubulação, haste com 60cm de altura e balde e mangueira (para de terminação da vazão pelo processo direto).

Os dados de média diária de velocidade e direção do vento, temperatura média diária, umidade relativa, precipitação, evaporação e insolação foram fornecidos pela Estação Meteorológica da Faz. Exp. Vale do Curu, distante dois (2) km da área de realização dos testes e estão contidos no APÊNDICE C.

Em resumo, na realização dos testes fazia-se a checagem da posição dos coletores, do horário e da velocidade do vento. Colocava-se 50ml de água no recipiente medidor de evaporação e acionava-se o sistema.

Durante a realização, regulava-se a pressão através do manômetro colocado na linha de tubulação a cada 10 minutos, mantendo-a em 2,5 kgf/cm<sup>2</sup> e cronometrava-se o tempo de rotação do aspersor (total e nos quadrantes), fazendo 3 repetições, 20 minutos após acionamento do sistema.

No final, checava-se a velocidade do vento, da água existente no medidor de evaporação, verificava-se a pressão.

de serviço no bocal do aspersor (1 h após início do teste), desligava-se o sistema e anotava-se o volume precipitado nos coletores.

### 3.2 - Modelo Linear

O modelo proposto por KARMELI et alii (1978) utiliza a curva de frequência acumulada da lâmina de irrigação adimensional (precipitação do aspersor),  $Y$ , e a fração da área irrigada,  $X$ , que é representada pela regressão linear.

$$Y = a + bX \quad (10)$$

onde,

$$Y = \frac{y_i}{\bar{y}} = \text{lâmina (ou precipitação) adimensional} \quad (11)$$

$$y_i = \text{lâmina d'água (ou precipitação) no coletor } i \text{ (mm)}$$

$$\bar{y} = \text{lâmina d'água (ou precipitação) média coletada (mm)}$$

$$X = \frac{A_i}{A_t} = \text{fração da área irrigada} \quad (12)$$

$$A_i = \text{área referente ao coletor } i$$

$$A_t = \text{área total dos coletores (igual a área irrigada)}$$

$a$  e  $b$  = coeficientes da equação linear.

A lâmina média é obtida como sendo a média aritmética das lâminas d'água coletadas nos pluviômetros, ou seja,

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (13)$$

onde n é o número de coletores.

A cada fração da área acumulada corresponde uma lâmina de precipitação de valor igual ou menor àquela observada no "ponto em questão" (FIGURA 3a). Com os dados de precipitação e fração da área das classes formadas, é feito o estudo da regressão linear. O modelo, permite a caracterização do padrão de precipitação dos aspersores, principalmente com referência a coeficientes de uniformidade, de eficiência e de perda de água por percolação profunda.

Com base no modelo linear (equação 10), mostrado esquematicamente nas FIGURAS 4 a 9, torna-se fácil derivar expressões para determinações das eficiências, coeficientes de uniformidade e perdas d'água. Para tanto, alguns conceitos básicos de irrigação serão enfocados a seguir.

Um dos parâmetros básicos para a determinação da quantidade d'água requerida por um sistema de irrigação é a disponibilidade total de água do solo (DTA\*), que é calculada do seguinte modo,

$$DTA = \frac{(CC - PM) \times da}{100} \quad (14)$$

em que:

DTA = disponibilidade total de água, em cm/cm de solo.

\* Para uniformização da terminologia, resolveu-se adotar aquela proposta por BERNARDO (1982).

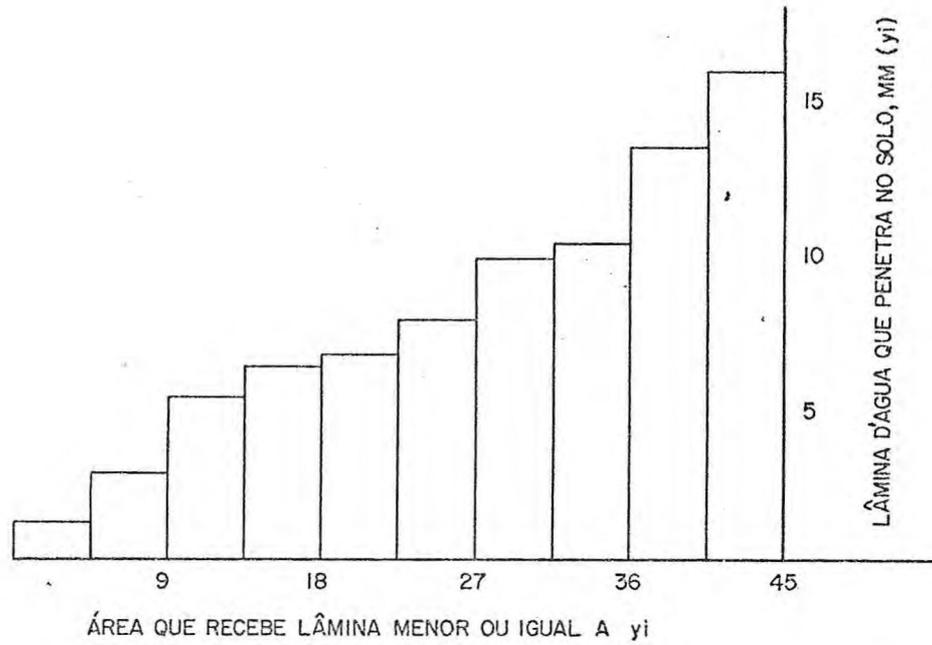


FIGURA 3a - Histograma da altura de aplicação pela área irrigada.

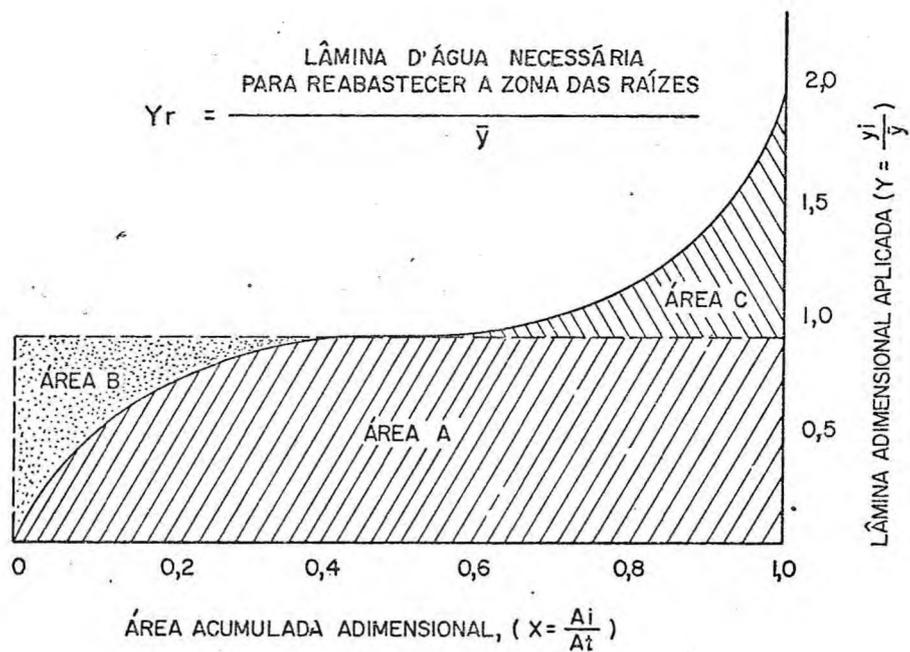


FIGURA 3b - Curva de frequência adimensional normal (após Hart, 1975).

CC = capacidade de campo, % em peso.

PM = ponto de murchamento, % em peso.

da = densidade aparente do solo, em g/cm<sup>3</sup>.

A disponibilidade real de água (DRA) é obtida pela expressão,

$$DRA = DTA \times f \quad (15)$$

onde,

DRA = disponibilidade real, em cm/cm de água no solo.

f = fator cultural, variando entre zero e um ( $0 < f < 1$ ).

Define-se yrr como sendo a quantidade de água necessária (equivalente à QRN de BERNARDO, 1982) para suprir o deficit hídrico da zona das raízes, isto é,

$$yrr = DRA \times H \quad (16)$$

em que,

H = profundidade efetiva do sistema radicular em cm.

yrr = quantidade (ou lâmina) real de água necessária, cm.

O modelo linear utiliza variáveis adimensionais (ver equações 11 e 12), conseqüentemente, a lâmina (ou quantidade) real de água necessária para suprir o deficit na zona das raízes (também chamado de requerimento adimensional), Yr, é obtida pela expressão,

$$Yr = \frac{Yrr}{\bar{y}} \quad (17)$$

A lâmina máxima, Ymax, e a lâmina mínima adimensional infiltrada, Ymin, podem ser obtidas pelo modelo linear da seguinte maneira (FIGURA 4),

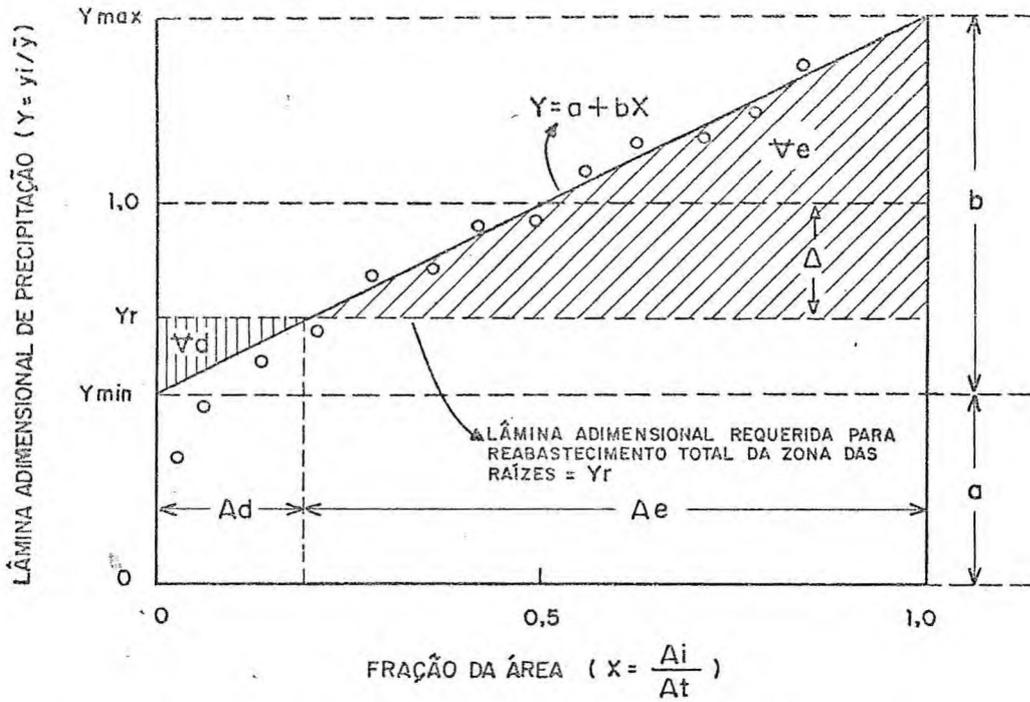


Fig. 4 - Diagrama esquemático do Modelo Linear. Distribuição adimensional acumulada.

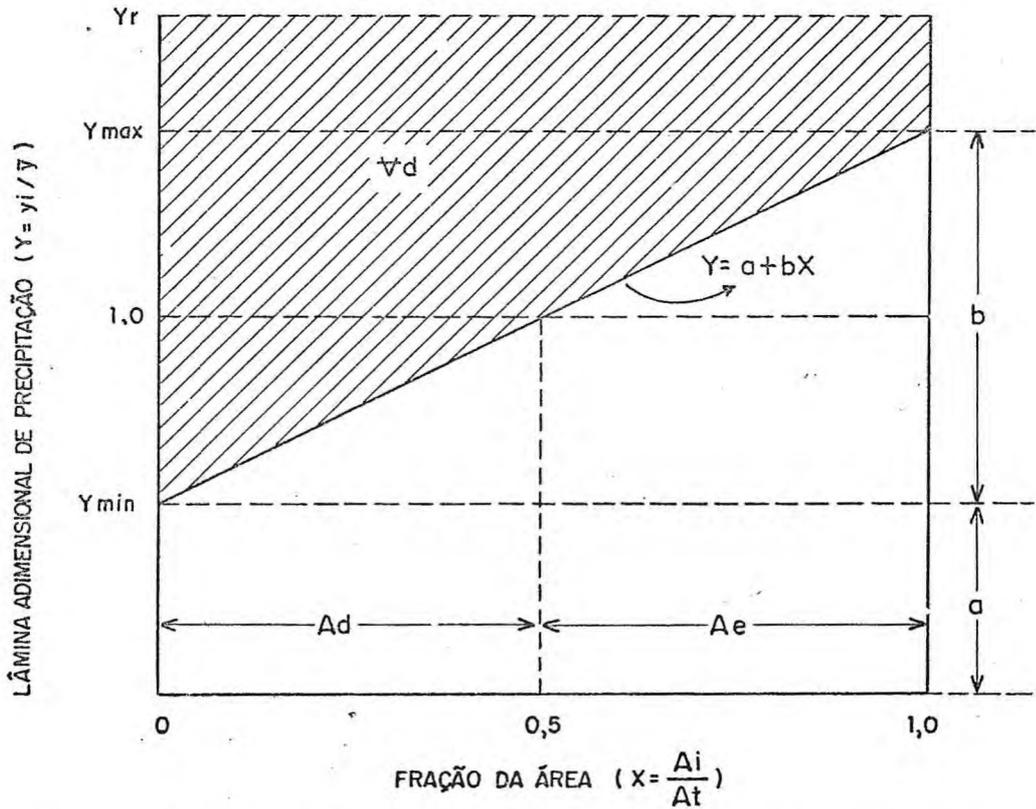


Fig. 5 - Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 1 ( $Y_r > Y_{max}$ ).

$$Y_{\max} = 1 + 0,5 b \quad (18)$$

$$Y_{\min} = 1 - 0,5 b \quad (19)$$

Quando a diferença entre a lâmina média adimensional aplicada ( $Y = 1$ ) e a lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ) é conhecida, torna-se fácil o cálculo do volume d'água deficiente ( $\Psi_d$ ), que é quantidade d'água capaz de completar o valor real de água necessário, bem como do volume de água útil ou (volume de água necessário na zona de raízes menos o volume deficiente).

$$\Psi_d = \frac{(0,5 b - \Delta)^2}{2b} \quad (20)$$

$$\Psi_u = 1 - \Delta - \Psi_d \quad (21)$$

em que:

$\Delta$  = diferença entre a lâmina média aplicada ( $Y = 1$ ) e a lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ). Na prática o delta é altamente dependente do manejo da irrigação.

$$\Delta = 1 - Y_r \quad (22)$$

Para cada volume d'água deficiente ( $\Psi_d$ ) e volume em excesso ( $\Psi_e$ ), correspondem valores de área deficientemente irrigada ( $A_d$ ) e área irrigada em excesso ( $A_e$ ), como pode ser visto nas FIGURAS 4 a 9.

Através dos valores assumidos pela lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ), e considerando que não há escoamento superficial, pode-se chegar a 5 casos distintos, para os quais as fórmulas de cálculo das eficiências e perda são apresentadas a seguir:

Caso 1. A lâmina adimensional requerida é maior que lâmina máxima ( $Y_r > Y_{\max}$ , FIGURA 5).

Nesse caso, a eficiência de aplicação é máxima ( $E_a = 1,0$ ) devido a que toda água aplicada é armazenada na zona das raízes, e portanto, não ocorrem perdas de água por percolação profunda ( $D_p = 0$ ). Todavia, o abastecimento do sistema radicular das plantas é inadequado e o valor da eficiência de armazenamento é de pequena magnitude, podendo ser calculado por:

$$E_s = \frac{1,0}{Y_r} \quad (23)$$

Caso 2. A lâmina adimensional requerida é maior que 1,0 e menor ou igual à lâmina máxima ( $1,0 < Y_r \leq Y_{max}$ , FIGURA 6).

O valor da eficiência de aplicação já não é máximo, mas conserva-se ainda elevado devido a pequena perda de água por percolação profunda. O abastecimento do sistema radicular é um pouco melhor e logicamente a eficiência de armazenamento. Este é o caso mais comumente encontrado na prática. Os cálculos devem ser efetuados através das seguintes equações:

$$E_a = 1 - \left| \left( \frac{1 + b/2 - Y_r}{2} \right) \left( 1 - \frac{Y_r - 1 + b/2}{b} \right) \right| \quad (24)$$

$$E_s = 1 - \frac{|Y_r - (1 - b/2)|^2}{2 b Y_r} \quad (25)$$

$$D_p = \left( \frac{1 + b/2 - Y_r}{2} \right) \left( 1 - \frac{Y_r - 1 + b/2}{b} \right) \quad (26)$$

Caso 3. A lâmina adimensional requerida é igual a 1,0 ( $Y_r = 1,0$ , FIGURA 7).

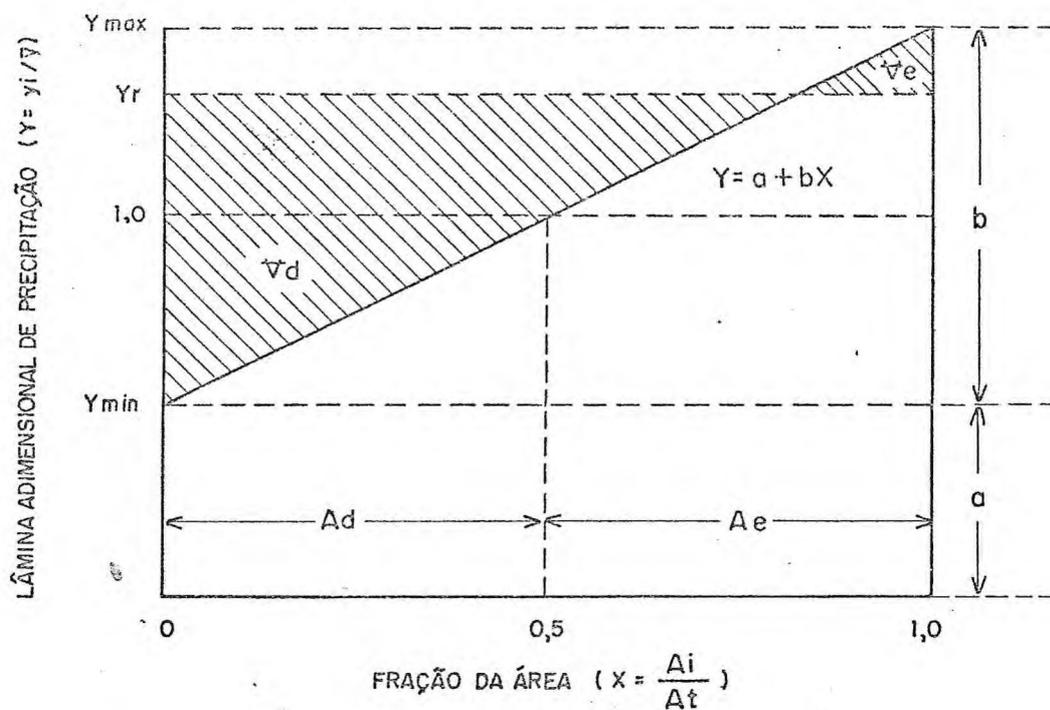


Fig. 6 - Diagrama esquemático do Modelo Linear para o caso 2 ( $1,0 < Y_r \leq Y_{max}$ ).

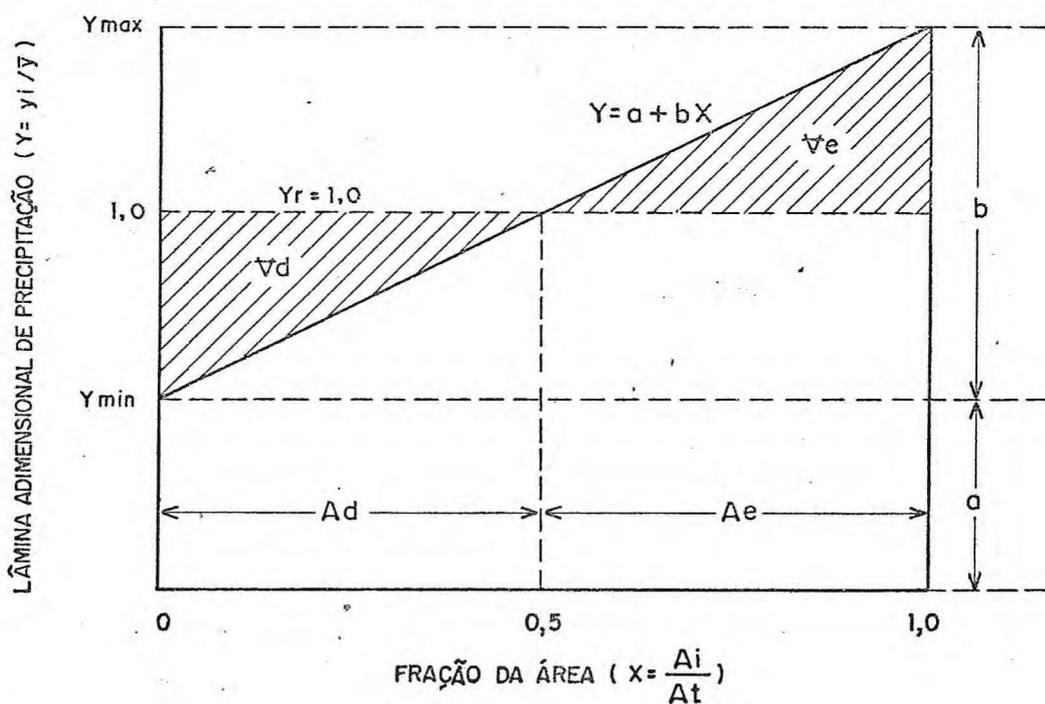


Fig. 7 - Diagrama esquemática do Modelo Linear para o caso 3 ( $y_r = 1,0$ ).

Trata-se do ponto em que a lâmina média de água aplicada ( $\bar{y}$ ) é igual à lâmina real de água necessária ( $y_{rr}$ ). Os valores da eficiência de aplicação ( $E_a$ ), eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) e perdas por percolação profunda são médios, e grandemente dependentes do valor de  $b$ , o qual representa a qualidade da irrigação. Esta dependência pode ser verificada através das tabelas 1, 2 e 3 e das equações seguintes:

$$E_a = 1 - \frac{b}{8} \quad (27)$$

$$E_s = 1 - \frac{b}{8} \quad (26)$$

$$D_p = \frac{b}{8} \quad (29)$$

Caso 4. A lâmina adimensional requerida é menor que 1,0 e maior ou igual à lâmina mínima ( $Y_{min} \leq Y_r < 1,0$ , FIGURA 8).

O reabastecimento do sistema radicular já é bem melhor, com a eficiência de armazenamento tendendo para valor máximo. Entretanto, aumentam consideravelmente as perdas por percolação profunda ( $D_p$ ), possibilitando valer baixo para a eficiência de aplicação ( $E_a$ ). Os cálculos devem ser efetuados através das equações:

$$E_a = Y_r - \frac{(Y_r - 1 + b/2)^2}{2b} \quad (30)$$

$$E_s = 1 - \frac{(Y_r - 1,0 + b/2)^2}{2b Y_r} \quad (31)$$

ou,

$$E_a = 1 - \Delta - \frac{(b/2 - \Delta)^2}{2b} \quad (32)$$

$$E_s = \frac{E_a}{1 - \Delta} = \frac{E_a}{Y_r} \quad (33)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (34)$$

Caso 5. A lâmina adimensional requerida é menor que a lâmina mínima ( $Y_r < Y_{\min}$ , FIGURA 9).

O reabastecimento do sistema radicular é efetuado por completo, possibilitando valor máximo da eficiência de armazenamento ( $E_s = 1,0$ ). As perdas podem ser consideradas abusivas, com o valor da eficiência de aplicação bem reduzido, o que pode ser verificado através das equações:

$$E_a = \frac{Y_r}{1,0} = Y_r \quad (35)$$

$$D_p = 1,0 - E_a = 1,0 - Y_r \quad (36)$$

Como se pode observar a aplicação do modelo linear para determinar a qualidade da irrigação por aspersão é simples, para qualquer um dos casos supracitados, uma vez que  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  são funções somente de  $Y_r$  e  $b$ . As TABELAS 1, 2 e 3 servem para obter os valores de  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$ , para qualquer um dos cinco casos, em função de  $b$  e  $Y_r$ .

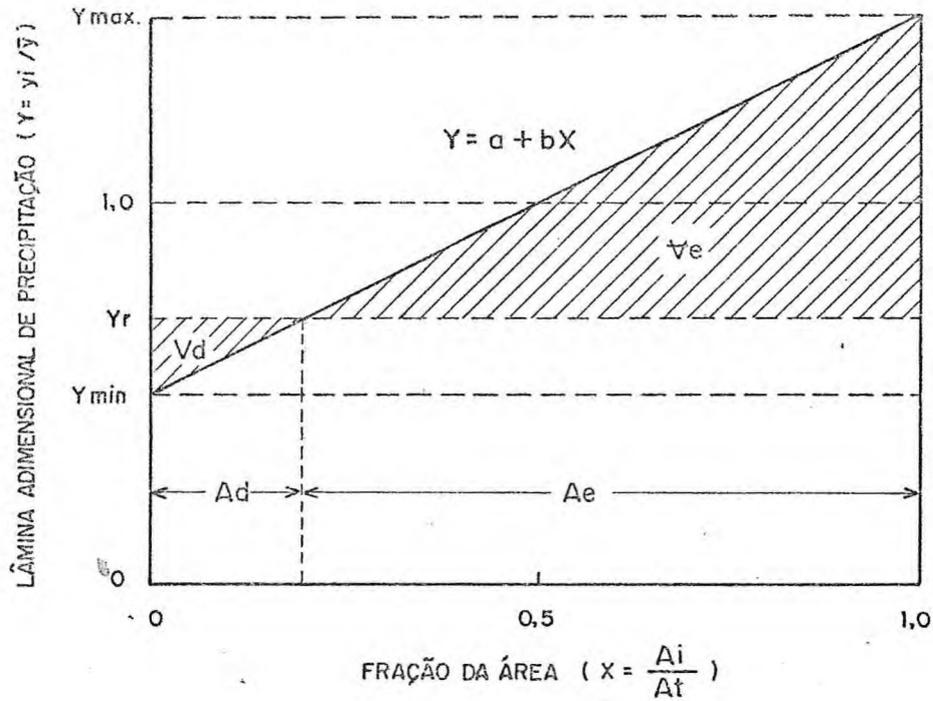


Fig. 8 - Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 4 ( $1,0 > Y_r \geq Y_{\min}$ ).

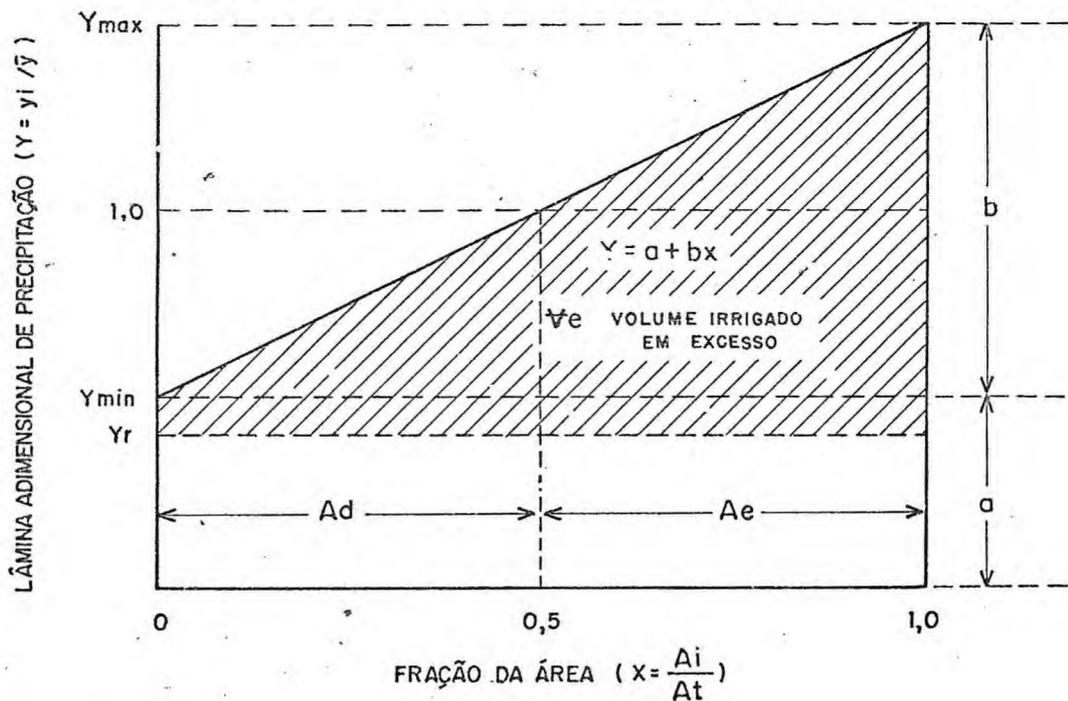


Fig. 9 - Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 5 ( $Y_r < Y_{\min}$ ).

TABELA 01 - Eficiência de aplicação de água (Ea), como função de b e Yr.

Valor da qualidade da irrigação b	Valor de Yr (deficit adimensional de água na zona das raízes)											
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	
0,10	500	600	700	800	900	987	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0,20	500	600	700	800	900	975	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0,30	500	600	700	800	896	962	996	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0,40	500	600	700	800	887	950	978	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0,50	500	600	700	797	877	938	977	998	1.000	1.000	1.000	1.000
0,60	500	600	700	792	867	925	967	992	1.000	1.000	1.000	1.000
0,70	500	600	698	784	855	913	955	984	998	1.000	1.000	1.000
0,80	500	600	694	775	844	900	944	975	994	1.000	1.000	1.000
0,90	500	599	688	765	832	888	932	965	987	999	1.000	1.000
1,00	500	595	680	755	820	875	920	955	980	995	1.000	1.000
1,10	499	590	672	744	808	863	908	944	972	990	999	1.000
1,20	496	583	663	733	796	850	896	933	962	983	996	1.000
1,30	491	576	653	722	784	837	884	922	953	976	991	1.000
1,40	486	568	643	711	771	825	871	911	943	968	986	1.000
1,50	479	559	633	699	759	813	850	899	932	959	979	1.000
1,60	472	550	622	688	747	800	847	888	922	950	972	1.000
1,70	464	540	611	676	735	788	835	876	911	940	964	1.000
1,80	454	531	600	664	722	775	833	864	900	931	956	1.000
1,90	447	520	589	662	710	763	810	852	889	920	947	1.000
2,00	438	510	578	640	697	750	797	840	877	910	938	1.000

TABELA 02 - Eficiência de armazenamento de água (Es), como função de b e Yr.

Valor da qualidade da irrigação b	Valor de Yr (deficit adimensional de água em zona das raízes)										
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	987	987	833	769	714	677
0,20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	975	975	833	769	714	677
0,30	1.000	1.000	1.000	1.000	995	962	905	833	769	714	677
0,40	1.000	1.000	1.000	1.000	986	950	898	833	769	714	677
0,50	1.000	1.000	1.000	997	975	938	889	831	769	714	677
0,60	1.000	1.000	1.000	990	963	925	879	826	769	714	677
0,70	1.000	1.000	997	980	950	913	869	920	768	714	677
0,80	1.000	1.000	991	969	938	900	858	813	764	714	677
0,90	1.000	998	982	957	924	888	847	804	760	713	677
1,00	1.000	992	971	944	911	875	836	796	754	711	677
1,10	998	983	959	930	898	863	825	787	747	707	666
1,20	992	972	946	917	884	850	814	778	740	702	664
1,30	983	960	933	903	871	837	803	768	733	697	661
1,40	971	946	918	888	857	825	792	759	725	691	657
1,50	958	932	904	874	844	813	781	749	717	685	653
1,60	944	917	888	859	830	800	770	740	709	679	648
1,70	928	901	873	845	816	788	759	730	701	672	643
1,80	911	884	857	830	802	775	747	720	692	665	637
1,90	893	867	841	815	789	763	736	710	684	657	631
2,00	875	850	825	800	775	750	725	700	675	650	625

TABELA 03 - Fração do total de água perdida por percolação profunda (Dp), como função de b e Yr.

Valor da qualidade da irrigação b	Valor de Yr (deficit adimensional de água na zona das raízes)										
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,10	500	400	300	200	100	012	000	000	000	000	000
0,20	500	400	300	200	100	025	000	000	000	000	000
0,30	500	400	300	200	104	038	004	000	000	000	000
0,40	500	400	300	200	113	050	013	000	000	000	000
0,50	500	400	300	203	123	063	023	002	000	000	000
0,60	500	400	300	208	133	075	033	008	000	000	000
0,70	500	400	302	216	145	088	045	016	002	000	000
0,80	500	400	306	225	156	100	056	025	006	000	000
0,90	500	401	312	235	168	112	068	035	013	001	000
1,00	500	405	320	245	180	125	080	045	020	005	000
1,10	501	410	328	256	192	137	092	056	028	010	001
1,20	504	417	337	267	204	150	104	067	038	017	004
1,30	509	424	347	278	216	162	116	078	047	024	009
1,40	514	432	357	289	229	175	129	089	057	032	014
1,50	521	521	441	301	241	188	141	101	068	041	021
1,60	528	450	378	313	253	200	153	112	078	050	028
1,70	536	460	389	324	265	213	165	124	089	060	036
1,80	544	469	400	336	278	225	178	136	100	069	044
1,90	553	480	411	348	290	238	190	148	111	080	053
2,00	563	490	422	369	303	250	203	160	123	090	063

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Comportamento dos aspersores com relação às especificações dos fabricantes.

Pode-se observar através dos resultados obtidos no campo que, de um modo geral, os aspersores testados comportaram-se de maneira distinta, seguindo, com pequenas restrições, as recomendações dos fabricantes.

Para visualização da performance dos aspersores utilizados, 8 testes representativos foram selecionadas, 2 para cada aspersor, sendo 1 de elevada uniformidade e outro efetuado em condição um pouco adversa, com uniformidade mais baixa. Estes resultados estão nas TABELAS 4 a 6 e no APÊNDICE A. Todos os testes tiveram a duração de 1 hora e foram realizados na pressão de serviço de  $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### 4.1.1 - Raio de alcance do jato

Apenas o aspersor Samoto não obteve o desempenho proposto pelo fabricante, apresentando 3,0m a menos do raio de alcance especificado. No entanto, essa diferença pode ser explicada pela regulagem do jato d'água ou pressão de serviço, as quais foram mantidas durante todos os testes e podem não ser a de melhor ajuste. O aspersor Top A, também, apresentou raio de alcance do jato 0,5m abaixo da especificação. O aspersor ZED-30, ultrapassou o raio previsto em 3,0m (TABELA 7).

#### 4.1.2 - Diâmetro dos bocais

TABELA 04 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor ZED-30.

Espaçamento (m)	Nº testes			Diâmetro bocais (mm)		Vel.vento (km/h)			Dir.vento			
	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	$R^2$	$E_a^{**}$	$E_s^{**}$	$D_p^{**}$	
	65	4,4 x 5,4				2,5			S-N			
12 x 12	73,3	6,7	0,09	92,9	92,9	0,86	0,26	0,92	0,96	0,96	0,04	
12 x 18	50,9	8,7	0,17	86,3	0,72	0,72	0,55	0,98	0,93	0,93	0,07	
12 x 24	38,2	8,2	0,21	82,9	0,65	0,65	0,69	0,96	0,91	0,91	0,08	
12 x 30	30,5	15,4	0,50	59,8	0,18	0,18	1,64	0,95	0,79	0,79	0,21	
18 x 18	33,9	7,4	0,22	82,7	0,65	0,65	0,69	0,92	0,91	0,91	0,09	
18 x 24	25,4	6,8	0,27	78,6	0,57	0,57	0,87	0,92	0,89	0,89	0,11	
18 x 30	20,4	10,9	0,53	57,3	0,11	1,11	0,78	0,97	0,78	0,78	0,22	
24 x 24	19,1	6,5	0,34	72,7	0,45	1,45	1,10	0,91	0,86	0,86	0,14	

\*\* Os valores de  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  correspondem ao caso 3,  $Y_r = 1,0$ .

TABELA 05 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor ZED-30.

Espaçamento (m)	Nº testes			Diâmetro bocais (mm)			Vel.vento (km/h)		Dir.vento		
	68	4,4 x 5,4		13,9		NE-SW					
	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	$R^2$	$E_a^{**}$	$E_s^{**}$	$D_p^{**}$
12 x 12	61,5	23,2	0,38	69,9	72,2	0,44	1,12	0,89	0,86	0,86	0,14
12 x 18	41,0	15,3	0,37	70,1	71,1	0,42	1,16	0,90	0,86	0,86	0,14
12 x 24	30,7	20,1	0,65	47,8	47,7	-0,05	2,11	0,96	0,74	0,74	0,26
12 x 30	24,6	21,8	0,88	29,2	24,3	-0,43	2,86	0,94	0,64	0,64	0,36
18 x 18	27,3	19,6	0,72	42,5	40,9	-0,15	2,30	0,93	0,71	0,71	0,29
18 x 18	20,5	19,3	0,94	24,9	22,9	-0,47	2,95	0,87	0,63	0,63	0,37
18 x 30	16,4	19,0	1,16	7,1	4,8	-0,77	3,54	0,81	0,56	0,56	0,44
24 x 24	15,4	18,8	1,22	2,4	1,5	-0,83	3,66	0,78	0,54	0,54	0,46

\*\* Os valores de  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  correspondem as caso 3,  $Y_r = 1,0$ .

TABELA 06 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Top A.

Espaçamento (m)	Diâmetro bocais (mm)			Vel.vento (km/h)				Dir.vento				
	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	$R^2$	$E_a^{**}$	$E_s^{**}$	$D_p^{**}$	
	1	4,4 x 5,0				13,9			L-W			
12 x 12	64,3	20,2	0,31	74,9	74,8	0,51	0,97	0,97	0,88	0,88	0,12	
12 x 18	42,9	24,6	0,57	54,2	51,4	0,08	1,84	0,97	0,77	0,77	0,23	
12 x 24	32,2	28,0	0,87	30,5	20,7	-0,40	2,80	0,95	0,65	0,65	0,35	
12 x 30	25,7	28,3	1,10	12,6	2,0	-0,71	3,43	0,88	0,57	0,57	0,43	
18 x 18	28,6	25,3	1,88	29,4	21,6	-0,41	2,82	0,92	0,65	0,65	0,35	
18 x 24	21,4	24,9	1,16	7,3	0,8	-0,77	3,54	0,82	0,56	0,56	0,44	
18 x 30	17,1	23,8	1,39	*	*	-1,01	4,02	0,73	0,50	0,50	0,50	
24 x 24	16,1	23,4	1,46	*	*	-1,07	4,14	0,70	0,48	0,48	0,52	

\* Valores muito baixos de uniformidade.

\*\* Os valores de  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  correspondem ao caso 3,  $Y_r = 1,0$ .

TABELA 07 - Comportamento dos aspersores com relação as especificações dos fabricantes, na pressão de serviço de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup>.

		Samoto	ZED-30	Agropolo	Top A
Diâmetro dos bocais (mm)	obtido	4,3	4,4 x 5,4	4,2 x 6,1	4,4 x 5,0
	especificado	4,4	5,5 x 4,5	-	4,5 x 5,0
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	obtida	1,11	2,80	3,52	2,64
	especificada	1,10	3,04	-	2,50
Raio de alcance do jato (m)	obtido	10,5	18,0	16,0	13,5
	especificado	13,5	15,0	-	14,0

Os diâmetros dos bocais dos aspersores foram aproximadamente iguais àqueles especificados pelos fabricantes. Nota-se entretanto, uma tendência para valores um pouco menores daqueles registrados nos catálogos (TABELA 7).

#### 4.1.3 - Vazão

Apenas o aspersor marca Asbrasil apresentou uma vazão pouco inferior àquela especificada. Os demais aspersores ultrapassaram à especificação da fabricante.

A comparação do aspersor Agropolo não foi feita, por que não se obteve seu catálogo de especificações. Ele foi incluído neste estudo devido a sua disponibilidade no comércio local e ao seu baixo preço de custo.

A TABELA 7 mostra uma comparação entre o que foi obtido através de medições no campo e o que está sendo recomendado pelo fabricante.

#### 4.2 - Performance dos aspersores

Como era esperado, o comportamento dos aspersores manifestou-se de maneira específica, devido a grande diferença entre os mesmos em tamanho, diâmetro dos bocais, vazão, raio de alcance, etc. (TABELA 7), o que dificultou compará-los.

##### 4.2.1 - Raio de alcance do jato d'água

O raio de alcance do jato d'água pode em muitas ocasiões não atingir os valores especificados pelo fabricante.

Logicamente, para cada propriedade agrícola, tem-se uma série de condições "não idênticas" àquelas proporcionadas quando da elaboração de testes para confecção dos catálogos. Fatores in controláveis como velocidade e direção do vento, umidade relativa e temperatura, podem influir, significativamente na distribuição da água pelo aspersor, provocando perdas por evaporação e carreamento das partículas d'água em maior ou menor intensidade. O coeficiente de uniformidade pode ser reduzido em até 20%, como pode ser visto através dos testes 65 e 68 (TABELAS 4 e 5), quando aumenta a velocidade do vento.

Para possibilitar superposição das áreas molhadas de aspersores vizinhos, o espaçamento deve ser menor que o diâmetro molhado. Geralmente, o espaçamento recomendado varia entre 30 e 70% do diâmetro molhado, dependendo dos fatores climáticos, disposição dos aspersores (triangular ou retangular), qualidade da irrigação desejada e dos gastos necessários ao investimento e manutenção do sistema.

Desde que um maior diâmetro molhado possibilite maior superposição, o aspersor com maior raio de alcance, produz melhor distribuição da água em espaçamentos equivalentes e mesmas condições climáticas. Deve-se também considerar que em espaçamentos menores haverá melhor distribuição da água, já que o espaçamento é função do diâmetro molhado (30 a 70%).

Os índices apresentados pelos aspersores nos testes de campo realizados demonstram as afirmativas (TABELAS 4 a 7 e APÊNDICE A). Com os dados pode-se verificar a melhor qualidade da irrigação obtida pelos aspersores de maior diâmetro de molhamento, para os mesmos espaçamentos e condições climáticas semelhantes.

#### 4.2.2 - Taxa de aplicação

O catálogo do fabricante fornece, geralmente os espaçamentos por ele considerados como os mais adequados. Estes catálogos, também, apresentam as precipitações em mm/h, relativas aos diversos espaçamentos. Sabe-se que maior vazão possibilita maior precipitação para um mesmo espaçamento, uma vez que:

$$IA = \frac{q}{S_1 \cdot S_2} \quad (30)$$

onde:

IA = intensidade (ou taxa) de aplicação ( $LT^{-1}$ )

q = vazão do aspersor, em  $L^3T^{-1}$ )

$S_1$  = espaçamento entre aspersores, ao longo da linha lateral, em L;

$S_2$  = espaçamento entre linhas, em L.

Quando os projetos de irrigação por aspersão são calculados sem considerar as tabelas citadas, alguns problemas podem advir quando se diminui o espaçamento entre linhas e/ou aspersores, visando melhoria na qualidade da irrigação. Por exemplo, o espaçamento de 12 x 12m fornece uma área útil irrigada por aspersor de  $144 m^2$ , enquanto o espaçamento de 18 x 18m, fornece uma área útil de  $324m^2$ , ou seja, 2,25 vezes maior. Logicamente, a precipitação no espaçamento de 12 x 12m é 2,25 vezes maior (desde que a vazão é constante), o que pode ser grande problema se a taxa de infiltração não for suficiente para que o solo absorva o acréscimo ocorrido na taxa (ou intensidade) de aplicação (precipitação).

O aspersor ZED-30 tem vazão de  $3,04m^3/h$  quando a pressão de serviço é 2,5 atm e o diâmetro dos bocais 4,5 x 5,5 mm (conforme catálogo). Nessa situação, de acordo com a equação 30, a precipitação é de 9,38 mm/h no espaçamento de 18 x 18m e de 21,11 mm/h ( $9,38 \times 2,25$ ) no espaçamento de 12 x 12m. Des

de que a taxa de aplicação deve ser menor do que a taxa de infiltração, o uso de menor espaçamento pode ocasionar problemas de escoamento superficial, o que é inadmissível em aspersão.

#### 4.2.3 - Velocidade de rotação dos aspersores

A velocidade de rotação do aspersor é fator importante na eleição do aspersor a ser usado, principalmente quando relacionada com a textura e estrutura do solo. Um aspersor de baixa rotação e grande descarga (vazão), quando utilizado em solo pesado (baixa taxa de infiltração), pode provocar encharcamento em determinados pontos do terreno e caso exista declive suficiente, provocar escoamento superficial.

TABELA 8 - Velocidade média e tempo de rotação dos aspersores

Aspersores	Velocidade (rpm)	Tempo por rotação completa (seg)
Top A	1,31	45,88
Samoto	1,06	56,71
ZED-30	0,66	90,23
Agropolo	0,49	122,11

Pode-se, portanto, verificar que o aspersor Agropolo tem a menor velocidade de rotação e (voltando à TABELA 7) que ele também possui a maior vazão. Neste caso, dos 4 aspersores estudados, êle é o que possui maior tendência para mostrar problemas de empoçamento e escoamento superficial. Por outro

lado, velocidade de rotação elevada, não deve ser indicada, devido a maior possibilidade de perdas por evaporação das gotículas. CHRISTIANSEN (1941), recomenda uma velocidade de rotação em torno de 1,0 rpm.

#### 4.2.4 - Influência da rotação do aspersor por quadrante

Para uma boa uniformidade de distribuição, o aspersor deve percorrer os 360° relativos a seu giro completo de forma homogênea, gastando um tempo de rotação, aproximadamente, igual nos 4 quadrantes. A TABELA 9 mostra que as diferenças de tempo de rotação nos quadrantes percorridos é de pequena magnitude, não influenciando marcadamente na uniformidade de distribuição da água.

TABELA 9 - Tempo médio de rotação do aspersor por quadrante em seg.

Aspersor	Quadrante			
	1°	2°	3°	4°
ZED-30	24,67	20,65	19,43	25,48
Agropolo	37,31	27,09	38,16	29,55
Top A	11,63	11,49	11,17	11,59
Samoto	12,98	15,51	14,58	13,64

#### 4.2.5 - Verificação da distribuição e eficiência

O bom funcionamento de um sistema de irrigação por as

persão, requer aplicação uniforme de água sobre a superfície do terreno, KELLER (1978), considera que valores de coeficientes de uniformidade (CU) abaixo de 79%, são considerados baixos, apesar de conceito de "baixo" ser relativo.

Para cada aspersor estudado, obteve-se diferentes coeficientes de uniformidades (CUC e CUH), média de aplicação ( $\bar{y}$ ), coeficiente de variação ( $s/\bar{y}$ ), eficiências (Ea e Es) e perdas por percolação profunda (Dp), mostrados através das TABELAS 4 a 6 e APÊNDICE A (Ea, Es e Dp foram obtidos para  $Y_r = 1,0$ ).

Pode-se verificar que a medida que se aumenta o espaçamento, diminuem os coeficientes de uniformidade e as eficiências (mantendo  $Y_r = 1,0$ ), enquanto aumentam, grandemente, as perdas por percolação profunda e coeficiente de variação. Os quatro aspersores testados deram elevados índices de uniformidade no espaçamento de 12 x 12m, quando as condições climáticas favoreciam.

Os testes com o aspersor ZED-30, com 36m de diâmetro molhado, forneceram valores elevados de Ea, Es, CUC e CUH (CU > 79%) nos espaçamentos 12 x 12m, 12 x 18m e 18 x 18m, justamente os espaçamentos menores que 50% do diâmetro molhado pelo aspersor. Pode-se portanto verificar uma elevada dependência entre diâmetro molhado, uniformidade e espaçamento. O aumento da distância entre aspersores significa queda na uniformidade de distribuição da água.

Nas TABELAS 4 a 6 e APÊNDICE A, pode-se também verificar a relação entre coeficientes de uniformidade, eficiências e perdas. Quanto melhor a distribuição da água sobre a superfície do terreno, melhores são as eficiências e menores as perdas por percolação.

#### 4.3 - Outros fatores que afetam a uniformidade e eficiências

#### 4.3.1 - Efeito da velocidade do vento

Segundo o Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, citado por OLITTA (1978) os ventos podem ser classificados em categorias de acordo com a sua velocidade. Para cada uma destas velocidades deve-se usar um percentual do diâmetro molhado no cálculo do espaçamento da lateral.

TABELA 10 - Influência da velocidade do vento no espaçamento da lateral.

Vel. vento (km/h)	% do diâmetro molhado no espaçamento da lateral
Calmo	65
Até 9	60
De 9 a 16	50
> 16	30

Considerando vento calmo àquele com velocidade inferior a 3km/h, fez-se um estudo, com os 64 testes de campo realizados, TABELAS 11a e 11b, onde verificou-se que pequeno percentual dos ventos, medidos durante os testes, classificam-se como calmo (20,31%). Uma comparação entre os testes iniciados entre 6:00 e 7:30 e entre 7:30 e 8:30hs, demonstra que o 1º horário possui maior frequência de ventos calmos. Isto indica que se pode encontrar durante o decorrer do dia, horários em que é maior a frequência de ventos de baixa velocidade.

Comparando as TABELAS 4 e 5, referentes ao aspersor ZED-30, é também possível verificar a maior influência da ve

TABELA 11a - Frequência da velocidade do vento obtida nas categorias propostas pelo Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos, nos testes iniciados de 6:00 às 7:30h.

Aspersor tes tado	ZED-30	Top A	Agropolo	Samoto
vel. do vento ocorrido				
3 km	3	1	4	5
3-9 km	5	2	4	5
9-16 km		4		
16 km		1		

TABELA 11b - Frequência da velocidade do vento obtida nas categorias propostas pelo Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos, nos testes iniciados de 7:30 às 8:30h.

Aspersor tes tado	ZED-30	Top A	Agropolo	Samoto
vel. do vento ocorrido				
3 km				
3-9 km	6		4	2
9-16 km	2	3	4	5
16 km		5		1

locidade do vento sobre maiores espaçamentos. Quando a velocidade do vento é baixa (2,5km/h, TABELA 4), o maior coeficiente de uniformidade é 92,9% (CUC) no espaçamento de 12 x 12m e o menor coeficiente de uniformidade é 55,5% no espaçamento de 18 x 30m, o que corresponde a uma diferença percentual de 37,2%.

Quando a velocidade do vento é elevada (13,9km/h), TABELA 5), encontra-se para os mesmos espaçamentos (12 x 12m e 18 x 30m) os coeficientes de uniformidade de 72,2% e 4,8%, perfazendo uma diferença percentual de 67,4%, mostrando a maior influência do vento nos maiores espaçamentos.

Outros dados de velocidade e direção do vento são mostrados na TABELA 12, onde se verifica que nos meses de maior uso de irrigação (agosto a fevereiro) a velocidade média dos ventos é superior a 9km/h. Isto parece indicar que os projetos de irrigação por aspersão da região da Faz. Exp. Vale do Curu, devem considerar um baixo percentual do diâmetro molhado no cálculo do espaçamento, ou seja, no máximo 50% do diâmetro molhado (se o critério do SCS for adotado). Por exemplo, não seria recomendável utilizar um aspersor cujo diâmetro molhado é 28m (como o aspersor Top A) no espaçamento de 18 x 18m (65% do diâmetro), no período entre agosto e fevereiro, pois isto acarretaria irrigação de baixa qualidade.

A TABELA 13 mostra o efeito da velocidade do vento sobre os coeficientes de uniformidade (CUC e CUH), eficiências, perdas por percolação profunda e coeficiente de variação (para o aspersor Agropolo no espaçamento de 12 x 12m). Os dados mostram um decréscimo dos coeficientes de uniformidade e eficiências e um aumento das perdas por percolação e coeficiente de variação, à medida que os ventos vão atingindo maior velocidade. Quando os ventos atingem 9km/h, os valores dos coeficientes de uniformidade e eficiências já apresentam grande diferença dos valores encontrados para ventos de até 3km/h.

TABELA 12 - Velocidade média dos ventos obtida de 1964 a 1970  
na Est. Meteorológica da Faz. Exp. Vale do Curu.

Meses	Velocidade média (km/h)
J	10,80
F	10,44
M	6,84
A	5,76
M	6,12
J	7,20
J	8,28
A	10,44
S	12,96
O	12,96
N	12,60
D	11,52

Desta maneira, fica provado que tabelas baseadas em testes realizados sob condições de baixa velocidade de vento (até 3km/h) são pouco funcionais e não apresentam condições adequadas para o local de realização do presente trabalho.

#### 4.3.2 - Efeito da direção do vento

O vento influi consideravelmente nos índices de uniformidade quando não se observa sua direção dominante. Na TABELA 13, pode-se verificar que o teste 35 tem maior coeficiente

TABELA 13 - Efeito da velocidade do vento sobre os parâmetros de qualidade CV, CUC, CUH, Ea, Es, Dp, nos espaçamento 12 x 12m e usando os dados colhidos dos testes com o aspersor Agropolo.

Vel. do vento Nº dos testes	< 3km/h				3-9 km/h								> 9km/h			
	25	31	33	29	23	35	27	34	21	28	30	24	36	32	26	22
Vel. vento (km/h)	0,8	1,0	1,6	2,7	4,0	4,7	4,9	5,1	6,7	7,3	7,6	8,1	9,0	10,9	13,1	13,4
CV	0,13	0,151	0,152	0,178	0,227	0,166	0,199	0,211	0,250	0,219	0,268	0,268	0,300	0,321	0,337	0,383
CUC(%)	89,48	87,81	87,44	86,06	81,91	87,47	83,62	83,02	78,77	82,98	80,22	76,84	74,58	73,12	71,36	68,94
CUH(%)	88,99	87,96	87,87	85,83	81,85	86,79	84,10	83,14	80,03	82,55	81,57	78,59	76,10	74,36	73,12	69,47
Ea(%)	94,57	93,94	94,09	93,08	91,15	93,71	92,36	91,62	90,01	91,53	90,76	89,92	88,00	87,05	86,46	84,77
Es(%)	94,57	93,94	93,09	93,08	91,15	93,71	92,36	91,61	90,01	91,53	90,76	89,92	88,00	87,05	86,46	84,77
Dp(%)	5,43	0,06	5,91	6,92	8,85	6,29	7,64	8,38	9,99	8,47	9,24	10,78	12,00	12,95	13,54	15,23

te de uniformidade que o teste 23, apesar de apresentar maior velocidade de vento. O autor acredita que fatos como estes podem ser atribuídos à direção do vento, e que esta deve ser considerada na análise da qualidade da irrigação por aspersão, juntamente, com dados sobre sua velocidade.

Quando o espaçamento é retangular a maior distância entre os aspersores (maior espaçamento) deve ficar paralela à direção dos ventos dominantes (geralmente espaçamento entre laterais), e o menor espaçamento, perpendicular à direção dos ventos dominantes (geralmente espaçamento entre aspersores).

Com os dados da distribuição ocorrida no teste nº 1 (aspersor Top A, velocidade do vento 13,9 km/h ou 3,86m/s. FIGURA 10), efetuou-se a superposição para o espaçamento 12 x 18m, considerando a direção do vento paralela ao menor espaçamento (FIGURA 11) e obteve-se o padrão de distribuição (FIGURA 12). Para o padrão obtido calculou-se: desvio padrão ( $s$ ); coeficiente de variação ( $s/\bar{y}$ ); coeficiente de uniformidade de HART (CUH); coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC).

Com procedimento idêntico obteve-se o padrão de distribuição para direção do vento paralela ao maior espaçamento (FIGURA 13) e também calculou-se os parâmetros já referidos ( $s$ ,  $s/\bar{y}$ , CUH e CUC).

A TABELA 14 mostra o efeito da direção do vento sobre a uniformidade, onde fica constatado que os maiores espaçamentos resultam em irrigação mais adequada e eficiente, quando colocados no sentido da direção dos ventos dominantes.

#### 4.3.3 - Efeito das perdas por evaporação e carreamento

Quando os fatores climáticos propiciam grandes perdas, ou seja, grande evaporação e carreamento, antes que as

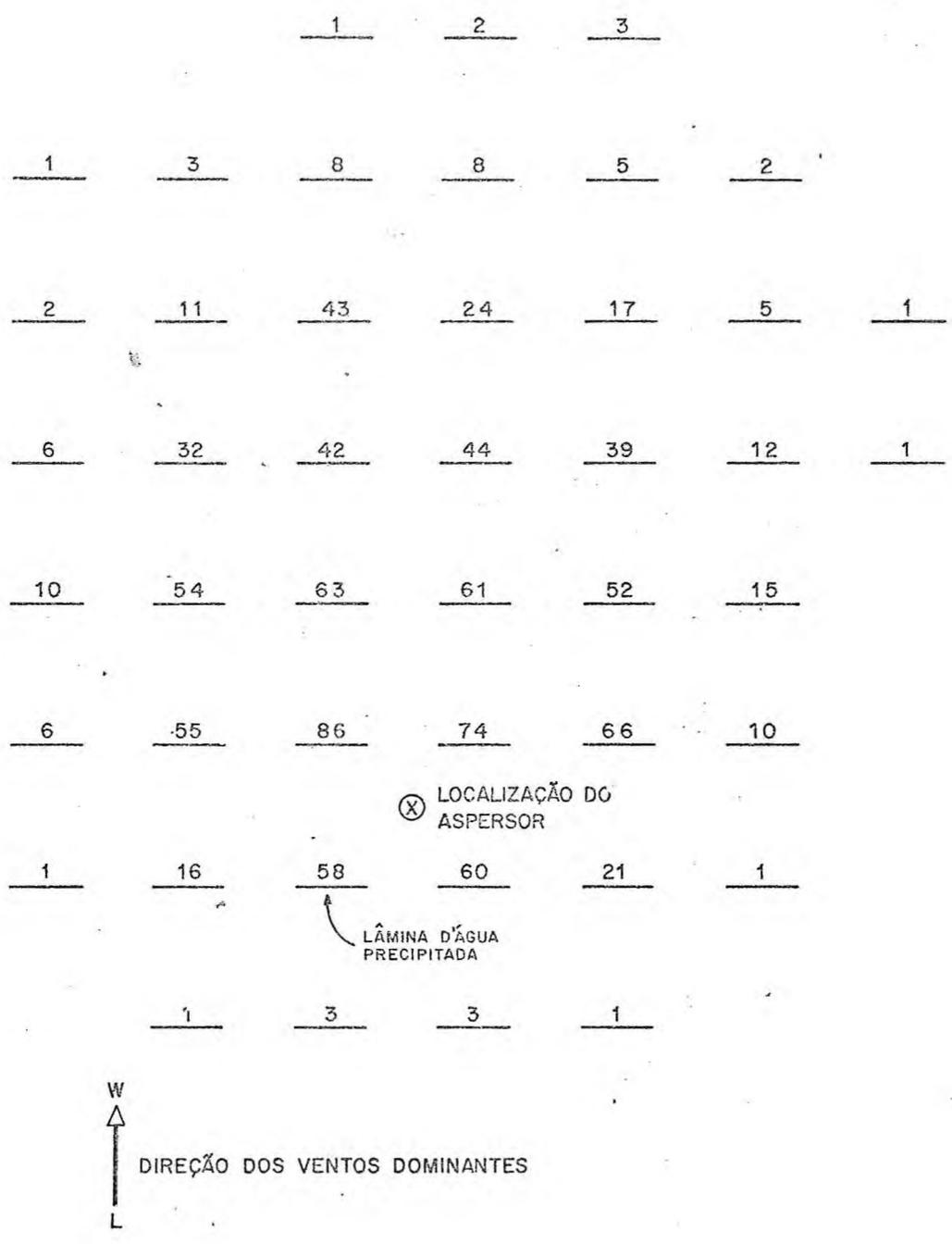


FIGURA 10 - Padrão do aspersor TOP A no teste nº 1 com velocidade vento de 13,9 km/ha.

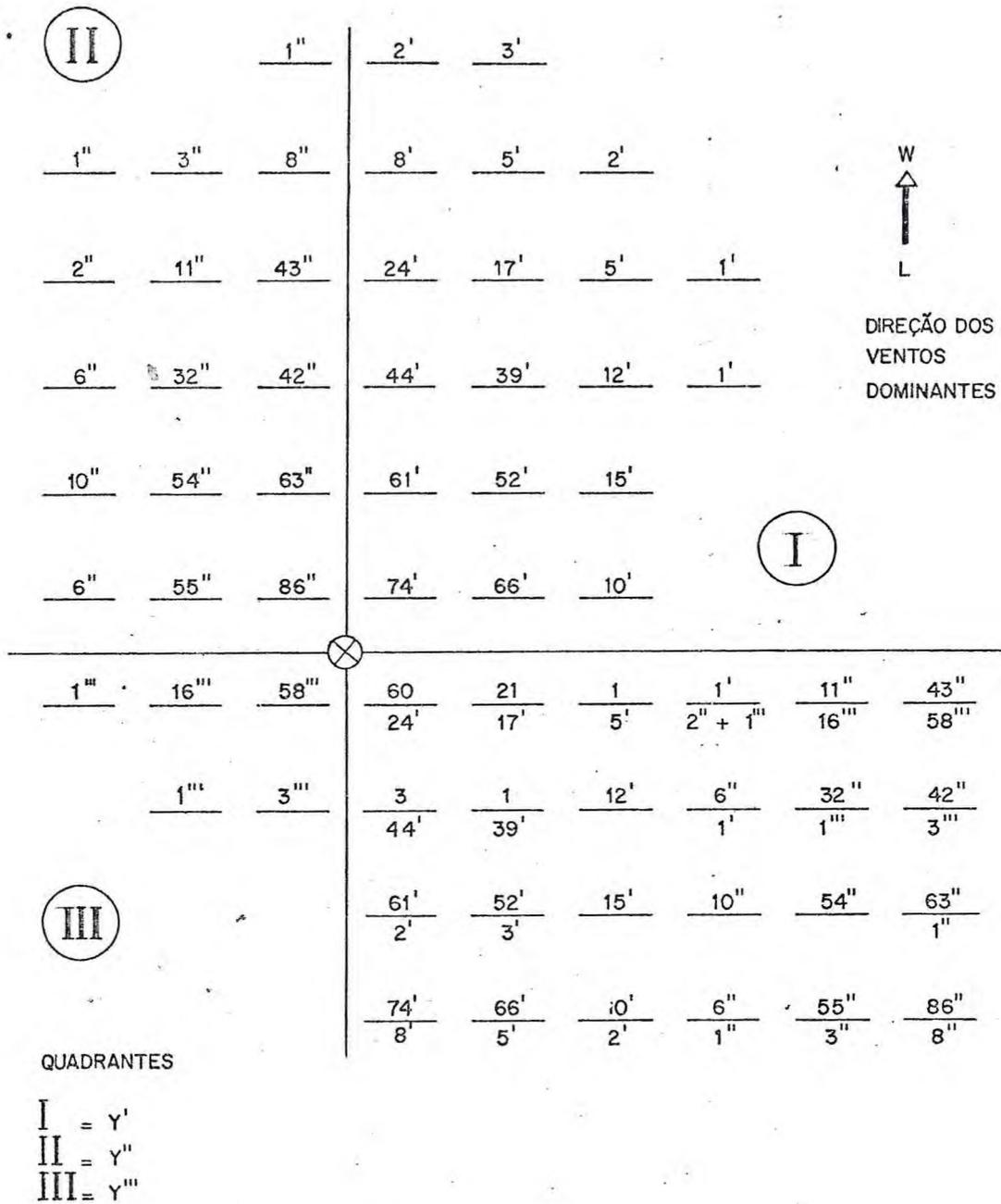


FIGURA 11 - Processo de superposição, para o espaçamento de 12 x 18m com direção do vento paralelo ao menor espaçamento.

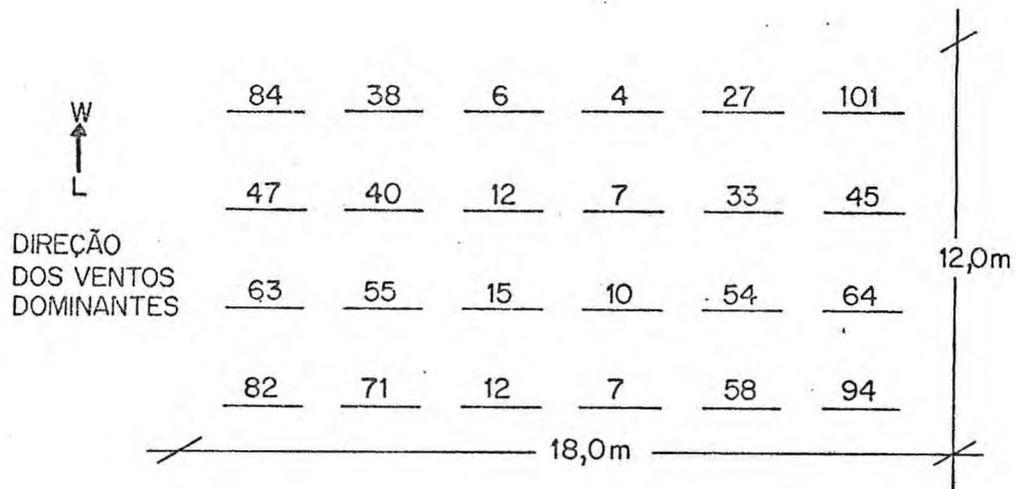


Fig. 12 - Superposição obtida do padrão do teste nº 1, para o espaçamento de 12 x 12m, com ventos dominantes paralelos ao menor espaçamento.

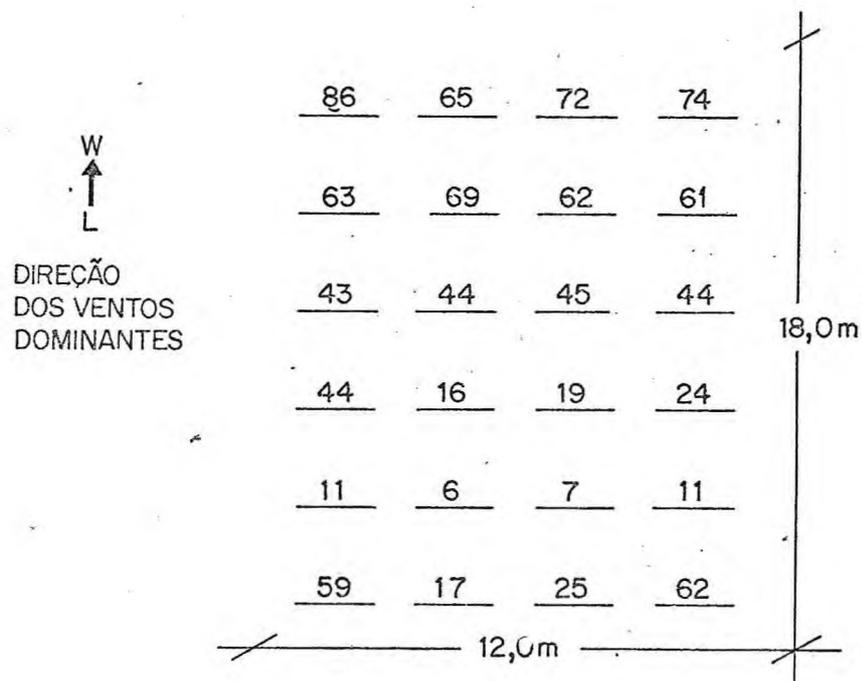


Fig. 13 - Superposição obtida do padrão do teste nº 1, para o espaçamento 12 x 18m, com ventos dominantes paralelos ao menor espaçamento.

gotas d'água atinjam o solo, devido, principalmente, à baixa umidade relativa, alta temperatura e elevada velocidade do vento, o padrão de distribuição pode ficar bastante deformado, influenciando, marcadamente, na uniformidade de distribuição. A ação destes fatores faz-se sentir com maior intensidade nas partículas d'água de menor diâmetro, que são mais susceptíveis ao carreamento e evaporação (FROST e SCHUWALEN, 1955).

TABELA 14 - Efeito da direção do vento na distribuição da água.

	Maior espaçamento perpendicular à direção do vento.	Maior espaçamento paralelo à direção do vento.
$s$	30,194	24,56
$s/\bar{y}$	0,704	0,573
CUH (%)	43,80	54,25
CUC (%)	41,01	51,42

As perdas também provocam diminuição do diâmetro molhado, causando portanto, influência negativa na uniformidade de distribuição e diminuem, consideravelmente, a lâmina média de água que chega ao solo.

Para demonstrar tais afirmações fez-se um estudo com os 16 testes realizados com o aspersor Top A. Como os ensaios foram realizados em dois horários distintos, um deles iniciando entre 6:00 e 7:30 h (geralmente menor velocidade do vento, menor temperatura e maior umidade relativa) e outro horário iniciando entre 7:30 e 8:30 h (geralmente menor unidade relativa, maior temperatura e maior velocidade do vento), formaram-se dois grupos de resultados que podem ser comparados na TA

BELA 15 (espaçamento 12 x 12m).

A TABELA 15 mostra que as médias de precipitação obtidas no primeiro horário (6:00 às 7:30h) são superiores às médias de precipitação obtidas no segundo horário (7:30 às 8:30h). Considerando que o aspersor utilizado foi o mesmo e a pressão de serviço foi mantida constante ( $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ ), nos dois horários, os menores valores de precipitações médias coletados no segundo horário (7:30 às 8:30h), devem ser atribuídos às maiores perdas por evaporação e carreamento.

Os resultados parecem demonstrar, que seria bastante vantajoso do ponto de vista da adequacidade e eficiência, que a irrigação por aspersão, no local em estudo, fosse realizada antes das 8:00h da manhã, horário em que as condições climáticas não são muito adversas.

#### 4.4 - Estudo das eficiências e perdas

A eficiência de aplicação como definida no capítulo 5, não dá por si só, idéia da adequação da irrigação quanto ao reabastecimento da zona das raízes. Para melhor definição da qualidade em um sistema de irrigação, o conceito de eficiência deve ser combinado com medidas de uniformidade, adequacidade da irrigação e perdas.

A FIGURA 14, elaborada com dados da TABELA 1 (aspersor Asbrasil e velocidade do vento igual a  $2,5 \text{ km/h}$  ou  $0,69\text{m/s}$ ), mostra um estudo das eficiências ( $E_a$  e  $E_s$ ), em combinação com valores da lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ), valores do coeficiente de variação ( $s/\bar{y}$ ) e do valor do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC).

Para os espaçamentos 12 x 12m e 18 x 30m, formaram-se as linhas correspondentes à regressão linear, onde se pode ob

TABELA 15 - Efeito das pedras por evaporação e carreamento na qualidade da irrigação (aspersor A, espaçamento 12 x 12m).

Data	Horário das 06:30-07:30h					Horário das 07:30-08:30h				
	Precipitação média ( $\bar{y}$ )	Coefficiente de Variação ( $s/\bar{y}$ )	Velocidade do vento (km/h)	Ea(%)	CUC(%)	Precipitação média ( $\bar{y}$ )	Coefficiente de Variação ( $s/\bar{y}$ )	Velocidade do vento (km/h)	Ea(%)	CUC(%)
07/12/81	64,313	0,314	13,9	87,85	74,83	56,063	0,346	17,5	86,94	72,49
08/12/81	60,438	0,219	4,8	91,50	81,61	57,000	0,243	11,6	90,49	79,17
09/12/81	60,000	0,217	9,9	91,55	82,29	55,750	0,295	16,7	88,49	74,44
10/12/81	64,500	0,296	12,6	88,47	74,61	56,313	0,322	16,7	87,37	73,18
11/12/81	64,188	0,096	1,5	97,37	94,80	58,625	0,267	15,5	89,63	77,69
14/12/81	62,188	0,179	11,5	93,09	85,63	53,125	0,370	17,7	85,96	70,79
15/12/81	66,563	0,075	4,5	97,10	73,71	63,125	0,244	11,4	90,50	78,42
16/12/81	55,875	0,343	18,0	87,58	74,52	60,688	0,291	16,2	89,01	77,10

servar que para maior inclinação da reta, correspondem maiores valores do coeficiente de variação e espaçamento, e menor valor do coeficiente de uniformidade ( $s/\bar{y} = 0,35$ ,  $E = 18 \times 30m$  e  $CUC = 55,7\%$  contra  $s/\bar{y} = 0,09$ ,  $E = 12 \times 12m$  e  $CUC = 92,9\%$  da reta com menor inclinação). Para possibilitar melhor compreensão, três valores da lâmina adimensional requerida foram considerados hipoteticamente ( $Y_r = 0,6, 1,0$  e  $1,4$ ).

A FIGURA 14 mostra que quando o coeficiente de variação é baixo ( $s/\bar{y} = 0,09$ ), o volume deficiente e o volume em excesso d'água são também pequenos ( $V_{d_1} = V_{e_1} = 0,032$ ) e a área deficientemente irrigada é igual a área irrigada em excesso ( $A_d = A_e = 0,5$ ), para valor da lâmina adimensional requerida igual à unidade ( $Y_r = 1,0$ ). Entretanto, ainda para  $Y_r = 1,0$ , quando o coeficiente de variação é elevado ( $s/\bar{y} = 0,53$ ), as perdas são maiores ( $V_{d_1} + V_{d_2} + V_{d_3} = 0,222$ ).

Quando a lâmina adimensional requerida é baixa ( $Y_r = 0,6$ ;  $Y_{min} < Y_r < 1,0$ ), não existe área deficientemente irrigada para o caso do ajuste da reta com  $s/\bar{y} = 0,09$ , porém para o caso da reta com  $s/\bar{y} = 0,53$ , a área deficientemente irrigada já é considerável ( $A_d = 0,275$ ).

Para valores elevados da lâmina adimensional requerida ( $Y_r = 1,4$ ; isto é  $1 < Y_r < Y_{max}$ ), pode ser verificado através da FIGURA 14, que a eficiência de aplicação é alta, desde que é pequeno o volume de água aplicado em excesso ( $V_d = 0$  e  $E_a = 1,0$  para  $s/\bar{y} = 0,09$ ;  $V_e = 0,032$  e  $E_a = 93,2$  para  $s/\bar{y} = 0,53$ ). Todavia o reabastecimento do sistema radicular das culturas é inadequado para os dois casos apresentados ( $E_s = 0,714$  e  $0,666$  respectivamente).

Situação inversa é encontrada quando a lâmina adimensional requerida é baixa ( $Y_r = 0,6$ ). Nesse caso, tem-se elevado índice da eficiência de armazenamento ( $E_s = 1,0$  e  $0,89$ ) e baixo índice da eficiência de aplicação ( $E_a = 0,60$  e  $0,53$ ).

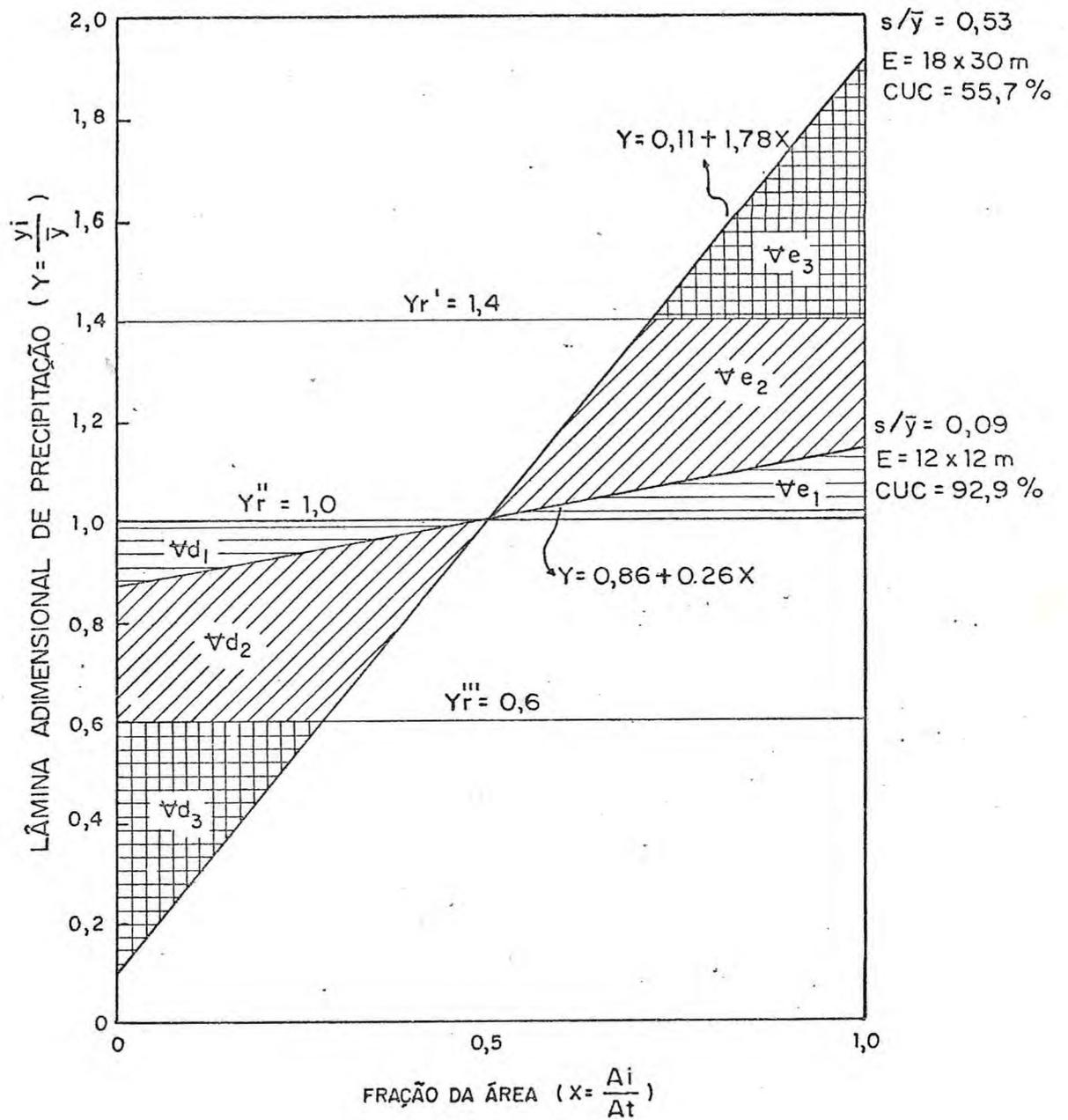


Fig. 14 - Diagrama linear acumulativo para diferentes distribuições.

Os valores calculados de  $E_a$  e  $E_s$ , são também obtidos através do coeficiente angular da reta ( $b$ ), do valor da lâmi na adimensional requerida ( $Y_r$ ) e das TABELAS 1 e 2.

Para facilitar o entendimento das eficiências e perdas, alguns autores como WALKER (1979) e BATIPSTELA et alii (1981), preferem construir a figura 14 invertida (dando idéia de profundidade), o que é mostrado na FIGURA 15.

Para localidade onde a água é escassa, uma elevada eficiência de aplicação (perdas reduzidas) é o mais indicado. Uma elevada eficiência de armazenamento requer grandes perdas d'água, elevando os gastos. Portanto, na aplicação da metodologia, deve-se estabelecer a relação custo-benefício entre qualidade da irrigação e valor econômico da cultura.

Pelos motivos expostos, pode-se afirmar que uma idéia real da qualidade da irrigação só é conseguida quando são associados os conceitos de eficiência com medidas de uniformidade, adequacidade da irrigação e perdas.

#### 4.5 - Modelo estudado - Aspectos da uniformidade relacionados com modelo linear e normal.

Segundo KARMELI et alii (1978) o modelo estudado tem o propósito de estabelecer uma estimativa acurada com relação à performance dos aspersores. Um fato importante a ressaltar é que a curva de frequência adimensional dos aspersores tem a forma de S (esse, FIGURA 16), quando o padrão de distribuição tende a normal. Neste caso, o coeficiente de variação, tem um valor relativamente pequeno ( $s/\bar{y} \leq 0,36$ ), com o padrão de distribuição altamente uniforme; a maior parte das observações fica próxima a média (FIGURA 16). Entretanto, quando o padrão de distribuição tende a ser menos uniforme, o coeficiente de variação aumenta, tornando-se maiores os desvios da média;

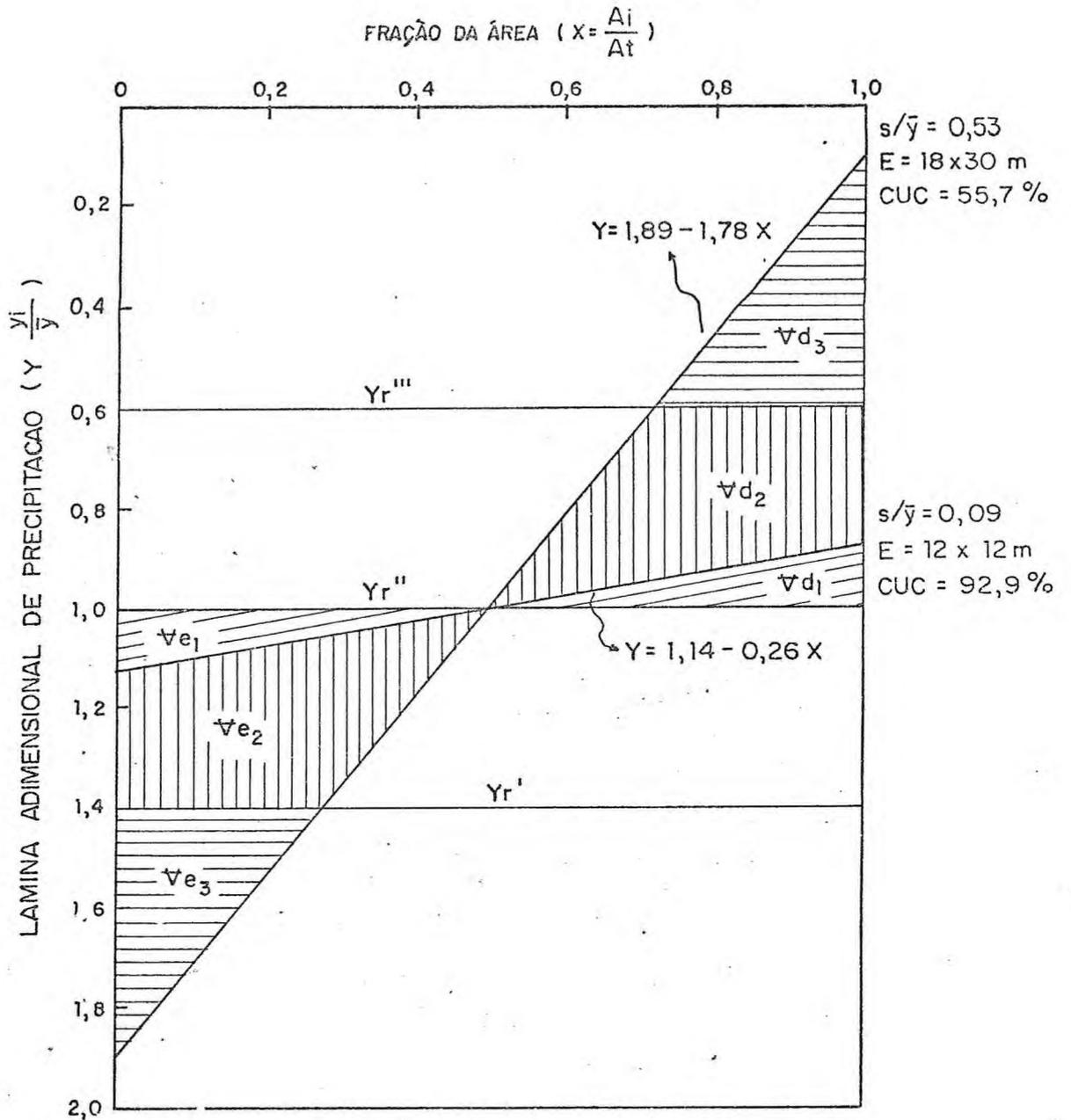


Fig. 15 - Diagrama linear acumulativo para duas diferentes distribuições.

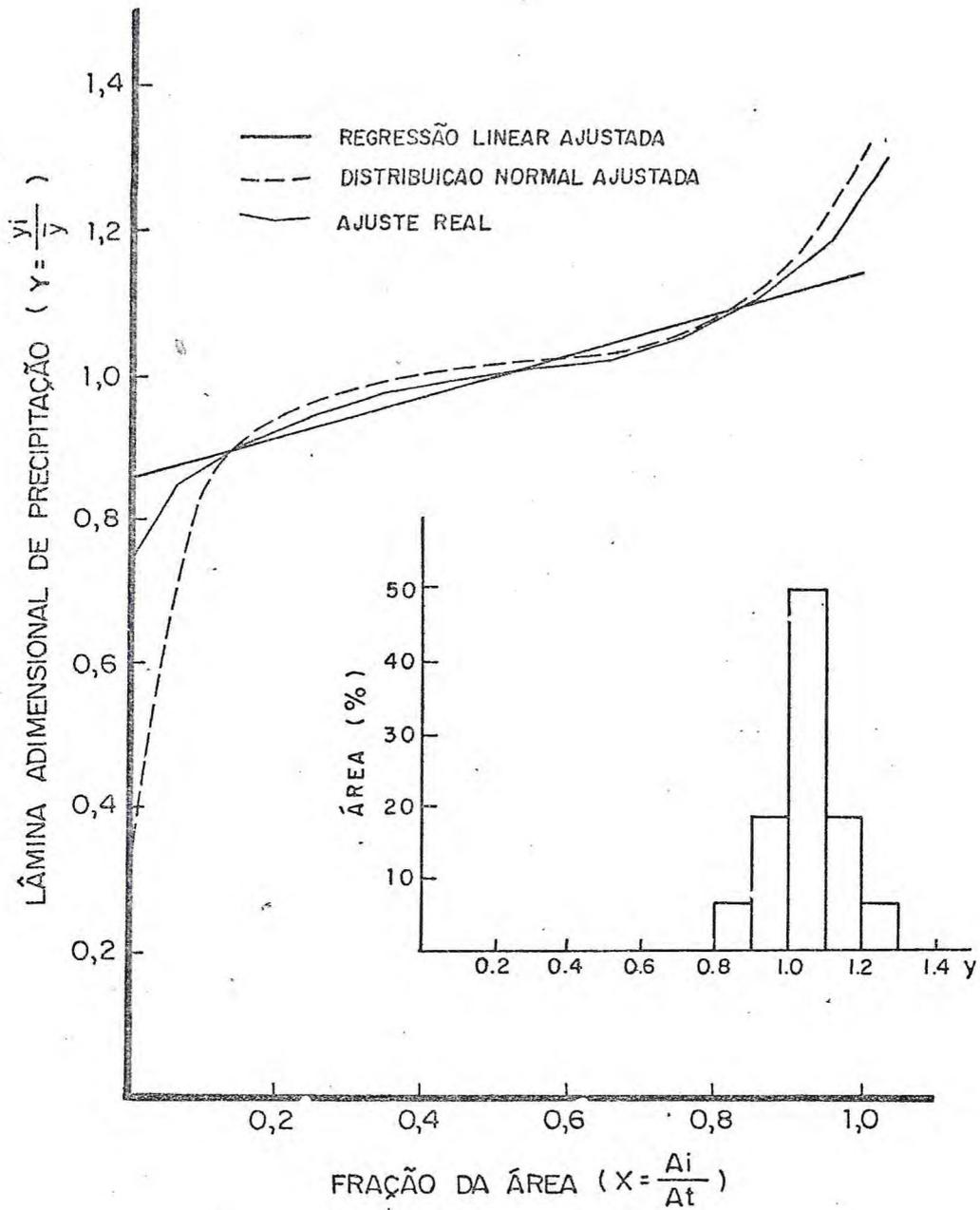


Fig. 16 - Comparação dos ajustes Linear e Normal quando o coeficiente de variação é pequeno ou médio ( $s/\bar{y} < 0,36$ ).

neste caso a forma de S estende-se, tornando-se mais próxima a uma linha reta (FIGURA 17).

Os fatos relatados fazem supor que o ajuste normal é preferível para distribuição onde o coeficiente de variação é de pequena magnitude. Todavia, o ajuste linear pode ser muito bom, quando grande parte da distribuição concentra-se em torno da média, pois assim, o erro nos dois extremos da curva de frequência é relativamente pequeno.

Quando a distribuição tem maior coeficiente de variação ( $s/\bar{y} > 0,62$ ), menor ajuste normal (FIGURA 17), o uso do modelo linear é melhor, com o erro nos dois extremos da curva de frequência de pequena magnitude.

KARMELI et alii (1978), considera que as diferenças entre as estimativas calculadas através do modelo linear e normal, são significativas, apenas quando o coeficiente de variação é superior a 0,62.

Para estudar tais afirmações, usaram-se os dados de 10 testes de uniformidade realizados no campo, dos quais se obtiveram os padrões de distribuição para 3 espaçamentos diferentes (12 x 12, 12 x 24 e 12 x 36m), fornecendo grupos distintos de coeficientes de variação. Em cada um destes grupos de diferentes espaçamentos, estudou-se o relacionamento entre CUL e CUH com o CUC (TABELA 16) e observou-se que:

(a) Espaçamento 12 x 12m - são baixos os valores do coeficiente de variação devido à pequena dispersão em torno da média, fato explicável pela grande superposição das áreas molhadas. Todos os coeficientes de uniformidade estudados apresentam valores elevados e muito semelhantes.

(b) Espaçamento 12 x 24m - os coeficientes de variação pos

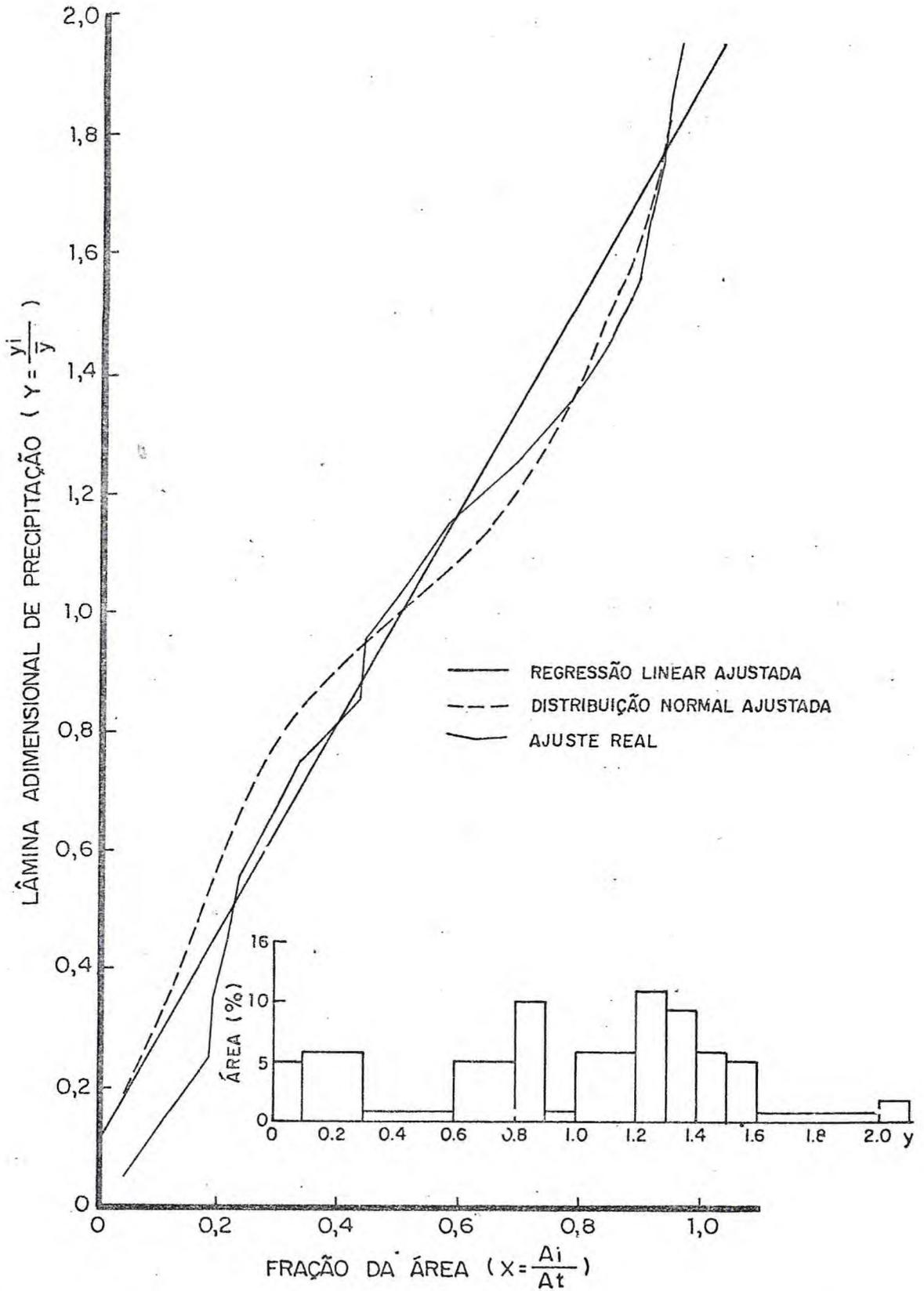


Fig. 17 - Comparação entre os ajustes linear e normal quando o coeficiente de variação é elevado ( $s/\bar{y} > 0,62$ ).

TABELA 16 - Valores de coeficientes de uniformidade (CUL, CUC, CUH), para os espaçamentos de 12 x 12m, 12 x 18m e 12 x 36m.

Espaçamento (m)	Nº do teste	Coef. de variação (s/ $\bar{y}$ )	Coef.Unif. Linear (CUL) %	Coef.Unif. Christiansen (CUC) %	Coef.Unif. Hart (CUH) %
12 x 12	21	0,140	89,22	88,50	88,83
	22	0,214	83,61	83,32	82,93
	23	0,130	90,11	89,68	89,61
	24	0,164	87,27	85,61	86,91
	25	0,142	89,00	88,20	88,64
	26	0,170	86,69	85,85	86,47
	27	0,153	88,32	87,86	87,81
	28	0,145	89,18	88,54	88,43
	29	0,129	90,14	88,55	89,73
	30	0,110	91,42	90,93	91,18
12 x 18	21	0,540	55,87	52,78	56,92
	22	0,684	44,22	40,20	45,40
	23	0,456	63,63	61,03	63,60
	24	0,594	55,07	51,31	56,17
	25	0,381	77,05	75,70	77,75
	26	0,648	46,97	41,96	48,31
	27	0,472	61,43	60,34	62,30
	28	0,493	59,66	58,52	60,67
	29	0,359	71,21	70,04	71,38
	30	0,501	59,30	55,35	60,06
12 x 36	21	0,964	21,96	16,77	23,00
	22	1,098	13,48	3,68	12,40
	23	0,887	27,59	26,71	29,23
	24	0,974	21,25	14,96	22,32
	25	0,435	40,95	41,15	43,54
	26	1,064	15,37	6,00	15,08
	27	0,910	25,46	20,24	27,35
	28	0,927	24,44	19,43	26,06
	29	0,808	33,14	33,14	35,51
	30	0,931	24,24	19,02	25,74

suem valor intermediário, já que neste caso, aumenta a dispersão em torno da média, devido a uma menor superposição das áreas molhadas. Além do mais, todos os coeficientes de uniformidade apresentam valores semelhantes, variando de 40 a 80%. No entanto, nota-se uma tendência para maiores valores de CUH, valores intermediários do CUL e de menores valores do CUC.

(c) Espaçamento 12 x 36m - são elevados os valores dos coeficientes de variação, mostrando que neste espaçamento, é grande a dispersão em torno da média (menor superposição das áreas molhadas). Verifica-se, pelos dados, uma tendência acentuada de menores valores do CUC em relação aos valores dos outros dois coeficientes (CUL e CUH). Pode-se, também, notar a tendência de maior proximidade do CUL ao CUC.

A TABELA 16, juntamente com as FIGURAS 16 e 17 (construídas com os dados da TABELA 1 nos espaçamentos 12 x 12m e 18 x 30m), confirmam os resultados apresentados por KARMELI et alii (1978). Entretanto, deve-se ressaltar que todos os testes de campo foram realizados na pressão de serviço de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup>. Um estudo considerando diferentes pressões de serviço seria recomendável para uma melhor confirmação, ou não, dos resultados comparativos de KARMELI et alii (1978).

Seria também importante a elaboração de um trabalho com o modelo normal de HART, equivalente ao aqui realizado e usando os mesmos dados dos 64 testes de campo realizados na Faz. Exp. Vale do Curu, em Pentecoste - Ceará.

## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados apresentados, neste trabalho e discutidos no capítulo anterior possibilitam concluir que:

5.1 - Os quatro aspersores testados seguem, de um modo geral, as especificações dos fabricantes.

5.2 - Dos quatro aspersores, o Agropolo é o que possui maior tendência para problemas de empoçamento e escoamento superficial, devido a sua maior vazão e menor velocidade de rotação.

5.3 - Para as condições estudadas (Vale do Curu), obtem-se melhor qualidade da irrigação por aspersão, quando se considera espaçamento da lateral como sendo 50% do diâmetro molhado do aspersor.

5.4 - Todos os aspersores testados apresentam uniformidade elevada no espaçamento de 12 x 12m, quando as condições climáticas o permitem. Todos eles diminuem o coeficiente de uniformidade quando aumenta o espaçamento e/ou a velocidade do vento. O aspersor de maior diâmetro molhado apresenta melhor coeficiente de uniformidade, para condições semelhantes.

5.5 - A direção e a velocidade do vento devem ser considerados na análise da qualidade da irrigação por aspersão. As tabelas elaboradas com base em testes de baixa velocidade do vento (até 3 km/h), são pouco funcionais e não apresentam con

dições adequadas para o local do presente estudo. Os efeitos destes fatores devem ser estudados com maiores detalhes.

5.6 - Do ponto de vista da adequacidade e eficiência, seria vantajoso que a irrigação por aspersão fosse realizada antes das 8:00 h da manhã, no local em estudo, devido ao menor efeito dos fatores climáticos sobre a distribuição e perdas de água.

5.7 - Para conhecimento da qualidade da irrigação é necessário combinar medidas de uniformidade, eficiência e perda de água.

5.8 - Os valores de CUC, CUH e CUL, podem ser usados, indistintamente, quando o valor do coeficiente de variação é baixo ou médio.

5.9 - Seria recomendável, para confirmação dos resultados, que fossem realizados estudos considerando outros aspersores, diferentes pressões de serviço e alturas de haste. Ressalta-se a orientação do trabalho para análise em computador.

5.10 - O modelo proposto é de fácil aplicação, possibilitando rápida análise, interpretação dos dados e apresenta elementos práticos para verificação da performance de aspersores e sistemas de irrigação.

5.11 - As tabelas 1, 2 e 3 podem ser utilizadas para rápida obtenção de valores de eficiência e perdas por percolação na irrigação por aspersão ( $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$ ). É necessária apenas a

obtenção dos valores de  $b$  (teste de campo) e  $Y_r$  (a critério do projetista).

6 -> LITERATURA CITADA

ASAE. Procedure for sprinkler distribution testing for mearch purpose. Agricultural Engineers Yearbook, 564 - 569, 1975.

AGARWAL, M.C. e Agarwal S. Effect of wind velocity ou Distri bution Effeciency from twin Nozzle sprinklers. Departament of soil, Haryana Agricultural University Hissar, 11 - 13, 1977.

BATIPSTELA, J.R., Leme, E.J.A., Rosenfeld, U., e Campos, H. Uni formidade de Aspersão - Avaliação da Eficiência de Aplica ção e de Armazenamento. Anais do V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, São Paulo, 354 - 391, 1981.

BENAME, A. e Hore, F.R. A New Irrigation Sprinkler, Distribu tion Coefficient. Transactions of the ASAE, 157 - 158, 1964.

BERNARDO, Salassier. Manuel de Irrigação. Viçosa, UFV, Imp. Univ., 1982, 463p.

BRANSCHIED, Volker O. e Hart, W.E. Predicting Field Distri butions os Sprinkler Systems. Transactions of the ASAE, 801 - 808, 1968.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by Sprinkling. Berkeley, Univ. of California Experiment Station. 1942, 124p. (Bull., 670).

\_\_\_\_\_. The Uniformity of Application of Water by Sprin kler Systems. Agricultural Engineering, 89 - 92, March, 1941.

FROST., K.R. e Schwalen. Evaporation During Sprinkler Irriga tion. Transactions of the ASAE. 18 - 24, 1960.

\_\_\_\_\_. Sprinkler Evaporation Losses. Agricultural Enginee

- ring. 526 - 528. August, 1955.
- GOMES, Roberto Jimenez. Evaluacion y comparacion de 5 modelos de aspersor de riego. Universidade de Chile, Facultad de Agronomia, Santiago, Chile, 1976, 44p.
- GOMIDE, Reinaldo Lúcio. Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. Viçosa, UFC, MG. Imprensa Universitária, 1978. 87p.
- GRASSI, Carlos J. Métodos de Riego. CIDIAT, Merida, Venezuela 1972, 270p.
- HART, W.E. Overhead Irrigation Pattern Parameters. American Society of Agricultural Engineering, 354 - 355. July, 1961.
- HART, W.E, e Reynolds, W.N. Analitical Design of Sprinkler Systems. Transactions os the ASAE, 83 - 86, 1965.
- KARMELI, D., Salazar J. Leroy e Wolker, Wynn R. Assessing the spatial variability of Irrigation Water Applications. Department of Agricultural and Chemical Engineering Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA 1978. 201p.
- KELLER, Jack. Irrigation Chapter 11, Sprinkle Irrigation, Agricultural and Irrigation Engineering, Logan, Utah, Usa, 1979, 302p.
- MERRIAM, John L. e Keller, Jack. Farm Irrigation, Systems Evaluation. A Guide for Management, Utah State University, Logan, Utah, 1978, 271p.
- OLITTA, Antonio Fernando Lordelo. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1978, 1<sup>a</sup> edição, 267p.
- SENIWONGSE, CHAIRATANA, Wu, I-Pai e Reynolds, W.N. Skewness and Kurtosis Influence on Uniformity Coefficient, and Application to sprinkler Irrigation Design. Transactions of the ASAE, 226 - 271, 1972.

SHULL, H. e Dylla, A.S. Wind effects on water application patterns from a large single nozzle sprinkler, Transactions of the ASAE, 1976, 4p.

SOLOMON, Ken. Variability of sprinkler coefficient of Uniformity Test Results. American Society of Agricultural Engineers, ASAE, 1978, 10p.

WALKER, Wynn R. Sprinkler and Trickle Irrigation, Department of Agricultural and chemical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, Fourth Edition, 1978, 175p.

A P Ê N D I C E    A

TABELA 17 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Samoto (AJS).

Nº teste      Diâmetro bocais (mm)      Vel. vento (km/h)      Dir.Vento  
 46                      4,3 (único)                      17,1                      E-W

Espaçamento (m)	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	R <sup>2</sup>	E <sub>a</sub> <sup>**</sup>	E <sub>s</sub> <sup>**</sup>	D <sub>p</sub> <sup>*</sup>
12 x 12	26,2	11,3	0,43	65,5	66,3	0,34	1,32	0,95	0,83	0,83	0,17
12 x 18	17,5	13,8	0,79	37,0	36,0	-0,24	2,49	0,95	0,69	0,69	0,31
12 x 24	13,1	14,1	1,08	13,8	7,1	-0,67	3,35	0,88	0,58	0,58	0,42
12 x 30	10,5	13,7	1,30	*	*	-0,93	3,86	0,78	0,52	0,52	0,48
18 x 18	11,0	13,7	1,18	5,7	0,3	-0,79	3,58	0,83	0,55	0,55	0,45
18 x 18	8,7	12,9	1,48	*	*	-1,80	4,17	0,71	0,48	0,48	0,52
18 x 30	7,0	12,1	1,73	*	*	-1,27	4,53	0,60	0,43	0,43	0,57
24 x 24	6,5	11,8	1,80	*	*	-1,31	4,62	0,57	0,42	0,42	0,58

\* Valores muito baixos de uniformidade.

\*\* Os valores de E<sub>a</sub>, E<sub>s</sub> e D<sub>p</sub> correspondem no caso 3, Y<sub>r</sub> = 1,0.

TABELA 18 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Samoto (AJS).

Nº teste 49      Diâmetro bocais (mm) 4,3 (único)      Vel.vento (km/h) 1,9      Dir.vento E-W

Espaçamento (m)	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	$R^2$	$E_a^{**}$	$E_s^{**}$	$D_p^{**}$
12 x 12	28,7	6,5	0,23	81,9	83,1	0,70	0,59	0,69	0,93	0,93	0,07
12 x 18	19,1	11,6	0,61	51,5	46,3	0,04	1,92	0,95	0,76	0,76	0,24
12 x 24	14,3	13,1	0,91	27,2	16,4	-0,46	2,92	0,94	0,64	0,64	0,36
12 x 30	11,5	13,0	1,14	9,4	*	-0,76	3,52	0,86	0,56	0,56	0,44
18 x 18	12,8	11,0	0,86	31,2	24,2	-0,40	2,79	0,95	0,65	0,65	0,35
18 x 24	9,6	11,0	1,15	8,23	0,07	-0,79	3,58	0,86	0,55	0,55	0,45
18 x 30	7,6	10,5	1,38	*	*	-1,03	4,06	0,76	0,49	0,49	0,51
24 x 24	7,1	10,4	1,45	*	*	-1,08	4,18	0,73	0,48	0,48	0,52

\* Valores muito baixos de uniformidade.

\*\* Os valores de  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  correspondem no caso 3,  $Y_r = 1,0$ .

TABELA 19 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Agropolo.

Nº teste      Diâmetro bocais (mm)      Vel.vento (km/h)      Dir.vento  
 21                      4,7 x 6,1                      6,7                      NE-SW

Espaçamento (m)	$\bar{y}$	$\Delta$	$\Delta/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	R <sup>2</sup>	E <sub>a</sub> **	E <sub>s</sub> **	D <sub>p</sub> **
12 x 12	87,1	12,2	0,14	88,5	88,5	0,78	0,43	0,96	0,95	0,95	0,05
12 x 18	58,1	14,5	0,25	80,0	78,7	0,60	0,80	0,96	0,99	0,90	0,10
12 x 24	43,6	23,5	0,54	56,9	52,8	0,12	1,77	0,98	0,78	0,78	0,22
12 x 30	24,8	27,1	0,78	37,8	33,5	-0,28	2,56	0,97	0,68	0,68	0,32
18 x 18	38,7	15,2	0,39	68,7	70,3	0,38	1,24	0,91	0,84	0,84	0,16
18 x 24	29,0	18,8	0,63	50,0	51,3	-0,01	2,01	0,91	0,75	0,75	0,25
18 x 30	23,2	19,8	0,85	32,0	31,8	-0,38	2,76	0,92	0,65	0,65	0,35
24 x 24	21,7	19,0	0,87	30,4	32,9	-0,38	2,76	0,87	0,65	0,65	0,35

\*\* Os valores de E<sub>a</sub>, E<sub>s</sub> e D<sub>p</sub> correspondem no caso 3, Y<sub>r</sub> = 1,0.

TABELA 20 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Agropolo.

Nº teste      Diâmetro bocais (mm)      Vel.vento (km/h)      Dir.vento  
 22                      4,7 e 6,1                      13,4                      E-W

Espaçamento (m)	y	s	s/ $\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b	R <sup>2</sup>	E <sub>a</sub> **	E <sub>s</sub> **	D <sub>p</sub> **
12 x 12	76,1	16,3	0,21	82,9	83,3	0,67	0,65	0,95	0,91	0,91	0,09
12 x 18	50,8	19,4	0,38	69,5	68,9	0,39	1,22	0,96	0,85	0,85	0,15
12 x 24	38,1	26,1	0,68	45,4	40,2	-0,12	2,23	0,97	0,72	0,72	0,28
12 x 30	30,5	28,0	0,91	27,0	19,7	-0,48	2,97	0,94	0,62	0,62	0,38
18 x 18	33,8	20,0	0,59	52,8	53,5	0,06	1,88	0,91	0,76	0,76	0,24
18 x 24	25,4	21,4	0,84	32,8	33,1	-0,34	2,68	0,90	0,66	0,66	0,34
18 x 30	20,3	21,6	1,06	14,9	14,3	-0,66	3,33	0,86	0,58	0,58	0,42
24 x 24	19,0	21,1	1,11	11,5	12,1	-0,70	3,40	0,82	0,57	0,57	0,43

\*\* Os valores de E<sub>a</sub>, E<sub>s</sub> e D<sub>p</sub> correspondem no caso 3, Y<sub>r</sub> = 1,0.

TABELA 21 - Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Top A.

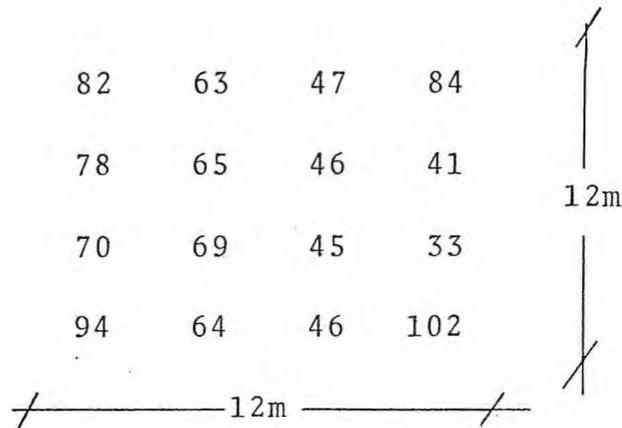
Espaçamento (m)	Diâmetro bocais (mm)			Vel.vento (km/h)		Dir.vento		R <sup>2</sup>	E <sub>a</sub> <sup>**</sup>	E <sub>s</sub> <sup>**</sup>	D <sub>p</sub> <sup>**</sup>
	Nº teste	4,4 e 5,0		1,5		Var					
	$\bar{y}$	$s$	$s/\bar{y}$	CUH (%)	CUC (%)	a	b				
12 x 12	64,2	4,4	0,07	94,5	94,8	0,89	0,21	0,94	0,97	0,97	0,06
12 x 18	42,8	5,1	0,12	90,4	89,2	0,81	0,38	0,98	0,95	0,95	0,05
12 x 24	52,1	12,2	0,38	69,6	66,6	0,38	1,25	0,99	0,84	0,84	0,16
12 x 30	25,7	16,7	0,65	48,0	43,2	-0,08	2,16	0,99	0,75	0,73	0,27
18 x 18	28,5	4,4	0,15	87,7	0,75	0,75	0,50	0,96	0,94	0,94	0,06
18 x 24	21,4	8,5	0,40	68,0	66,4	0,34	1,33	0,97	0,83	0,83	0,17
18 x 30	17,1	11,3	0,66	47,1	43,9	-0,11	2,22	0,99	0,72	0,72	0,28
24 x 24	16,0	8,7	0,54	56,6	57,4	0,10	1,80	0,95	0,78	0,78	0,22

\*\* Os valores de E<sub>a</sub>, E<sub>s</sub> e D<sub>p</sub> correspondem no caso 3, Y<sub>r</sub> = 1,0,

A · P · E · N · D · I · C · E    B

Exemplo de cálculo dos parâmetros do modelo linear de KARMELI, considerando os dados do teste nº 1 (Fig. 10 Tab. 6 ) e espaçamento de 12 x 12m.

Com os dados do teste nº 1 e fazendo as superposições para o espaçamento 12 x 12m obteve-se o seguinte padrão de precipitação:

82	63	47	84	
78	65	46	41	
70	69	45	33	
94	64	46	102	

onde,

$$- \sum_{i=1}^n y = 1029 \text{ (soma das precipitações obtidas).}$$

$$- \sum_{i=1}^n y^2 = 72291$$

$$- s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y^2 - (\sum_{i=1}^n y)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{72.291 - 1029^2/16}{15}} = 20,19$$

$$- \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{1029}{16} = 64,31$$

$$- s/\bar{y} = \frac{20,18}{64,31} = 0,3139$$

$$- \text{CUC} = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n /y_i - \bar{y}/}{n \bar{y}} \right] = 100 \left[ 1 - \frac{258,99}{16 \times 64,31} \right]$$

$$\text{CUC} = 74,8304\%$$

desde que:

$$\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}| = 258,99$$

$$- \text{CUH} = 100 \left[ 1 - \frac{0,7984}{\bar{y}} \right] = 100 \left[ 1 - \frac{0,798 \cdot 20,19}{64,31} \right]$$

$$\text{CUH} = 74,95\%.$$

- Cálculo dos coeficientes da equação linear (a e b)

Para o cálculo dos coeficientes da equação foi construída a Tabela 22.

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + \sum_{i=1}^n x_i b$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n x_i a + \sum_{i=1}^n x_i^2 b$$

$$16,001 = 16 a + 7,9999 b$$

$$9,4098 = 7,9999 a + 5,5116 b$$

$$a = 0,5138$$

$$b = 0,9724$$

- Cálculo do coeficiente de determinação ( $R^2$ )

$$R^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx} \cdot S_{yy}}$$

onde:

TABELA 22 - Cálculo da soma dos quadrados para obtenção dos coeficientes a, b e R<sup>2</sup>.

Índice	$y_1 \left( \frac{I_u}{100} \right)$	A (m <sup>2</sup> )	$Y = \frac{y_1}{y}$	$x = \frac{A_i - 9}{A_t - 9}$	xY	$x^2$	$y^2$
1	33	9	0,513	0,0000	0,0000	0,0000	0,2632
2	41	18	0,638	0,0666	0,0425	0,0044	0,4070
3	45	27	0,700	0,1333	0,0933	0,0178	0,49
4	46	36	0,715	0,2000	0,143	0,04	0,5112
5	46	45	0,715	0,2667	0,1907	0,0711	0,5112
6	47	54	0,731	0,3333	0,2436	0,1111	0,5344
7	63	63	0,980	0,4000	0,392	0,16	0,9604
8	64	72	0,995	0,4667	0,4644	0,2178	0,99
9	65	81	1,011	0,5333	0,5392	0,2844	1,0221
10	69	90	1,073	0,6000	0,6438	0,36	1,1513
11	70	99	1,088	0,6667	0,7254	0,4445	1,1837
12	78	108	1,213	0,7333	0,8895	0,5377	1,4714
13	82	117	1,275	0,8000	1,02	0,64	1,6256
14	84	126	1,306	0,8667	1,1319	0,7512	1,7056
15	94	135	1,462	0,9833	1,3645	0,8710	2,1374
16	102	144	<u>1,585</u>	<u>1,000</u>	<u>1,586</u>	<u>1,0000</u>	<u>2,5154</u>
			16,001	7,9999	9,4698	5,511	17,4799

$S_{yy} = SQT =$  soma dos quadrados total (y)

$S_{xx} = SQT =$  soma dos quadrados total (x)

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$S_{yy} = 17,4799 - \frac{(16,0001)^2}{16} = 1,4797$$

$$S_{xx} = 5,511 - \frac{(7,9999)^2}{16,0001} = 1,511$$

$$S_{xy} = 9,4698 - \frac{(7,999)(16,0001)}{16} = 1,46976$$

$$R^2 = \frac{(1,46976)^2}{(1,511)(1,4797)} = 0,9662$$

- Eficiência de aplicação

$$E_a = 1 - \frac{b}{8} = 1 - \frac{0,9724}{8} = 0,8785$$

- Eficiência de armazenamento

$$E_s = 1 - \frac{b}{8} = 0,8785$$

- Perdas por percolação profunda

$$D_p = \frac{b}{8} = 0,1215.$$

A P Ê N D I C E    C

TABELA 23 - Dados coletados na Estação Met. da Faz. Exp. Vale do Curu, referentes a Dezembro de 1981.

Dias	Tempe	Tempe	Tempe	Umidade	Precipi	Evapo	Inso	Vento	
	Máxima	Mínima	Média					Relativa	tação
01	35,1	23,4	28,9	64	0,0	7,2	79	NNE	4,7
02	35,2	22,3	29,2	64	0,0	6,2	97	NNE	4,4
03	32,6	23,6	27,9	70,5	0,0	5,1	09	ENE	6,1
04	31,8	24,3	27,9	71	0,0	3,9	2,2	ENE	4,7
05	32,4	24,4	28,3	65,5	0,0	4,7	0,1	ESE	5,5
06	35,2	24,0	29,6	53	0,0	4,8	90	ENE	5,8
07	35,4	24,7	29,0	64,,5	0,0	6,7	6,3	NE	5,8
08	36,0	22,4	29,4	65	0,0	5,1	96	NE	5,0
09	35,2	23,6	29,2	62,5	0,0	5,1	10,1	NE	5,0
10	35,6	23,5	29,7	60	0,0	5,5	94	ENE	6,6
11	35,1	23,1	29,4	63	0,0	5,5	84	ENE	5,8
12	35,0	24,9	29,6	59	0,0	5,8	5,5	NE	5,5
13	37,2	23,0	29,7	61	0,0	5,0	10,0	NE	6,5
14	35,8	24,0	29,5	64	0,0	8,5	10,3	ENE	5,8
15	35,2	23,2	29,4	64	0,0	6,9	96	E	5,2
16	35,2	25,0	29,4	62	0,0	5,8	88	NE	6,6
17	35,4	24,7	29,9	62	1,0	7,6	8,2	NE	6,1
18	35,6	25,0	29,7	64	0,0	7,1	89	ENE	7,2
19	34,3	25,6	29,6	62	0,0	7,7	95	ENE	5,8
20	35,6	24,5	29,5	66	0,0	7,5	5,1	NE	5,0
21	25,7	20,7	23,8	89,5	48,0	4,2	00	W	1,6
22	33,0	23,1	27,4	76	0,0	0,8	6,8	E	2,1
23	33,3	22,8	28,2	73,5	0,0	3,8	8,5	NE	4,4
24	28,0	22,5	25,6	89,5	8,0	3,6	00	NNE	2,5
25	33,0	24,5	28,6	71	0,0	1,7	79	NE	3,9
26	32,9	24,0	28,4	75,5	4,4	4,4	86	NNE	4,4
27	34,1	23,9	28,8	73	0,0	3,8	73	NNE	3,3
28	34,2	23,6	28,9	73	0,0	3,5	10,3	NNE	3,3
29	34,4	24,0	28,2	77	0,0	3,7	85	NE	4,1
30	34,2	23,5	28,3	74	0,0	3,9	83	ENE	3,3
31	34,4	23,0	28,9	63	0,0	4,4	10,9	ENE	5,2

TABELA 24 - Dados coletados na Estação Met. da Faz. Exp. Vale do Curu, referentes a Janeiro de 1982.

Dias	Tempe	Tempe	Tempe	Umidade	Precipi	Evapo	Inso	Vento	
	Máxima	Mínima	Média					Relativa	tação
01	34,5	23,5	29,0	64	0,0	6,4	10,6	N	5,5
02	34,4	23,3	28,9	68	0,0	5,8	9,9	NNE	3,9
03	35,3	22,8	29,2	69	0,0	4,6	9,2	NNE	3,9
04	33,5	23,5	28,3	68,5	0,0	4,1	5,7	ENE	3,9
05	34,4	23,4	28,5	72	0,0	4,3	8,9	NNE	4,7
06	33,4	22,9	28,3	71	0,0	3,1	10,2	ENE	4,4
07	33,6	23,0	27,8	76	0,0	4,0	5,8	N	3,4
08	32,0	24,3	27,4	73,5	0,0	4,4	3,2	NE	4,2
09	34,4	22,4	28,4	70	0,0	4,0	7,3	NNE	4,4
10	34,7	23,6	28,5	68,5	0,0	4,8	8,0	NNE	3,8
11	33,4	24,5	27,7	75	2,0	4,7	3,9	N	4,4
12	34,5	22,2	28,2	73	0,0	3,0	8,5	NNE	3,0
13	34,7	22,0	28,3	73	0,0	4,1	9,3	N	4,7
14	35,0	22,6	28,4	70	0,0	4,7	6,0	NNE	4,5
15	34,3	24,5	28,0	68	2,0	4,9	7,6	NE	5,2
16	34,8	20,4	27,8	73	0,0	5,4	6,6	NE	4,4
17	35,2	21,9	28,6	69	0,0	4,5	9,9	NE	3,9
18	35,0	22,7	28,5	68	0,0	5,7	7,5	N	4,1
19	33,3	22,4	28,0	71	0,0	6,8	2,5	N	3,3
20	34,6	22,4	28,2	70	0,0	4,6	9,0	NE	3,6
21	33,5	22,2	28,0	75	2,8	5,3	8,6	NE	4,1
22	32,2	23,4	27,5	78	0,0	4,4	5,1	NE	3,9
23	30,0	22,8	25,9	84	7,6	3,2	0,2	E	2,2
24	32,6	22,7	25,3	78	2,2	2,3	4,0	NNE	4,1
25	32,5	23,8	28,4	67	0,0	4,0	0,3	NNE	5,0
26	32,0	24,4	26,1	89	3,0	4,2	2,0	NNE	2,2
27	30,5	22,2	26,2	86,5	12,4	1,9	1,0	N	2,1
28	32,0	23,0	26,8	82	6,0	1,3	4,4	NNE	3,3
29	30,1	23,0	25,7	89	11,8	2,1	1,5	NNE	3,8
30	32,2	22,6	27,8	74	0,0	1,2	9,1	NNE	4,1
31	32,2	23,1	27,6	77,5	1,8	2,8	9,0	NNE	4,4

TABELA 25 - Dados coletados na Estação Met. da Faz. Exp. Vale do Curu, referentes a Abril de 1978.

Dia	Temperatura (°C)			UR	Vento		Ins. Prec. (mm)	
	Méd	Máx	Mín		Dir.	Vel(m/s)		
01	25,5	31,3	23,0	93,0	WSW	31,1	2,1	17,2
02	26,1	31,3	22,4	88,0	SW	2,4	2,7	8,0
03	26,3	31,9	22,5	78,0	N	3,3	8,5	0,0
04	26,8	32,0	23,4	79,0	N	4,4	9,5	0,0
05	26,0	30,2	23,3	93,0	W	1,3	3,4	4,4
06	25,6	31,1	22,7	88,0	NNE	1,8	3,9	4,6
07	26,7	32,1	23,6	84,0	NNE	3,0	9,6	0,0
08	25,8	31,6	22,6	94,0	NNW	1,5	2,1	1,0
09	26,9	31,7	22,4	85,0	NNE	3,7	6,6	0,0
10	26,8	32,2	24,2	79,0	N	3,0	10,1	0,0
11	26,7	32,0	23,4	87,0	NE	3,6	8,2	0,0
12	26,7	30,9	23,2	80,0	NNE	3,9	3,4	3,6
13	26,7	32,8	24,1	92,0	N	0,9	3,1	24,8
14	25,7	29,3	23,4	92,0	N	2,5	1,3	10,4
15	24,9	27,7	23,2	96,0	SW	2,9	0,0	4,6
16	26,1	31,6	22,6	87,0	NNE	2,7	6,2	0,0
17	25,5	28,2	23,1	84,0	NNE	1,8	0,5	8,0
18	26,1	31,5	22,7	80,0	E	2,9	8,9	0,0
19	26,3	32,0	21,4	93,0	N	2,2	9,2	0,0
20	25,7	31,2	22,4	94,0	NNW	1,3	4,8	9,8
21	25,1	29,2	21,6	95,0	NNW	2,5	2,3	8,0
22	25,0	27,4	23,4	92,0	SW	2,5	0,0	14,8
23	25,8	31,2	21,6	93,0	N	1,2	5,7	7,6
24	26,4	31,0	22,8	89,0	N	2,6	1,4	17,2
25	26,4	31,0	22,9	90,0	NNW	1,6	6,3	0,0
26	26,2	32,0	21,7	81,0	NNE	2,5	9,2	0,0
27	25,4	29,0	22,8	94,0	S	2,2	1,4	17,4
28	26,4	31,0	23,6	84,0	S	3,2	8,5	0,0
29	26,4	31,2	22,2	81,0	SSW	1,9	7,1	0,0
30	26,1	30,7	22,9	79,0	SSW	3,7	9,2	1,6

TABELA 26 - Dados coletados na Estação Met. da Faz. Exp. Vale do Curu, referentes a Março de 1982.

Dia	Temperatura (°C)			UR	Vento		Ins. Prec. (mm)	
	Méd	Máx	Mín		Dir.	Vel(m/s)		
01	26,4	32,2	22,0	79,0	NNE	2,3	9,9	9,0
02	25,9	29,9	23,0	93,0	E	2,2	2,0	7,2
03	26,4	32,7	23,2	85,0	NW	1,7	4,9	22,8
04	26,0	31,0	23,6	92,0	NNE	2,5	4,6	17,4
05	26,1	31,1	21,6	82,0	NNE	4,4	8,1	2,0
06	26,7	31,4	23,1	87,0	NNE	2,8	7,2	2,2
07	26,3	30,3	23,0	85,0	N	3,9	3,8	3,6
08	26,2	31,5	23,5	86,0	NNE	2,9	3,8	64,0
09	26,4	31,4	22,2	89,0	NNE	2,5	7,4	5,4
10	25,1	28,6	22,4	89,0	NNE	2,2	0,3	5,4
11	26,0	31,3	22,1	89,0	NNE	2,5	6,6	0,0
12	25,5	27,8	23,2	92,0	N	2,5	0,0	4,8
13	26,2	31,4	23,4	85,0	N	3,3	4,8	4,2
14	26,2	30,5	22,3	87,0	N	3,6	3,7	0,0
15	26,5	31,5	23,6	81,0	WSW	2,7	3,6	0,2
16	26,3	32,0	21,8	89,0	SE	4,5	5,1	1,0
17	26,7	32,4	22,5	89,0	SW	2,7	5,9	1,8
18	26,0	32,0	22,2	87,0	W	2,7	8,0	0,4
19	26,5	32,1	22,0	85,0	NE	2,7	7,4	0,0
20	26,6	30,8	23,0	84,0	E	2,9	7,4	12,0
21	26,1	29,8	23,6	87,0	NNE	1,7	0,9	2,6
22	26,4	31,5	22,3	86,0	NNE	3,3	5,2	0,0
23	26,6	32,4	22,1	83,0	NNE	2,5	8,3	0,0
24	26,7	32,7	22,4	91,0	N	2,9	5,5	2,0
25	26,7	31,6	23,5	86,0	NNE	3,4	6,1	14,8
26	26,1	32,1	23,0	93,0	NNE	1,2	2,4	5,0
27	25,6	29,4	22,4	90,0	W	1,3	0,9	29,6
28	25,8	28,6	22,3	91,0	W	3,0	1,3	6,4
29	25,7	29,2	23,1	94,0	NNE	1,1	1,1	23,8
30	26,8	31,6	22,0	82,0	NNE	3,5	7,8	0,0
31	26,7	31,8	22,7	90,0	NNE	2,7	5,7	0,0