EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

EDSON EIJI MATSURA

Orientador: Prof. Dr. RUBENS SCARDUA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1987

A meus pais
Chitochi e Satie
OFEREÇO

A minha esposa Marisa
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Rubens Scárdua, pela orientação, amizade e pelos ensinamentos no decorrer do curso e realização deste trabalho.

Ao pesquisador Flávio Arruda, pelas sugestões e orientação.

Ao professor Dr. Roberto Testezlaf, pelo apoio e participação neste trabalho.

Ao pesquisador Alberto Colombo, pelo gentil fornecimento dos dados dos aspersores utilizados neste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo para a realização do curso.

À técnica Grácia Aparecida Lopes, pela colaboração nos desenhos.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Engenharia Rural, que de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Coeficientes de Uniformidade	3
2.2. Modelos de Distribuição de Água do Aspersor ..	15
2.3. Eficiência de Irrigação	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. Dados dos Aspersores	34
3.2. Programa de Superposição dos Aspersores	40
3.3. Eficiência de Irrigação	43
3.3.1. Eficiência de aplicação	43
3.3.2. Eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição	48
3.3.3. Relação entre lâmina adimensional de água, eficiência de irrigação e coeficiente de uniformidade	49
3.4. Modelos de Distribuição de Água	52
3.4.1. Modelo linear	52
3.4.2. Modelo normal	54
3.4.3. Comparação entre os modelos linear e normal	57

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1. Coeficientes de Uniformidade	60
4.2. Curvas de Distribuição de Água dos Aspersores dos Dados Experimentais, da Regressão Linear e Normalizada	68
4.3. Comparação entre os Dados Experimentais e os Dados Lineares e Normalizados de Precipitações para Três Grupos de Coeficientes de Variação .	72
4.4. Realção entre Lâmina Adimensional ($y/\bar{y}$) e Coeficiente de Uniformidade	76
4.5. Lâmina Adicional de Irrigação e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen	86
5. CONCLUSÕES	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
7. APÊNDICE	98

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. Perfis geométricos de distribuição de água de aspersores	11
FIGURA 2. Relação entre coeficiente de uniformidade e a razão "R"	12
FIGURA 3. Relação entre (1-coeficiente de variação) x 100 e o coeficiente de uniformidade em porcentagem	12
FIGURA 4. Diagrama de distribuição acumulativa linear.	19
FIGURA 5. Curva de freqüência adimensional normalizada	20
FIGURA 6. Efeitos típicos de distribuições de água em uma cultura irrigada, não considerando o escoamento superficial	29
FIGURA 7. Razão efetiva de aplicação de água estimada em função da razão de evapotranspiração potencial, em duas condições de pulverização do jato e três condições de velocidade média do vento, durante o período de operação	30
FIGURA 8. Esquema teórico de distribuição de água na superfície e no interior do perfil de solo, sem escoamento superficial, na irrigação por aspersão	44

FIGURA 9. Relação entre as lâminas adimensionais $y/\bar{y}$ e área adequadamente irrigada (AAI)	49
FIGURA 10. Relação entre eficiência de irrigação e lâmina adicional de irrigação	51
FIGURA 11. Diagrama de distribuição de água linearizada	54
FIGURA 12. Distribuição normal padronizada	55
FIGURA 13. Curva de distribuição de água normal acumulada	57
FIGURA 14. Perfil de distribuição de água do aspersor A_1 para o espaçamento 24 x 24	59
FIGURA 15. Curvas da variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diversos espaçamentos e desvio padrão dos aspersores A_1 e A_2	66
FIGURA 16. Curvas da variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diversos espaçamentos e desvio padrão dos aspersores B_1 e B_2	67
FIGURA 17. Curvas de distribuição de água do aspersor A_1 para quatro valores de espaçamento	69
FIGURA 18. Relação entre lâmina adimensional ($y/\bar{y}$) e os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) dos aspersores A_1 e A_2	84

- FIGURA 19. Relação entre lâmina adimensional ($y/\bar{y}$) e os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) dos aspersores B_1 e B_2 85
- FIGURA 20. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor A_1 87
- FIGURA 21. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor A_2 88
- FIGURA 22. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor B_1 89
- FIGURA 23. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor B_2 90

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Dados de precipitação do ensaio do aspersor A_1	36
TABELA 2. Dados de precipitação do ensaio do aspersor A_2	37
TABELA 3. Dados de precipitação do ensaio do aspersor B_1	38
TABELA 4. Dados de precipitação do ensaio do aspersor B_2	39
TABELA 5. Dados de superposição dos aspersores para o espaçamento 24×24	41
TABELA 6. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_1 para diversas frações de área e espaçamento 24×24	60
TABELA 7. Dados dos coeficientes de uniformidade do aspersor A_1	62
TABELA 8. Dados dos coeficientes de uniformidade do aspersor A_2	63
TABELA 9. Dados dos coeficientes de uniformidade do aspersor B_1	64
TABELA 10. Dados dos coeficientes de uniformidade do aspersor B_2	65

TABELA 11. Equações de regressão linear obtidos a partir dos dados de lâmina adimensional (y) e fração de área (x) do aspersor A	70
TABELA 12. Equações de regressão linear obtidos a partir dos dados de lâmina adimensional (y) e fração de área (x) do aspersor B	71
TABELA 13. Comparação entre os dados experimentais e os dados lineares e normalizados para o grupo I de coeficiente de variação	74
TABELA 14. Comparação entre os dados experimentais e os dados lineares e normalizados para os grupos II e III de coeficiente de variação.	75
TABELA 15. Relação entre os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) e as lâminas adimensionais ($y/\bar{y}$) para diversas frações de área adequadamente irrigada das distribuições linear e normalizada do aspersor A	77
TABELA 16. Relação entre os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) e as lâminas adimensionais ($y/\bar{y}$) para diversas frações de área adequadamente irrigada das distribuições linear e normalizada do aspersor B	78

TABELA 17. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição linear dos valores de lâminas adimensionais e os valores de UD para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 ... 79

TABELA 18. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição normalizada dos valores de lâminas adimensionais e os valores de UD para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 ... 80

TABELA 19. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição normalizada dos valores de lâminas adimensionais e os valores de coeficiente de Christiansen para quatro valores de área adequadamente irrigada (AAI) dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 81

TABELA 20. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição linear dos valores de lâminas adimensionais e os valores CUC para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 82

EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Autor: EDSON EIJI MATSURA

Orientador: PROF. DR. RUBENS SCARDUA

RESUMO

O presente trabalho, teve como objetivo verificar as relações entre os coeficientes de uniformidade e a eficiência de irrigação à partir dos dados dos ensaios de aspersores. Foram utilizados dois modelos de aspersores, operando a duas pressões diferentes, à partir do qual, foram obtidas as distribuições das precipitações para treze espaçamentos, através de um programa de computador.

O programa baseou-se nos dados de um teste para cada aspersor, fornecendo os coeficientes de uniformidade de Christiansen, Wilcox, Hart, Benami e a Eficiência Padrão de Criddle.

Para o ajuste das curvas de distribuição de água dos aspersores, foram utilizados dois modelos matemáticos: o linear e o normal.

Relacionou-se através da regressão linear, os dados das lâminas adimensionais de diversas áreas adequadas

mente irrigadas com os dados de coeficiente de uniformidade de Christiansen e a Eficiência Padrão de Criddle.

Em função dos resultados, observou-se que o espaçamento mais adequado, pode ser determinado pelos valores dos coeficientes de uniformidade, excluindo aqueles onde encontram-se valores de precipitação nula.

Verificamos, que não houve diferenças significativas entre os modelos linear e normal, para os três grupos de coeficientes de variação.

A equação de regressão linear, relacionando a lâmina adimensional e os coeficientes de uniformidade de Christiansen e a Eficiência Padrão de Criddle, mostrou-se significativa.

E finalmente, que a eficiência de aplicação tem relação direta com o coeficiente de uniformidade de Christiansen e é inversamente proporcional à área adequadamente irrigada.

IRRIGATION EFFICIENCY AND WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY
IN SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM

Author: EDSON EIJI MATSURA

Adviser: DR. RUBENS SCARDUA

SUMMARY

This study had the scope to verify the relationship between uniformity coefficients and irrigation efficiency for sprinkler systems. It was evaluated the field pattern test data of two sprinkler types operating in two different pressures.

In order to simulate the distribution pattern of 13 chosen sprinkler spacings, a computer program was utilized to overlap the precipitation of each field test and estimate the uniformity coefficients of Christiansen, Wilcox, Hart, Benami, and Criddle Standard Efficiency.

The linear and normal models were fitted to the water distribution data. A linear regression was performed to relate the data of adimensional depths of land area adequately irrigated to the data of the Christiansen Uniformity Coefficient and the Criddle Standard Efficiency.

It was observed through the results that the

most adequate sprinkler spacing can be determined by the values of the uniformity coefficients excluding those values of null precipitation in the irrigated area.

Also was observed that there was no significant difference between the linear and the normal models for three groups of coefficient of variation.

The adimensional depths and the Christiansen Uniformity Coefficient and Standard Efficiency of Criddle showed significant linear relationship.

Finally, it was found that the application efficiency is linearly proportional to the Christiansen uniformity Coefficient and linearly inversely proportional to the adequately irrigated area.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão é tida como um dos melhores sistemas de aplicação de água em função da sua adaptabilidade e eficiência.

No Brasil, a área irrigada tem aumentado consideravelmente em função do uso crescente do método. Desta forma, diversos fabricantes produzem hoje uma quantidade de equipamentos de diversos tipos e qualidades.

Assim sendo, o irrigante tem à sua disposição diversos equipamentos, onde a escolha adequada do mesmo determinará o seu sucesso na aplicação de água e conseqüentemente um aumento de produção. Em sistemas de irrigação por aspersão, a principal forma de escolha e seleção do aspersor é realizada através de sua adequação ao espaçamento. Existem diversos critérios na seleção, um deles é a uniformidade de distribuição de água do aspersor para determinado espaçamento. Através dos coeficientes de uniformidades conhecemos a qualidade da distribuição de água do aspersor.

Existem hoje, órgãos oficiais de ensaios de aspersores para determinação dos coeficientes de uniformidade. Onde o objetivo é selecionar os aspersores de qualidade

a fim de que estes possam ser enquadrados dentro dos padrões aceitáveis pelas normas de qualidade observadas pela A.B.N.T. (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Dos coeficientes de uniformidade, o coeficiente de uniformidade de Christiansen é o mais utilizado na determinação da uniformidade de distribuição de água do aspersor. Onde um alto valor desse coeficiente é desejável, contribuindo para o aumento da eficiência de irrigação do sistema. O conhecimento do valor da eficiência de irrigação, possibilita a determinação da lâmina bruta de aplicação necessária para o dimensionamento do projeto de irrigação.

Assim sendo, é objetivo desse trabalho, relacionar o coeficiente de uniformidade do aspersor com a eficiência de irrigação do sistema, utilizando-se dois modelos de distribuição de água: linear e normal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Coeficientes de Uniformidade

HART (1961) esclarece que existem diversas formas e arranjos para obtenção da superposição de valores de precipitação. Uma delas é colocar os aspersores em determinado espaçamento a ser investigado. Neste caso, todos os aspersores são operados durante o teste de modo que a água lançada por eles na área em estudo, fosse incluída nos cálculos da distribuição. Outro método bastante utilizado, é aquele que trabalha um único aspersor com pluviômetros dispostos ao redor para coletar a água precipitada. Posteriormente, faz-se a simulação dos diversos espaçamentos, originando superposições, e, por meio do coeficiente de uniformidade, verifica-se qual deles é o melhor. Este método tem como principal vantagem, requerer menos tempo para realização do teste.

Chaudrhry *et alii* (1973) citados por SATTO (1978), realizaram ensaios no *campus* da Escola de Engenharia de São Carlos, com um único aspersor, e na Faculdade de Agronomia de Jaboticabal, com quatro aspersores. Concluíram que

os testes realizados com um único aspersor são os mais recomendados, pois através do uso do computador, podem ser gerados vários dados de precipitações superpostos, para cada espaçamento.

BRANSCHIED & HART (1968), realizaram vários testes em que foram utilizados treze aspersores em uma linha e um único aspersor, simultaneamente, e concluíram que o erro introduzido com único aspersor é menor que 0,5%.

SATTO (1978) baseando-se num programa de computador para superposição de precipitações a partir de um aspersor desenvolvido por HART (1963), estudou a relação entre diversos coeficientes de uniformidade.

GOMIDE (1978) & ARRUDA (1981) utilizaram um modelo de superposição de precipitações, de um único aspersor para diversos espaçamentos na determinação de uma equação para estimar o coeficiente de uniformidade de Christiansen em função da altura do tubo de elevação do aspersor, espaçamentos entre aspersores, do espaçamento entre linhas laterais, da pressão do bocal e da velocidade média do vento.

A uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão, é um importante parâmetro a ser determinado para se obter melhor eficiência de aplicação. Desta forma em 1932, CHRISTIANSEN (1937) estudou pela primeira vez a uniformidade de distribuição da água para aspersores rotativos. Onde seu principal objetivo foi deter-

minar o efeito do vento, da pressão, da velocidade de rotação e espaçamentos entre aspersores na distribuição de água. Nove anos depois, CHRISTIANSEN (1941) quantificou a distribuição de água através do parâmetro coeficiente de uniformidade dado pela fórmula:

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right] 100 (\%)$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen;

x_i = precipitação obtida do pluviômetro de ordem i ;

$\bar{x}$ = média geral das precipitações;

n = número de observações.

Esse coeficiente é mundialmente conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e, como pode ser observado, trabalha com os desvios absolutos em relação à média.

Anteriormente a Christiansen, Straebner (1931), citado por SATTO (1978) já havia realizado teste com aspersores, mas sua apresentação foi tão somente verificar quais eram as precipitações máximas e mínimas que ocorriam na distribuição em forma de circunferências concêntricas, sob o efeito de um único aspersor.

WILCOX & SWAILES (1947), e WILCOX & MCDUGALD

(1955), desenvolveram um parâmetro conhecido como coeficiente de Wilcox e Swailes, ou Coeficiente Estatístico de Uniformidade, segundo a expressão:

$$CWS = (1 - cv) \times 100 (\%)$$

onde:

CWS = coeficiente estatístico de uniformidade

cv = coeficiente de variação, definido por:

$cv = 100 \times s/\bar{X}$, onde s = desvio padrão dos dados de precipitação e $\bar{X}$ = precipitação média.

Até agora, verificamos que os parâmetros de uniformidade não tem nenhuma preocupação especial com o que se refere às intensidades de precipitações mais baixas e mais altas que ocorrem em uma distribuição. E segundo DAVIS (1966), o coeficiente de uniformidade estudado por Wilcox-Swaile, é um método de limitada aplicação pela dificuldade em determinar sua validade por meio de métodos estatísticos. Contudo, tem sido usado nas análises de distribuição de água.

Sabe-se que no crescimento e desenvolvimento das plantas, tanto a falta, quanto o excesso de água são prejudiciais. Preocupados com este fato, Criddle *et alii* (1956), citados por SATTO (1978), determinaram um parâmetro que levasse em conta os valores mais baixos, através de Eficiência Padrão de Criddle (EPC):

$$EPC = \frac{X^*}{\bar{X}} \cdot 100 (\%)$$

onde:

X^* = média dos 25% de precipitação mais baixas;

$\bar{X}$ = média geral das observações.

BEALE & HOWELL (1966), propuseram outro coeficiente conhecido por Eficiência Padrão de Beale (EPB), dado por:

$$EPB = \left(2 - \frac{X_B}{\bar{X}} \right) \cdot 100 (\%)$$

onde:

X_B = média das 25% de precipitações mais altas;

$\bar{X}$ = média geral das precipitações.

HART (1961) supôs que a distribuição de água fosse normal. Partindo desse ponto de vista, ele chegou à conclusão de que os coeficientes de Christiansen e de Criddle podem ser obtidos respectivamente, pelas funções:

$$CUC = (1 - 0,798 \cdot S/\bar{X}) \cdot 100 (\%) \text{ e}$$

$$EPC = (1 - 1,27 \cdot S/\bar{X}) \cdot 100 (\%)$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, considerando a distribuição normal;

EPC = eficiência padrão de Criddle, considerando a distribuição normal.

BENAMI & HORE (1964) teceram críticas ao coeficiente de Christiansen e mostraram que esse coeficiente pode indicar que duas distribuições são iguais quando na realidade não o são. Isto porque, o CUC trabalha com o desvio absoluto em relação à média. Assim, esses autores apresentaram um outro coeficiente que leva em consideração os desvios médios em relação à média dos grupos de precipitações, acima e abaixo da média geral. Portanto, temos:

$$A = \frac{M_b - \frac{\sum_{i=1}^{N_b} |X_i - M_b|}{N_b}}{M_a + \frac{\sum_{i=N_{b1}}^N |X_i - M_a|}{N_a}}$$

onde:

A = coeficiente de Benami;

M_a e M_b são respectivamente, médias dos grupos acima e abaixo da média geral;

N_a e N_b são respectivamente, números de valores de precipitações acima e abaixo da média geral;

$$N_{b1} = N_b + 1;$$

$$\sum_{i=N_{b1}}^N |X_i - M_a| \text{ e } \sum_{i=1}^{N_b} |X_i - M_b|, \text{ são respecti-}$$

vamente, as somas dos desvios absolutos das precipitações acima e abaixo da média geral.

CHRISTIANSEN (1965) fez um comentário sobre a aplicação do seu coeficiente, onde coloca que a principal vantagem está na sua simplicidade de cálculo, onde fornece uma relativa informação da distribuição, e que pode ser mais facilmente determinado do que o coeficiente de variação (CV). Esclarece ainda, que o coeficiente não pode ser utilizado diretamente como índice de eficiência de aplicação, pois existem outros fatores que influenciam na sua determinação,

Dabbous citado por CHRISTIANSEN (1965), estudou quarenta perfis de distribuição de água e pôde perceber as seguintes relações:

$$CEU = -0,25 + 1,25 \cdot CUC$$

$$EPC = -0,45 + 1,45 \cdot CUC$$

onde:

CEU = coeficiente estatístico de uniformidade;

EPC = eficiência padrão de Criddle;

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen.

O autor separou três perfis de distribuição conforme a Figura 1 e relacionou com uma razão A/a , ou seja, A a área determinada pelos espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, e a é a área coberta pelo aspersor.

Observou que para obtenção de coeficientes de uniformidade acima de 80%, devemos observar as seguintes igualdades:

Perfil A $A/a \leq 0,40$

Perfil B $A/a \leq 0,45$

Perfil C $A/a \leq 0,30$

ou ainda, utilizando uma relação entre o espaçamento entre laterais (EL) pelo diâmetro de alcance do aspersor (D) onde os valores da razão EL/D não devem exceder aos valores:

Perfil A $EL/D \leq 0,70$

Perfil B $EL/D \leq 0,65$

Perfil C $EL/D \leq 0,75$.

HOWELL (1964) relacionou a não uniformidade de aplicação de água com a eficiência de aplicação, através da ajuda de exemplos numéricos, determinou um fator de eficiência de aplicação (E'A), considerando uma taxa média de aplicação e o coeficiente de Christiansen. Observou que a assimetria da distribuição tem influência no fator de eficiência de aplicação. E matematicamente demonstrou que quando a quantidade mínima de água aplicada for igual à média, temos que:

$$E'A = 1/2 \cdot (1 + CUC) \cdot 100 (\%).$$

FIGURA 1. Perfis geométricos de distribuição de água de aspersores.

CULVER & SINKER (1966), sugerem o uso do coeficiente de variação (CV) em função da não sensibilidade do coeficiente de Christiansen na representação da variação da distribuição de água. O autor utilizou 105 distribuições e demonstrou que existe uma relação linear entre o coeficiente de variação e o coeficiente de uniformidade proposto por Christiansen (Figura 3). Relacionou ainda uma razão R , ou seja, o cociente entre a precipitação máxima e mínima da distribuição com o coeficiente de uniformidade e verificou que a razão R

cresce rapidamente quando o coeficiente de uniformidade a-
proxima de 75%. Isto pode ser observado através da Figura 2.

FIGURA 2. Relação entre Coeficiente de Uniformidade e a ra-
zão "R".

FIGURA 3. Relação entre $(1 - \text{Coeficiente de Variação}) \times 100$ e
o Coeficiente de uniformidade em porcentagem.

BEALE & HOWELL (1966) relacionaram todos os coeficientes de uniformidades, plotando os valores normalizados das precipitações em gráficos, e perceberam que a maioria dos coeficientes estão relacionados linearmente e que existe influência da assimetria para alguns casos, proporcionando assim, erros de ajuste nas relações.

Diversos autores como HART (1961, 1963); HART & REYNOLDS (1965); BRANSCHIED & HART (1968) e ALLISON & HESSE (1969), verificaram que quando o modelo de distribuição obedece uma função Gaussiana, o coeficiente de uniformidade pode ser expresso pela seguinte equação:

$$CUC = 1 - \left[0,798 \cdot \frac{s}{\bar{X}} \right]$$

onde:

$$\frac{s}{\bar{X}} = \text{coeficiente de variação.}$$

A expressão tem um significado físico, isto é, a área da curva normal tomada entre os valores de CUC multiplicado por $\bar{X}$ a $+\infty$, representa 79% do total da área com valores da distribuição igual ou maior ao produto de CUC por $\bar{X}$.

Da mesma forma, HART (1961) observou que o coeficiente padrão de Criddle, sob a hipótese de que as observações são normalmente distribuídas, é expresso:

$$EPC = 1 - \left[1,27 \cdot \frac{s}{\bar{X}} \right]$$

onde:

$(\bar{X} - 1,27) \cdot s$, indica que neste ponto, 10% das observações são menores que a média dos 25% de precipitações mais baixas e 90% estão acima.

SENINWONGSE *et alii* (1972) preocupados com a influência dos efeitos da curtose e assimetria da distribuição de água na determinação dos coeficientes de uniformidade utilizaram 156 testes de aspersores variando o espaçamento, chegaram às seguintes conclusões:

- Para coeficientes de uniformidade de Christiansen maiores que 80%, os dados de distribuição do aspersor podem ser normalmente distribuídos;

- A partir de coeficientes de uniformidades inferiores a 70%, é necessário verificar a influência de assimetria e curtose;

- Valores de assimetria para coeficientes de uniformidades menores que 40% são largamente positivos;

- A maioria das distribuições com coeficientes entre 40% e 70% são negativamente assimétricos;

- Em geral, os valores de curtose aproximam-se de três para coeficientes de uniformidades altos.

Recentemente CHAUDHRY (1976) determinou a relação entre a assimetria e os coeficientes CUC e EPC. O es-

tudo mostrou que a conversão de um coeficiente em outro, deve ser condicionado pelo grau de assimetria utilizando as seguintes expressões:

$$CUC = 1 - \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Cs^2}{48}} \cdot CV \quad e$$

$$EPC = 1 - \frac{1,27}{1 + 0,175 \cdot Cs^{1,5}} \cdot CV$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, considerando a distribuição normal;

EPC = eficiência padrão de Criddle, considerando a distribuição normal;

Cs = coeficiente de assimetria;

CV = coeficiente de variação.

2.2. Modelos de Distribuição de Água do Aspersor

Segundo CHRISTIANSEN (1942) os aspersores distribuem água em áreas circulares, não sendo possível obter uma aplicação com absoluta uniformidade. O grau de uniformidade vai depender 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.

CHAUDHRY (1976) refere as medidas de uniformidade de irrigação por aspersão, como coeficiente de uniformidade de Christiansen, coeficiente de Wilcox-Swales e eficiência padrão, podendo ser relacionadas mutuamente, supondo que as precipitações tem distribuição normal. O autor estabelece relações entre os coeficientes de uniformidade, utilizando a distribuição gama simétrica.

Jensen *et alii* (1967) citado por ROSENFELD *et alii* (1980), estabelece que quando o modelo de distribuição de um sistema de irrigação é conhecido, este pode ser utilizado para avaliar a adequação de uma irrigação, ou providenciar um valor numérico que pode ser utilizado para ajustar a duração de uma irrigação, a fim de obter a lâmina desejada. Para garantir que a área selecionada receba uma irrigação sem deficiência, deve-se dividir a lâmina média necessária, pelo coeficiente de distribuição. Por razões econômicas, parte da área pode ficar subirrigada e o restante irrigada adequadamente.

A não uniformidade de distribuição de água sobre uma área irrigada, é um dos fatores básicos para avaliar a qualidade da irrigação. Para definir relações entre a altura de água infiltrada e produção, para zonas áridas úmidas e subúmidas, VARLEV (1976) define um coeficiente, caracterizando a variação e redução na produção devido à desuniformidade de distribuição de água de irrigação.

CHAUDHRY (1978) apresenta relações entre efi-

ciência de aplicação, propriedades estatísticas do modelo de distribuição de água e altura média de aplicação. Essas relações foram desenvolvidas considerando que a altura de aplicação observa distribuição gama quando assimetricamente distribuída, e normal nos casos de simetria.

KARMELI (1978) estudou os modelos de distribuição da água pelos aspersores, usando o método da regressão linear. Para o referido teste, foram escolhidos dezoito aspersores, operando em condições variáveis de pressão e velocidade do vento, chegando às seguintes conclusões:

- A regressão linear é um método preciso para descrever o perfil de distribuição de água dos aspersores. A sua precisão, com os dados atuais de campo, aumenta com o número de amostras testadas. Esta regressão possibilita uma estimativa adequada tanto para altos como para baixos valores de uniformidades de distribuição;

- Para boas uniformidades de distribuição, a regressão linear estimou os dados atuais de campo tão bem quanto os modelos normais. Entretanto, para baixas uniformidades de distribuição, ou seja, o coeficiente de uniformidade de Christiansen inferior a 55%, a regressão linear demonstra melhor significância do que o modelo normal, em suas estimativas;

- Determinou um coeficiente de uniformidade (CUL) em função da regressão linear determinado através da expressão:

$$CUL = 1 - 0,25 \cdot b$$

onde:

b = coeficiente da regressão linear.

Karmeli & Peri, citados por NORUM *et alii* (1979), usaram dados de campo e análises teóricas para mostrar que a função de distribuição acumulativa e distribuição linear são absolutamente precisas para descrever a distribuição acumulativa de água para a maioria dos sistemas de aspersão. A equação geral de distribuição acumulativa é representada por:

$$Y = f + g \cdot a^b$$

onde:

Y = precipitação adimensional;

f = precipitação máxima adimensional;

$g = (Y_{\max} - Y_{\min})$;

a = fração da área irrigada adimensional;

$$b = \frac{1 - Y_{\min}}{Y_{\max} - 1}.$$

Karmeli *et alii*, citado por WALKER (1980) propõe o modelo linear quando o valor de b é próximo de 1. Assim, a regressão linear fica representada por:

$$Y = A + B \cdot x$$

onde:

Y = precipitação adimensional

x = fração da área irrigada;

A, B = coeficientes da regressão linear.

A Figura 4 ilustra a distribuição linear acumulativa.

FIGURA 4. Diagrama de distribuição acumulativa linear.

WALKER (1979, 1980) propõe o uso do modelo de distribuição desenvolvido por HART (1961) através da distribuição normal. Onde a partir da padronização dos dados de precipitação do aspersor, obtém-se um diagrama de frequência de distribuição acumulada e normalizada. Através do diagrama determina-se as relações e parâmetros de eficiência, tais como: eficiência de aplicação, eficiência de armazenamento e volume de deficits. Segundo o autor, esse modelo é mais apropriado para baixos valores de coeficientes de variação da distribuição. A Figura 5 ilustra uma distribuição normalizada.

Figura 5. Curva de frequência adimensional normalizada.

2.3. Eficiência de Irrigação

ISRAELSEN (1952) define eficiência de irrigação como a razão de água consumida pelas plantas num campo irrigado em relação à água derivada de um rio, ou outra fonte de recurso ou através de canais de irrigação do projeto.

Esta citação, segundo WILLARDSON (1972), talvez seja a mais antiga e precisa definição de eficiência de irrigação, onde existem no mínimo vinte expressões correntes para defini-la. Para que não haja nenhum equívoco, o termo deve ser utilizado e explicitado no equacionamento de cada sistema ou projeto de irrigação. Para obtenção de altos valores de eficiência de irrigação, devemos levar em conta a uniformidade de aplicação para qualquer tipo de irrigação, onde este influi na limitação da quantidade de água a ser aplicada e armazenada na zona radicular.

JENSEN (1967) definiu eficiência de irrigação como a razão do volume de água de irrigação utilizada pela planta na transpiração, evaporação da superfície do solo e da planta, mais uma quantidade necessária para regular a concentração de sais no solo e água para estrutura da planta, para o total do volume de água derivada, estocada, ou armazenada para irrigação.

ABID (1978) define a eficiência de irrigação como a razão ou percentagem entre a água de irrigação consumida pelas culturas de uma fazenda irrigada de um campo, ou

de um aproveitamento e a água desviada da fonte de abastecimento. Quando medida na comporta de tomada de água da fazenda, é denominada "eficiência da irrigação da fazenda", quando medida no campo ou na parcela, é denominada "eficiência de irrigação no campo ou na parcela", e, quando medida na fonte de abastecimento, é denominada "rendimento global da irrigação".

GUROVICH (1985) determina a eficiência de utilização (EU) como resultante da interação de eficiências de três condições de aplicação de água durante a irrigação, de acordo com a expressão:

$$EU = E_{ap} \times E_{ar} \times E_d$$

onde:

EU = eficiência de utilização ou eficiência agronômica;

E_{ap} = eficiência de aplicação;

E_{ar} = eficiência de armazenamento;

E_d = eficiência de uniformidade.

Esta definição de EU é somente válida a nível de área irrigada, sem levar em consideração as perdas de água durante a condução em canais e nem a reutilização ou recuperação das águas provindas de outros campos irrigados. A eficiência de aplicação (E_{ap}) é a relação que existe entre a água de entrada no campo de irrigação e a água que efetiva-

mente foi retida na zona radicular, de acordo com a expressão:

$$E_{ap} = \frac{V_{\text{entrada}} - V_{\text{saída}}}{V_{\text{entrada}}} .$$

Esta eficiência é normalmente definida com base em volume (V) de água. A eficiência de armazenamento (E_{ar}) se define como a relação entre a água armazenada no perfil do solo em função da irrigação e a água necessária para elevar este mesmo perfil, a uma unidade na "capacidade de campo" em toda a profundidade da zona radicular, de acordo com a expressão:

$$E_{ar} = \frac{\text{volume armazenado no perfil do solo}}{\text{volume necessário para a capacidade de campo}} .$$

O último componente é eficiência de uniformidade (E_d), definida como a relação entre lâmina média aplicada durante a irrigação, e os desvios das lâminas em relação à média para um número de observações coletadas, sendo calculada pela seguinte expressão:

$$E_d = 1,0 - \frac{\sum |x|}{n \cdot M}$$

onde:

$\sum |x|$ = soma dos desvios absolutos em relação

às observações individuais com a lâmina média irrigada $\bar{M}$, e $\bar{n}$ é número de observações.

BOS (1979) recomenda o uso das normas da terminologia padrão, fornecidas pelo ICID (International Commission the Irrigation and Drainage). Define uma eficiência de irrigação global ou eficiência do projeto pela expressão:

$$E_p = E_c \cdot E_d \cdot EA$$

onde:

E_p = eficiência global do projeto;

E_c = eficiência de condução do canal ou do sistema de transporte;

E_d = eficiência de distribuição;

EA = eficiência de aplicação.

Observamos que a expressão explicita os produtos das eficiências, resultando a eficiência global, incluindo também a eficiência de aplicação (EA), que depende do método de irrigação.

Em função da existência de formas generalizadas de definições, utilizadas para expressar eficiência de irrigação o ICID (1978) descreve a eficiência de irrigação (E_i) como sendo:

$$E_i = \frac{\text{altura de água benéficamente utilizada}}{\text{altura média de água aplicada}} .$$

Observando que E_i é um termo geral, do qual podemos explicitar a forma como quantificar a água benéficamente utilizada através do conceito de "Soil Moisture Deficit (SMD)", ou seja, quantidade de água necessária para elevar a umidade atual do solo à capacidade de campo num determinado tempo, na zona radicular.

Definindo a eficiência de aplicação (EA) como a razão entre a altura média de água armazenada na zona radicular, pela altura média de água aplicada. AEA nos dá uma indicação da não adequacidade ou uniformidade de irrigação.

A EA pode ser determinada também pela quantidade média de água da quarta parte (25%) menos irrigada, infiltrada e armazenada na zona radicular, pela altura média de água aplicada, para um uso mais criterioso e rigoroso de uniformidade.

HOWELL (1964) estudando a distribuição de água de aspersores através de exemplos numéricos, concluiu que a desuniformidade de aplicação de água pode interferir ou afetar diretamente na eficiência de aplicação. Desta forma, determinou um fator de coeficiente de aplicação ($E'A$) e que pode ser expresso pela seguinte equação:

$$E'A = \frac{1}{r} - \frac{\sum d}{\sum p}$$

onde:

r = razão da altura média de aplicação de água;

Σd = somatória dos *deficits* calculado em função da altura média de água;

Σp = somatória das alturas de água aplicada na área.

Verificou ainda, que não apenas o coeficiente de Christiansen (1942) interfere na eficiência de aplicação, mas também a razão da altura média de água aplicada e a simetria da distribuição da água do aspersor.

Segundo KARMELI (1978) dois dos mais usados e discutidos parâmetros para descrever eficiência de irrigação são: eficiência de aplicação (EA) e eficiência espacial de distribuição de água (E_d) descrito pelas equações:

$$EA = \frac{(D \times A)}{V} \times 100$$

onde:

D = altura de água disponível para as plantas durante a irrigação;

A = total da área irrigada;

V = volume total de água aplicada durante a irrigação.

$$E_d = \frac{(1 - \overline{\Delta D})}{\overline{D}} \times 100$$

onde:

$\bar{D}$ = altura média de água aplicada;

$\overline{\Delta D}$ = desvio médio da lâmina armazenada.

As duas formas de eficiência são influenciadas pela distribuição de água do aspersor, podendo caracterizar sistemas de irrigação conjuntamente com parâmetros de performance (deficiência de umidade e perdas por percolação profunda).

Segundo KELLER (1980) a eficiência de aplicação (EA) é o termo mais utilizado na definição da eficiência de irrigação em sistemas de irrigação por aspersão. É definida pela razão entre a altura da lâmina média de água armazenada na zona radicular para uma altura média de água aplicada. A EA somente nos fornece uma indicação das perdas, isto porque ela meramente mostra a fração da água aplicada que é armazenada na zona radicular, que é potencialmente utilizada para evaporação e transpiração. Deste modo, ela não é um bom indicador da adequacidade da irrigação, podendo através de uma subirrigação atingir valores até 100%.

HANSEN (1960) ilustra bem este fato através da Figura 6, onde notamos que a eficiência de aplicação (EA) atinge valores baixos (Figura 6c) com perdas por percolação profunda e valores altos com deficiência de umidade na zona radicular (Figuras 6a e 6b). Neste trabalho, o autor verificou que podemos determinar uma eficiência de distribuição (E_d) utilizando o valor do coeficiente de Christiansen (CUC),

desta forma temos:

$$E_d = 100 \cdot \left(1 - \frac{y}{d}\right)$$

onde:

E_d = eficiência de distribuição de água ou
coeficiente de Christiansen (%);

y = desvio médio da altura de água armazenada;

d = altura média de água armazenada.

KELLER (1980) e SCALOPPI (1984) sugerem algumas formas de estimar a eficiência de aplicação (EA) através do uso de coeficientes de uniformidade. Desta forma, apresentam duas expressões:

$$E_q = UD \times RE \quad (1)$$

$$E_h = CUC \times RE \quad (2)$$

onde:

E_q = eficiência de aplicação determinado através do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (UD) ou Eficiência Padrão de Criddle;

E_h = eficiência de aplicação determinado através do Coeficiente de Christiansen (CUC);

RE = razão efetiva de aplicação de água, que pode ser determinado conforma a figura 7 ou ainda estimada através da expressão:

$$RE = \frac{\text{altura média de água coletada}}{\text{altura média de água aplicada}}$$

FIGURA 6. Efeitos típicos de distribuições de água em uma cultura irrigada, não considerando o escoamento superficial.

FIGURA 7. Razão efetiva de aplicação de água estimada em função da razão de evapotranspiração potencial, em duas condições de pulverização do jato e três condições de velocidade média do vento durante o período de operação.

Os autores observaram que a eficiência E_q e E_h são utilizadas respectivamente para estimar a eficiência de aplicação em culturas de elevado valor e médio valor econômico, onde os valores de E_q e E_h garantem respectivamente 90% e 80% aproximadamente, de área adequadamente irrigada na determinação da lâmina bruta.

CHRISTIANSEN & DAVIS (1976) e DAKER (1976), concluíram que a eficiência de aplicação depende das perdas por evaporação devido à temperatura, umidade relativa do ar, vento e tamanho de gotas dispersas no ar. Estas perdas podem ser estimadas entre 2% e 8% da vazão total do aspersor. Para os sistemas de irrigação por aspersão bem dimensionados, a eficiência de aplicação aproxima-se de 85%, podendo ultrapassar esses limites, se o sistema funcionar à noite e com ventos calmos. Normalmente a eficiência de aplicação varia entre 70 a 80%.

Pair (1969) citado por ARRUDA (1981) afirma que a eficiência total de aplicação de água pelos aspersores varia de 70%, em regiões quentes e úmidas, a 80% em regiões úmidas e frias. Os fatores que afetam direta ou indiretamente esta eficiência são: tamanho das gotas de água, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e intensidade da aplicação do aspersor. A correta instalação, seleção e operação do aspersor é que vai determinar a eficiência do sistema, permitindo uma boa uniformidade na distribuição da água.

Dylla & Shull (1975) citados por GOMIDE (1978) estudaram um método para estimar as perdas por percolação na irrigação por aspersão que se baseou no total de água aplicada sobre determinada área, no *deficit* de umidade do solo e no coeficiente de uniformidade da distribuição de água. Recomendam que não constitui boa prática, deixar o solo na sua capacidade máxima de armazenamento de água após uma irrigação, pois pode ocorrer uma chuva e haver grandes perdas de água e fertilizantes (percolação e lixiviação).

Lopez (1975) citado por GOMIDE (1978) menciona que o fenômeno climático de consideração mais importante na aspersão é o vento, devendo-se ter por um lado, uma idéia aproximada de sua velocidade, que desempenha um papel significativo na eficiência de aplicação e, por outro lado, de sua direção, que deve ser levada em conta nas disposições das tubulações.

Segundo SCALOPPI (1984) a atribuição de um valor de eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão, para determinar a quantidade de água a ser aplicada, depende da uniformidade de distribuição de água dos aspersores, do valor econômico da cultura irrigada e o da importância da água de irrigação para a produção vegetal.

Os diferentes critérios utilizados para determinação do valor de eficiência de aplicação a ser adotado na determinação da quantidade de água a ser aplicada, nor-

malmente referida como lâmina bruta, devem ser baseados na distribuição espacial da água na área irrigada e na relação entre a quantidade de água requerida, geralmente expressa como lâmina líquida ou requerida, e a quantidade média coletada. Desta forma, o autor propõem e sugere algumas recomendações:

- Define a Eficiência de Distribuição de Água (E_d) como a relação entre a quantidade de água armazenada na zona radicular efetiva da cultura e a quantidade de água infiltrada, ou coletada (índice de eficiência proposto para avaliar a grandeza das perdas por percolação profunda em sistemas de irrigação por aspersão);

- Através dos dados de lâminas sobrepostas, determina-se as lâminas coletadas em relação à lâmina média coletada. Em seguida, determina-se os valores de EA correspondentes a diferentes valores de lâminas requeridas adimensionais, colocando o resultado em um gráfico. De posse desse gráfico é possível determinar o valor da lâmina bruta a ser aplicada;

- De uma maneira geral, o valor da razão efetiva de aplicação (RE) varia entre 0,90 e 0,98, assumindo um valor médio de 0,95.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dados dos Aspersores

Os dados dos aspersores utilizados no trabalho, foram fornecidos pelo CENEA (Centro Nacional de Engenharia Agrícola).

A obtenção da planilha dos dados de precipitação dos aspersores foram determinados através dos ensaios dos aspersores, segundo a norma NBR 8989 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Esta norma prescreve o método para obtenção e apresentação de dados característicos da distribuição de água de aspersores para irrigação. Foram utilizados no trabalho dois modelos de aspersores, conforme as características abaixo:

1º modelo de aspersor (A)

- fabricante: Asbrasil
- modelo: ZN-24
- bocal: 14 mm de diâmetro.

2º modelo de aspersor (B)

- fabricante: Samoto

- modelo: AJ-38
- bocal: 12,7 x 6,3 mm de diâmetro.

Para os dois tipos de modelos foram utilizados os seguintes dados:

Aspersor A

pressão na base: 300 KPa
 A_1 vazão do aspersor: 15,0 m³/h
vento médio: 0,36 km/h.

pressão na base: 500 KPa
 A_2 vazão do aspersor: 19,0 m³/h
vento médio: 0,4 km/h.

Aspersor B

pressão na base: 700 KPa
 B_1 vazão do aspersor: 17,4 m³/h
vento médio: 1,6 km/h.

pressão na base: 400 KPa
 B_2 vazão do aspersor: 13,2 m³/h
vento médio: 0,4 km/h.

Para cada condição de pressão dos aspersores A e B, foram utilizados os dados das Tabelas 1, 2, 3 e 4.

TABELA 3. Dados de precipitação do Ensaio do Aspersor B₁.

Fabricante: SAMOTO									
Modelo: AJ-38									
Bocal: 12,7 x 6,3 mm									
Pressão na base: 700 KPa									
Vazão do aspersor: 17,4 m ³ /h									
Vento médio: 1,6 km/h									
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	4,58	4,46	3,82	1,02
0,00	0,00	0,00	4,46	8,02	7,38	6,49	6,62	4,71	4,07
0,00	0,00	3,69	7,64	7,00	4,84	4,46	4,84	5,47	5,09
0,00	0,25	5,98	8,91	5,98	4,20	3,57	3,95	4,58	5,47
0,00	1,27	7,89	8,15	5,09	7,77	7,26	3,06	4,07	5,22
0,00	1,53	7,89	7,51	4,46	7,64	8,28	3,57	3,95	6,24
0,00	0,51	6,75	8,79	6,37	4,84	4,20	4,71	5,35	6,75
0,00	0,00	3,06	8,28	8,02	7,26	7,00	7,51	8,02	8,02
0,00	0,00	0,00	4,20	7,26	9,29	9,42	8,79	7,89	2,55
0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	2,93	3,44	2,29	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Espaçamento entre coletores: 6 x 6 m Lâmina total coletada: 434,94 mm
 Diâmetro do coletor: 100 mm Lâmina média coletada: 5,24 mm
 Tempo do ensaio: 1,0 hora

3.2. Programa de Superposição de Aspersores

Para determinação dos valores de precipitações dos aspersores para os espaçamentos, variando de 24×24 a 60×60 num total de treze espaçamentos, foi utilizado um programa de superposição desenvolvido pelo CENEA (Centro Nacional de Engenharia Agrícola).

O programa baseia-se nos dados de um único aspersor, onde este considera na superposição a água aplicada por até dezesseis aspersores, definido pelo raio de alcance e o espaçamento entre aspersores.

Em função dos espaçamentos dos aspersores e a distância entre os coletores, determina-se o número de coletores abrangidos pelos espaçamentos entre os aspersores ao longo da linha lateral e o espaçamento entre linhas laterais.

Por exemplo, adotando-se um espaçamento de 24×24 (Tabela 5) para os aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 , tem-se:

TABELA 5. Dados de superposição dos aspersores para espaçamento 24 x 24.

		Precipitação (mm)			
A ₁		24,96	18,84	16,13	26,74
		18,25	17,40	17,23	15,53
		17,57	17,66	22,15	17,15
		24,02	17,49	16,64	24,70
A ₂		36,84	24,79	24,45	35,99
		23,60	15,45	18,25	25,04
		24,96	16,89	18,93	25,97
		35,31	25,46	26,31	35,82
B ₁		32,21	24,96	22,03	29,79
		28,27	25,97	24,19	22,03
		24,96	28,65	26,61	25,21
		34,38	28,39	26,61	30,69
B ₂		21,52	21,14	21,14	22,28
		21,65	21,90	22,15	19,61
		20,75	21,65	22,28	19,86
		21,39	19,99	24,83	23,05

Observou-se que para o espaçamento 24 x 24 foram gerados dezesseis valores de precipitação, resultante da superposição dos coletores espaçados de seis metros e que

deu origem a uma matriz de quatro colunas e quatro linhas.

Desta forma, foram obtidos todos os valores de precipitação para os treze espaçamentos e aspersores conforme o Apêndice I.

Foram introduzidos no programa algumas modificações que nos permitiram determinar os valores de precipitação para espaçamentos de aspersores a partir de seis metros e com espaçamentos dos coletores de três ou seis metros. Pode-se ainda determinar os valores de precipitação para qualquer tempo de irrigação ou ensaio do aspersor.

Através dos dados de precipitação para os diversos espaçamentos, foram determinados pelo programa os coeficientes de uniformidade: coeficiente de Christiansen, coeficiente de Wilcox, coeficiente de Hart, coeficiente de Benami e eficiência padrão de Criddle.

Para determinação das curvas de distribuição de água dos aspersores, o programa agrupa os dados de precipitação de tal forma que para cada fração da área acumulada corresponde uma lâmina de precipitação de valor igual ou menor àquela observada no ponto em questão. Portanto, os dados de precipitação são colocados em ordem decrescente e de forma adimensional, com o seu correspondente da área adimensional. Na determinação da curva de distribuição normal, os dados são normalizados, obtendo-se assim os pares de valores da distribuição normalizada e linearizada.

3.3. Eficiência de Irrigação

3.3.1. Eficiência de aplicação

Como vimos pela revisão, existem diversas formas para a determinação da eficiência de irrigação. Os pesquisadores GUROVICH (1985) e BOS (1979), determinaram a eficiência de irrigação como o produto de diversas eficiências, onde a eficiência de aplicação (EA), segundo KELLER (1980) e SCALOPPI (1984), é o termo mais utilizado para explicar a eficiências de irrigação por aspersão.

Desta forma, neste trabalho utilizamos a eficiência de aplicação, calculada em função da expressão:

$$EA = \frac{\text{água armazenada na zona radicular efetiva}}{\text{água aplicada}} ;$$

A expressão acima pode ser descrita conforme a Figura 8, onde obtemos as seguintes relações:

$$EA = \frac{\text{água armazenada na zona radicular efetiva}}{\text{água aplicada}} = \frac{A_3}{A}$$

$$EA = \frac{A_3}{A} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (1)$$

Multiplicando o numerador e o denominador da equação (1) por $(A_3 + A_2)$, temos:

$$EA = \frac{A_3}{(A_3 + A_2)} \cdot \frac{(A_3 + A_2)}{(A_1 + A_2 + A_3)} \quad (2)$$

onde:

a razão que mede a água armazenada na zona radicular efetiva em relação à água infiltrada ou coletada $(A_3 + A_2)$ pode ser expressa pela fração:

$$\frac{A_3}{(A_3 + A_2)} \quad (3)$$

FIGURA 8. Esquema teórico de distribuição de água na superfície e no interior do perfil de solo, sem escoamento superficial na irrigação por aspersão.

- A fração da água percolada em relação à água infiltrada ou coletada, pode ser expressa por:

$$1 - \frac{A_3}{A_3 + A_2} \quad (4)$$

- A razão que mede a água infiltrada ou coletada em relação ao total de água aplicada, pode ser expressa por:

$$\frac{A_3 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (5)$$

- A fração da água evaporada ao total de água aplicada, pode ser expressa por:

$$1 - \frac{A_3 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (6)$$

Verificamos que a equação (2) expressa a eficiência de aplicação através das frações de perdas por percolação e evaporação. Portanto, temos que:

$$\begin{aligned} EA &= \frac{A_3}{A_3 + A_2} \cdot \frac{A_3 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3} = \\ &= \frac{\text{água armazenada}}{\text{água coletada ou infiltrada}} \cdot \frac{\text{água coletada ou infiltrada}}{\text{água aplicada}} = \end{aligned}$$

$$= \frac{\text{lâmina requerida}}{\text{lâmina média coletada}} \cdot \frac{\text{lâmina média coletada}}{\text{lâmina média aplicada}} = \frac{y}{\bar{y}} \cdot \frac{\bar{y}}{H_m} \quad (7)$$

onde:

$y/\bar{y}$ = lâmina adimensional;

$\bar{y}/H_m$ = razão efetiva de aplicação de água, que estima as perdas por evaporação (RE).

Para quantificar as perdas por evaporação, KELLER (1979); SCALOPPI (1984) e BERNARDO (1982) determinaram uma relação denominada razão efetiva de aplicação de água (RE), que pode ser estimada através da seguinte expressão:

$$RE = \bar{y}/H_m \quad (8)$$

onde:

RE = razão efetiva de aplicação de água;

$\bar{y}$ = lâmina média coletada ou infiltrada (mm);

H_m = lâmina média aplicada (mm).

O valor de $\bar{y}$ é calculado pela média aritmética dos dados de precipitação, ou seja:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

onde:

y_i = lâmina de água ou precipitação no coletor i;

n = número de coletores.

A lâmina média de água aplicada (H_m) é determinada pela seguinte razão:

$$H_m = \frac{Q \cdot t}{S} \cdot 1000$$

onde:

H_m = lâmina média de água aplicada (mm);

Q = vazão do aspersor (m^3/h);

t = tempo do ensaio (h);

S = área dada pelos espaçamentos (m^2).

As perdas por percolação segundo SCALOPPI (1984), pode ser estimada através da eficiência de distribuição (E_d), conforme a expressão:

$$E_d = \frac{\text{água armazenada}}{\text{água armazenada} + \text{água percolada}} = \frac{y}{\bar{y}} \quad \text{ou}$$

$$E_d = \frac{A_3}{(A_3 + A_2)} = \frac{y}{\bar{y}} \quad (9)$$

onde:

y = valor da lâmina coletada requerida.

A partir das relações (8) e (9), podemos escrever a equação (7) da seguinte forma:

$$EA = \frac{y}{\bar{y}} \cdot \frac{\bar{y}}{H_m} = E_d \cdot RE \quad (10)$$

Observamos que a lâmina adimensional ($y/\bar{y}$) é uma relação que varia conforme uma distribuição espacial da água aplicada. Portanto, possui relação com os coeficientes de uniformidade, fato este, evidenciado por HANSEN (1960); KELLER (1980) e SCALOPPI (1984).

3.3.2. Eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição

HANSEN (1960) apresentou uma relação entre a eficiência de irrigação e uniformidade de aplicação, onde este considerou o uso do coeficiente de Christiansen. Posteriormente, KELLER (1980) relacionou a eficiência de aplicação como sendo o produto do coeficiente de Christiansen ou a eficiência de padrão de Criddle, pela razão efetiva de aplicação de água (RE) como uma forma de estimar a eficiência de aplicação. Deste modo, o trabalho relacionou através da regressão linear os coeficientes de Christiansen (CUC) e eficiência padrão de Criddle (UD) com os valores de $y/\bar{y}$ obtidos dos dados de distribuição linear e normal, para diferentes áreas adequadamente irrigadas (AAI). Foram determinados os valores de lâminas adimensionais, para valores de área adequadamente irrigada, variando de 90, 80, 70, 60 e 50%. Onde no equacionamento da regressão linear foram considerados apenas os valores de AAI igual a 90, 80, 70 e 60%. A Figura 9 ilustra a forma com que os valores de $y/\bar{y}$ foram tomados em relação aos valores da área adequadamente irrigada.

FIGURA 9. Relação entre as lâminas adimensionais $y/\bar{y}$ e a área adequadamente irrigada (AAI).

3.3.3. Relação entre lâmina adimensional de água, eficiência de irrigação e coeficiente de uniformidade

Na determinação das relações, foram utilizadas duas expressões auxiliares. A primeira, já vista anteriormente, onde definimos a eficiência (EA) sendo igual a:

$$EA = E_d \cdot RE = \frac{y}{\bar{y}} \cdot \frac{\bar{y}}{Hm} \quad (1)$$

A segunda advém do conhecimento de que o cálculo da lâmina bruta (h_b) de água a ser aplicada é obtida através da expressão:

$$h_b = \frac{h_1}{E_i}, \text{ onde podemos chegar a:}$$

$$LA = \frac{(h_b - h_1)}{h_1}$$

$$LA = \left(\frac{100}{E_i} - 1 \right) \cdot 100 \quad (2)$$

onde:

h_b = lâmina bruta aplicada;

h_1 = lâmina líquida aplicada;

LA = lâmina adicional de irrigação em função da eficiência de irrigação em porcentagem.

A expressão (2) fica melhor caracterizada através do gráfico mostrado pela Figura 10, onde percebemos que para valores de eficiência entre 80 a 100%, o acréscimo da lâmina adicional é pequeno e linear. A partir de valores inferiores a 80%, o acréscimo é grande e de crescimento exponencial.

FIGURA 10. Relação entre eficiência de irrigação e lâmina adicional de irrigação.

Para que a relação demonstre o efeito da uniformidade de distribuição sobre a eficiência de irrigação e conseqüentemente sobre a lâmina adicional, relacionamos as expressões (1) e (2), resultando a expressão abaixo:

$$LA = \left(\frac{100 \cdot \bar{y}}{RE \cdot y} \right) - 1 \quad (3)$$

3.4. Modelos de Distribuição de Água

Segundo WALKER (1980), dois são os modelos mais utilizados para descrever a distribuição de água do aspersor. O modelo linear de KARMELI (1978) e o modelo normal de HART (1961). No presente trabalho, os dois modelos foram utilizados na determinação dos parâmetros de eficiência de irrigação.

3.4.1. Modelo linear

O modelo linear proposto por KARMELI (1978) utiliza a curva de frequência acumulada da lâmina de irrigação adimensional (precipitação do aspersor), Y , e a fração de área irrigada adimensional, x , que é representada pela regressão linear (Figura 11).

$$Y = a + b \cdot x$$

onde:

$$Y = \frac{y_i}{\bar{y}} = \text{lâmina ou precipitação adimensional};$$

y_i = lâmina ou precipitação do coletor i ;

$\bar{y}$ = lâmina ou precipitação média coletada;

$$x = \frac{x_i}{X} = \text{fração da área irrigada};$$

x_i = área referente ao coletor i ;

X = área total dos coletores (área dada pelo espaçamento);

$\underline{a}$ e $\underline{b}$ = coeficientes da equação linear.

Para a determinação da equação da regressão linear, os dados foram agrupados de tal forma, que para cada fração da área acumulada, corresponde uma lâmina de precipitação de valor igual ou menor àquela observada no ponto em questão.

FIGURA 11. Diagrama de distribuição de água linearizada.

3.4.2. Modelo normal

O segundo modelo utilizado, foi o modelo de distribuição normal padronizado, citado por WALKER (1980). A distribuição considera a média centrada em volta da ordenada, onde a distância vertical, dado pelo valor da abscissa, x , foi calculado pela expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-x^2/2}.$$

A Figura 12 ilustra a função da distribuição normal padronizada.

FIGURA 12. Distribuição normal padronizada.

O valor da fração de área $Q(x)$ é obtido através de uma função polinomial proposto por ABRAMOVITZ & STEGUN (1968), conforme a expressão:

$$Q(x) = f(x) \cdot [b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5]$$

onde:

$$t = \frac{1}{1 + 0,2316419 \cdot x}$$

$$b_1 = 0,31938153$$

$$b_2 = -0,356563782$$

$$b_3 = 1,781477937$$

$$b_4 = -1,821255978$$

$$b_5 = 1,330274429.$$

A expressão polinomial é limitada para valores positivos de x , desta forma, para valores compreendidos entre $-\infty \leq x \leq 0$, a expressão foi corrigida para:

$$Q(-x) = 1 - Q(x).$$

Para o uso dessas equações, é necessário uma transformação dos dados de precipitação do aspersor, isto é, uma normalização ou padronização.

Desta forma, temos:

$$x = \frac{Y_i - 1}{cv}$$

onde:

x = valor da precipitação normalizado;

$Y_i = y_i / \bar{y}$ precipitação adimensional de índice i ;

$\bar{y}$ = valor médio das precipitações;

cv = coeficiente de variação.

Através dos dados de $\underline{y}$ e $Q(x)$, obteve-se as

curvas de distribuição normal, acumulada para os treze espaçamentos estudados, conforme a Figura 13.

FIGURA 13. Curva de distribuição de água normal acumulada.

3.4.3. Comparação entre os modelos linear e normal

Para os dois modelos de distribuição de água utilizados, foram determinados os perfis de distribuição, em função dos coeficientes de variação, determinados pelos es-

paçamentos entre aspersores. Onde os dados experimentais foram comparados com os dados obtidos pelos modelos, detectando-se, assim, qual o melhor modelo de distribuição para três grupos de coeficientes de variação. Os dados de precipitação experimental e os dos modelos, foram obtidos através dos perfis de distribuição para nove valores de fração de área, ou seja, ($x = 0,1; 0,2; 0,3; \dots; 0,9$).

Tomamos como exemplo o perfil de distribuição de água do aspersor A_1 para um espaçamento 24×24 , com o coeficiente de uniformidade de Christiansen igual a 84%, conforme a Figura 14.

Os dados de precipitação adimensional foram obtidos através dos perfis de distribuição e agrupados conforme o exemplo da Tabela 6.

Os valores da distribuição linear foram obtidos da equação linear e os valores da distribuição normal através da curva normalizada ou padronizada.

FIGURA 14. Perfil de distribuição de água do aspersor A₁ para o espaçamento 24 x 24.

TABELA 6. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_1 para diversas frações de área e espaçamento 24 x 24.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Experimental	1,33	1,26	1,13	0,95	0,90	0,90	0,89	0,88	0,84
Dist.linear	1,25	1,19	1,13	1,08	1,02	0,96	0,90	0,85	0,79
Dist.normal	1,25	1,15	1,08	1,03	0,99	0,95	0,90	0,84	0,77

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Coeficientes de Uniformidade

Foram observados diversos valores de medidas de uniformidade dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 . Como era de se esperar, os valores das lâminas médias decresceram com o aumento dos espaçamentos. Para os aspersores A_1 e A_2 , os valores das lâminas médias variaram de 19,53 a 3,12 mm e 25,88 a 4,14 mm, respectivamente. A variação dos aspersores B_1 e B_2 , foram de 27,18 a 4,35 mm e 21,57 a 3,45 mm, respectivamente. A explicação do decréscimo da lâmina média e sua variação é dada exclusivamente pela variação do aumento do espaçamento dos aspersores.

Observamos também, o decréscimo das lâminas

de maior e menor valor com o aumento do espaçamento. Os resultados mostram uma tendência dos valores tornarem-se constantes e nulos respectivamente, a partir da metade dos maiores espaçamentos. Os valores de precipitação igual a zero obtidos para alguns espaçamentos, indicam a não superposição dos jatos de água dos aspersores. Isto ocorre em função do raio de alcance dos aspersores e do aumento do espaçamento. (Tabelas 7, 8, 9 e 10).

A precipitação de menor valor pode ser utilizada como mais uma forma de escolha adequada do espaçamento, pois valores nulos (igual a zero) significam que existem áreas não irrigadas dentro do espaçamento. Portanto, o critério de seleção levando apenas em conta o valor do coeficiente de uniformidade não satisfaz. Desta forma, segundo ROSENFELD *et alii* (1980), existe a necessidade de conhecermos o efeito da redução dos coeficientes de uniformidade sobre a produtividade.

De uma maneira geral, o coeficiente de uniformidade de Christiansen decaiu com o aumento do espaçamento. Podemos observar através das Figuras 15 e 16, o efeito do desvio padrão sobre o coeficiente de Christiansen, onde o aumento deste, diminui o valor de CUC para os aspersores A_1 , A_2 e B_1 , B_2 .

TABELA 10. Dados dos coeficientes de uniformidade do aspersor B₂.

Coeficientes de uniformidade	Espaçamento dos aspersores (m x m)											
	24x24	24x30	30x30	30x36	36x36	36x42	42x42	42x48	48x48	54x54	54x60	60x60
Média (mm)	21,57	17,26	13,81	11,51	9,59	8,22	7,04	6,16	5,39	4,79	4,26	3,84
Maior valor (mm)	24,83	23,17	22,92	22,15	17,06	12,22	12,10	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
Menor valor (mm)	19,61	9,68	9,17	6,24	4,46	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desvio padrão (mm)	1,28	4,01	4,47	3,84	3,28	2,74	2,66	2,29	1,77	2,16	2,33	2,53
Coef. de variação (%)	5,94	23,24	32,40	33,38	34,17	33,39	37,78	37,13	32,91	45,07	54,59	65,88
Coef. de assimetria	0,63	-0,37	0,78	1,02	0,12	0,13	0,48	0,51	-1,29	-1,19	-1,02	-0,64
Curtose	3,43	2,09	2,00	3,69	1,98	1,32	2,95	4,98	6,11	3,84	2,62	1,78
Coef. de Christiansen (%)	95,80	82,00	71,70	76,60	69,90	69,00	70,20	74,90	79,00	68,90	56,80	42,10
Coef. de Wilcox (%)	94,30	77,40	68,30	67,20	66,30	67,00	62,60	63,20	67,40	55,30	45,80	34,50
Coef. de Hart (%)	95,30	81,50	74,10	73,40	72,70	73,40	69,90	70,40	73,70	64,00	56,40	47,40
Coef. de Benami (%)	86,30	53,50	47,40	41,70	41,10	43,40	35,50	42,30	42,00	4,90	-7,50	-4,70
Ef. padrão de Criddle (%)	93,00	68,50	71,10	62,10	58,60	59,30	67,30	64,60	62,70	38,50	17,60	0,15

FIGURA 15. Curvas da variação do coeficiente de uniformidade de Christian- sen (CUC) para diversos espaçamentos e desvio padrão dos asper- sores A_1 e A_2 .

FIGURA 16. Curvas da variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diversos espaçamentos e desvio padrão dos aspersores B_1 e B_2 .

4.2. Curvas de Distribuição de Água dos Aspersores dos Dados Experimentais, da Regressão Linear e Normalizada

A título de ilustração, a Figura 17 nos mostra as curvas de utilização de água do aspersor A_1 para quatro espaçamentos, utilizando-se os modelos linear e normal, obtendo-se 52 curvas de distribuição referente aos aspersores em estudo, com treze espaçamentos (Apêndice 3).

As equações de regressão linear, os coeficientes de correlação (R) e o teste F da análise de variância referente ao estudo da regressão, podem ser vistos nas Tabelas 11 e 12.

Observamos que as curvas de distribuição de água dos aspersores tende a ter uma maior inclinação em relação ao eixo das abcissas (fração de área) com o aumento dos espaçamentos. Isto ocorre em função da obtenção de valores extremos de lâminas adimensionais na distribuição. Através dos coeficientes angulares fornecidos pelas equações das Tabelas 11 e 12, podemos constatar esse fato.

FIGURA 17. Curvas de distribuição de água do aspersion A_1 para quatro valores de espaçamento.

TABELA 11. Equações de regressão linear obtidos a partir dos dados de lâmina adimensional (y) e fração de área (x) do aspersor A.

	Espaço mento	CUC	CV	Equação linear	R	F
A ₁	24x24	84,0	0,19	$y = 1,306 + (-0,575) \cdot x$	-0,915	71,937**
	24x30	74,0	0,32	$y = 1,541 + (-1,030) \cdot x$	-0,949	162,799**
	30x30	68,0	0,38	$y = 1,644 + (-1,238) \cdot x$	-0,948	202,592**
	30x36	69,3	0,39	$y = 1,648 + (-1,255) \cdot x$	-0,950	258,733**
	36x36	68,9	0,40	$y = 1,674 + (-1,311) \cdot x$	-0,954	347,775**
	36x42	62,6	0,43	$y = 1,742 + (-1,449) \cdot x$	-0,974	734,837**
	42x42	56,1	0,50	$y = 1,859 + (-1,683) \cdot x$	-0,987	1838,780**
	42x48	59,4	0,50	$y = 1,853 + (-1,675) \cdot x$	-0,973	942,123**
	48x48	62,3	0,50	$y = 1,829 + (-1,633) \cdot x$	-0,956	666,296**
	48x54	57,4	0,58	$y = 1,951 + (-1,376) \cdot x$	-0,948	620,865**
	54x54	51,9	0,64	$y = 2,052 + (-2,077) \cdot x$	-0,937	567,309**
A ₂	54x60	41,1	0,74	$y = 2,234 + (-2,441) \cdot x$	-0,951	829,526**
	60x60	31,0	0,85	$y = 2,400 + (-2,773) \cdot x$	-0,952	949,569**
	24x24	80,2	0,27	$y = 1,453 + (-0,853) \cdot x$	-0,951	131,829**
	24x30	82,4	0,22	$y = 1,374 + (-0,713) \cdot x$	-0,970	286,113**
	30x30	80,7	0,24	$y = 1,394 + (-0,757) \cdot x$	-0,946	194,378**
	30x36	76,0	0,29	$y = 1,487 + (-0,943) \cdot x$	-0,971	466,379**
	36x36	76,5	0,29	$y = 1,481 + (-0,937) \cdot x$	-0,952	327,651**
	36x42	75,0	0,32	$y = 1,522 + (-1,020) \cdot x$	-0,930	255,320**
	42x42	74,0	0,36	$y = 1,587 + (-1,152) \cdot x$	-0,941	364,979**
	42x48	69,3	0,39	$y = 1,643 + (-1,263) \cdot x$	-0,945	453,695**
	48x48	62,5	0,46	$y = 1,744 + (-1,465) \cdot x$	-0,929	389,818**
	48,54	62,6	0,51	$y = 1,779 + (-1,536) \cdot x$	-0,879	238,566**
	54x54	65,3	0,55	$y = 1,791 + (-1,562) \cdot x$	-0,830	174,578**
	54x60	64,4	0,60	$y = 1,842 + (-1,665) \cdot x$	-0,809	167,105**
	60x60	63,1	0,64	$y = 1,874 + (-1,731) \cdot x$	-0,787	159,374**

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen

CV: Coeficiente de variação

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade.

TABELA 12. Equações de regressão linear obtidos a partir dos dados de lâmina adimensional (y) e fração de área (x) do aspersor B.

	Espaço mento	CUC	CV	Equação linear	R	F
B ₁	24x24	89,9	0,13	$y = 1,221 + (-0,416) \cdot x$	-0,976	277,169**
	24x30	80,1	0,25	$y = 1,374 + (-0,713) \cdot x$	-0,970	286,113**
	30x30	75,2	0,31	$y = 1,529 + (-1,018) \cdot x$	-0,958	258,074**
	30x36	74,4	0,35	$y = 1,559 + (-1,082) \cdot x$	-0,911	137,276**
	36x36	71,0	0,36	$y = 1,614 + (-1,195) \cdot x$	-0,963	432,705**
	36x42	69,0	0,37	$y = 1,642 + (-1,254) \cdot x$	-0,988	1590,030**
	42x42	62,8	0,43	$y = 1,751 + (-1,471) \cdot x$	-0,990	2267,140**
	42x48	62,7	0,44	$y = 1,759 + (-1,491) \cdot x$	-0,978	1163,750**
	48x48	64,8	0,45	$y = 1,740 + (-1,458) \cdot x$	-0,951	583,571**
	48x54	62,8	0,47	$y = 1,783 + (-1,544) \cdot x$	-0,948	616,610**
	54x54	60,4	0,48	$y = 1,816 + (-1,612) \cdot x$	-0,969	1219,560**
	54x60	52,6	0,58	$y = 1,989 + (-1,957) \cdot x$	-0,983	2462,550**
	60x60	43,6	0,68	$y = 2,162 + (-2,301) \cdot x$	-0,989	4321,390**
B ₂	24x24	95,8	0,06	$y = 1,099 + (-0,186) \cdot x$	-0,932	93,172**
	24x30	82,0	0,23	$y = 1,402 + (-0,766) \cdot x$	-0,975	342,720**
	30x30	71,7	0,32	$y = 1,524 + (-1,009) \cdot x$	-0,916	120,633**
	30x36	76,6	0,33	$y = 1,534 + (-1,033) \cdot x$	-0,908	132,062**
	36x36	69,9	0,33	$y = 1,577 + (-1,123) \cdot x$	-0,961	416,250**
	36x42	69,0	0,33	$y = 1,572 + (-1,117) \cdot x$	-0,977	853,938**
	42x42	70,2	0,38	$y = 1,612 + (-1,199) \cdot x$	-0,926	281,391**
	42x48	74,9	0,37	$y = 1,564 + (-1,109) \cdot x$	-0,869	167,269**
	48x48	79,0	0,33	$y = 1,488 + (-0,961) \cdot x$	-0,849	160,641**
	48x54	68,9	0,45	$y = 1,677 + (-1,336) \cdot x$	-0,862	201,587**
	54x54	56,8	0,55	$y = 1,836 + (-1,652) \cdot x$	-0,879	268,362**
	54x60	42,1	0,66	$y = 2,054 + (-2,085) \cdot x$	-0,919	574,969**
	60x60	28,9	0,76	$y = 2,247 + (-2,470) \cdot x$	-0,940	742,028**

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen

CV: Coeficiente de variação

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Segundo WALKER (1980), para valores de CUC variando de 80 a 70%, o coeficiente de variação (CV) deve estar próximo de 0,25 a 0,35 e o coeficiente angular da regressão linear entre 0,80 a 1,20, fato este comprovado neste trabalho.

A medida que, o coeficiente de uniformidade de Christiansen decresceu, a regressão linear que representa o comportamento da distribuição de frequência acumulada afastou-se da precipitação média adimensional, ou seja, para $y = 1$. O mesmo foi observado para a curva de distribuição normalizada, fato este evidenciado por ROSENFELD *et alii* (1980) e WALKER (1980).

Verificou-se que, para valores altos de coeficientes de variação, ou seja, acima de 50%, as curvas da distribuição normalizada aproxima-se de uma reta, de tal forma a prejudicar a adequação dos valores extremos das precipitações. WALKER (1980) conhecendo este fato, sugere que para valores altos de CV, deve-se utilizar a curva de distribuição linear.

4.3. Comparação entre os Dados Experimentais e os Dados Lineares e Normalizados de Precipitações para Três Grupos de Coeficientes de Variação

A análise dos dados experimentais, lineares e normalizados das precipitações, foram determinados a partir

da comparação dos desvios padrões, determinados através da média do erro quadrático médio, para cada grupo de coeficiente de variação. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 13 e 14, onde os desvios padrões não mostraram diferenças significativas ($P > 0,01$) para o teste t entre os dados dos modelos linear e normal, para os três grupos de coeficiente de variação.

KARMELI (1978), através de um trabalho semelhante, detectou uma diferença significativa a nível de 90% de probabilidade através do teste "t", para valores de coeficiente de variação na faixa de 0,64 a 0,88.

No presente trabalho não foi obtida esta diferença, uma vez que a faixa de variação do grupo III está abaixo do valor utilizado pelo pesquisador. É importante destacar, que nesta faixa de coeficiente de variação, não tem significado prático, pois os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen estão abaixo dos valores recomendados.

TABELA 13. Comparação entre os dados experimentais e os dados lineares e normalizados, para o grupo I de coeficiente de variação.

Grupo	CUC	CV	EL	EN
I	89,8	0,13	0,037	0,039
	84,0	0,19	0,074	0,070
	82,4	0,22	0,056	0,059
	82,0	0,23	0,046	0,048
	80,7	0,24	0,075	0,068
	80,1	0,25	0,068	0,069
	80,2	0,27	0,089	0,086
	76,0	0,29	0,068	0,078
	76,5	0,29	0,085	0,082
	75,2	0,31	0,036	0,047
	71,7	0,32	0,116	0,120
	75,0	0,32	0,116	0,103
	74,0	0,32	0,102	0,106
	76,6	0,33	0,104	0,083
	69,0	0,33	0,072	0,098
	79,0	0,33	0,111	0,114
			$\bar{EL} = 0,078$	$\bar{EN} = 0,079$
			$SEL = 0,027^*$	$SEN = 0,024^*$

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen

CV: Coeficiente de variação

EL: Erro quadrático médio da distribuição linear $\left(\frac{\sum (\Delta L)^2}{N} \right)$

EN: Erro quadrático médio de distribuição normalizada $\left(\frac{\sum (\Delta N)^2}{N} \right)$

$(\Delta L)^2$: Somatória do quadro das diferenças entre os dados experimentais e do modelo linear

$(\Delta N)^2$: Somatória do quadro das diferenças entre os dados experimentais e do modelo normal

N: Número de valores observados (N = 16)

$\bar{EL}$ e $\bar{EN}$: Média do erro quadrático médio

SEL: Desvio padrão da distribuição linear

SEN: Desvio padrão da distribuição normal.

* Não houve diferenças significativas ($P > 0,01$) para o teste t.

TABELA 14. Comparação entre os dados experimentais e os dados, lineares e normalizados para os grupos II e III, de coeficiente de variação.

Grupo	CUC	CV	EL	EN
II	69,9	0,39	0,080	0,095
	74,4	0,35	0,095	0,061
	71,0	0,36	0,051	0,036
	74,0	0,36	0,121	0,099
	74,9	0,37	0,110	0,116
	69,0	0,37	0,067	0,069
	68,0	0,38	0,080	0,090
	70,2	0,38	0,127	0,108
	69,3	0,39	0,087	0,076
	69,3	0,39	0,086	0,075
	68,9	0,40	0,112	0,094
	62,8	0,43	0,040	0,065
	62,6	0,43	0,065	0,076
	62,7	0,44	0,102	0,104
	64,8	0,45	0,105	0,097
	68,9	0,45	0,235	0,227
			$\bar{EL} = 0,078$	$\bar{EN} = 0,079$
			$SEL = 0,027^*$	$SEN = 0,024^*$
III	62,5	0,46	0,094	0,091
	62,8	0,47	0,086	0,072
	60,4	0,48	0,095	0,101
	56,1	0,50	0,077	0,113
	59,4	0,50	0,113	0,108
	62,3	0,50	0,109	0,084
	62,6	0,51	0,152	0,140
	65,3	0,55	0,197	0,186
	56,8	0,55	0,277	0,205
	52,6	0,58	0,111	0,122
	57,4	0,58	0,141	0,098
	64,4	0,60	0,192	0,201
	63,1	0,64	0,223	0,228
	51,9	0,64	0,161	0,186
	42,1	0,66	0,242	0,257
	43,6	0,68	0,102	0,145
			$\bar{EL} = 0,148$	$\bar{EN} = 0,149$
			$SEL = 0,061^*$	$SEN = 0,068^*$

4.4. Relação entre Lâmina Adimensional ($y/\bar{y}$) e o Coeficiente de Uniformidade

As Tabelas 15 e 16, mostram a relação entre os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), a eficiência padrão de Criddle (UD) e as lâminas adimensionais ($y/\bar{y}$) para diversas frações de área adequadamente irrigada, das distribuições linear e normalizada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 . A partir desses dados, foram obtidas as equações de regressão linear usando-se os valores da distribuição normalizada e linearizada e os valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, UD), para quatro valores de área adequadamente irrigada (90, 80, 70 e 60%), de acordo com as Tabelas 17, 18, 19 e 20.

Através do coeficiente de correlação R e do teste F , observamos uma alta correlação entre os coeficientes de uniformidade e as lâminas adimensionais. Observamos que para valores de área adequadamente irrigada igual a 80%, os valores das lâminas adimensionais estão bem próximos dos valores do coeficiente de Christiansen. E para uma área adequadamente irrigada de 90%, os valores das lâminas aproxima-se dos valores da eficiência padrão de Criddle. Os resultados confirmam o que KELLER (1980), recomenda, ou seja, a utilização desses coeficientes para estimar a eficiência de aplicação em sistemas de irrigação por aspersão.

TABELA 15. Relação entre os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) e as lâminas adimensionais ($y/\bar{y}$) para diversas frações de área adequadamente irrigada das distribuições linear e normalizada do aspersor A.

	Coef. de uniformid.		Valores de $y/\bar{y}$ distribuição normal					Valores de $y/\bar{y}$ distribuição linear				
	UD	CUC	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50
A ₁	83,80	84,0	0,77	0,84	0,90	0,95	1,03	0,79	0,85	0,90	0,96	1,02
	54,00	74,0	0,59	0,72	0,82	0,92	1,00	0,61	0,72	0,82	0,92	1,03
	61,10	68,0	0,52	0,68	0,79	0,91	1,05	0,53	0,65	0,78	0,90	1,02
	60,10	69,3	0,51	0,68	0,79	0,90	1,00	0,51	0,64	0,77	0,89	1,02
	48,10	68,9	0,50	0,66	0,78	0,90	1,00	0,49	0,62	0,76	0,89	1,02
	44,40	62,6	0,47	0,64	0,77	0,89	1,00	0,44	0,58	0,73	0,87	1,02
	43,40	56,1	0,36	0,59	0,75	0,88	1,00	0,34	0,51	0,68	0,85	1,02
	43,80	59,4	0,37	0,58	0,73	0,87	1,00	0,34	0,51	0,68	0,85	1,01
	43,00	62,3	0,37	0,59	0,74	0,87	1,00	0,36	0,52	0,69	0,85	1,01
	29,30	57,4	0,29	0,52	0,70	0,86	1,01	0,26	0,45	0,64	0,83	1,01
	18,50	51,9	0,20	0,46	0,66	0,84	1,00	0,18	0,39	0,60	0,81	1,01
	4,80	41,1	0,05	0,39	0,62	0,81	1,00	0,04	0,28	0,53	0,77	1,01
	-0,33	31,0	0,00	0,30	0,55	0,78	1,01	-0,10	0,18	0,46	0,74	1,01
A ₂	67,20	80,2	0,61	0,77	0,86	0,93	1,00	0,69	0,77	0,86	0,94	1,03
	76,10	82,4	0,73	0,82	0,89	0,95	1,00	0,73	0,80	0,88	0,95	1,02
	74,40	80,7	0,70	0,80	0,88	0,94	1,00	0,71	0,79	0,86	0,94	1,02
	63,50	76,0	0,64	0,77	0,86	0,93	1,00	0,64	0,73	0,83	0,92	1,02
	72,00	76,5	0,64	0,76	0,85	0,93	1,00	0,64	0,73	0,83	0,92	1,01
	67,50	75,0	0,60	0,74	0,84	0,92	1,00	0,60	0,70	0,81	0,91	1,01
	53,80	74,0	0,55	0,70	0,82	0,91	1,00	0,55	0,67	0,78	0,90	1,01
	53,70	69,3	0,52	0,68	0,80	0,90	1,00	0,51	0,63	0,76	0,88	1,01
	54,90	62,5	0,44	0,62	0,76	0,88	1,00	0,43	0,57	0,72	0,86	1,01
	54,40	62,6	0,37	0,58	0,74	0,87	1,00	0,40	0,55	0,70	0,86	1,01
	54,00	65,3	0,35	0,54	0,71	0,86	1,00	0,38	0,54	0,70	0,85	1,01
	54,70	64,4	0,29	0,51	0,68	0,85	1,00	0,34	0,51	0,68	0,84	1,01
	36,30	63,1	0,22	0,48	0,67	0,84	1,00	0,32	0,49	0,66	0,84	1,01

TABELA 16. Relação entre os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) e as lâminas adimensionais ($y/\bar{y}$) para diversas frações de área adequadamente irrigada das distribuições linear e normalizada do aspersor B.

Coef. de uniformid.		Valores de $y/\bar{y}$ distribuição normal					Valores de $y/\bar{y}$ distribuição linear					
UD	CUC	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	
B ₁	85,7	89,8	0,84	0,90	0,96	0,97	1,00	0,85	0,89	0,93	0,97	1,01
	61,8	80,1	0,69	0,81	0,88	0,95	1,00	0,73	0,80	0,88	0,95	1,01
	65,9	75,2	0,60	0,74	0,84	0,93	1,00	0,61	0,72	0,82	0,92	1,02
	65,0	74,0	0,56	0,70	0,82	0,91	1,00	0,59	0,69	0,80	0,91	1,02
	56,9	71,0	0,54	0,70	0,81	0,91	1,00	0,54	0,66	0,78	0,90	1,02
	49,9	69,0	0,53	0,69	0,80	0,91	1,00	0,51	0,64	0,76	0,89	1,01
	50,7	62,8	0,45	0,64	0,77	0,90	1,01	0,43	0,57	0,72	0,87	1,02
	52,0	62,7	0,44	0,63	0,77	0,89	1,00	0,42	0,57	0,72	0,86	1,01
	50,4	64,8	0,43	0,62	0,77	0,89	1,00	0,43	0,57	0,72	0,87	1,01
	41,0	62,8	0,41	0,60	0,74	0,87	1,00	0,39	0,55	0,70	0,86	1,01
	36,8	60,4	0,41	0,60	0,75	0,88	1,00	0,36	0,52	0,68	0,85	1,01
	20,8	52,6	0,29	0,53	0,70	0,85	1,00	0,23	0,42	0,62	0,82	1,01
5,2	43,6	0,16	0,45	0,67	0,85	1,00	0,09	0,32	0,55	0,78	1,01	
B ₂	93,0	95,8	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01
	68,5	82,0	0,71	0,80	0,88	0,94	1,00	0,71	0,79	0,87	0,94	1,02
	71,1	71,7	0,58	0,73	0,83	0,92	1,00	0,62	0,72	0,82	0,92	1,02
	62,1	76,6	0,57	0,72	0,82	0,92	1,00	0,61	0,71	0,81	0,92	1,02
	58,6	69,9	0,57	0,72	0,83	0,92	1,00	0,57	0,68	0,79	0,90	1,02
	59,3	69,0	0,57	0,72	0,82	0,92	1,00	0,57	0,68	0,79	0,90	1,01
	67,3	70,2	0,50	0,69	0,81	0,90	1,00	0,53	0,65	0,77	0,89	1,01
	64,6	74,9	0,48	0,68	0,81	0,91	1,00	0,57	0,68	0,79	0,90	1,01
	62,7	79,0	0,58	0,72	0,83	0,92	1,00	0,62	0,72	0,82	0,91	1,01
	38,5	68,9	0,44	0,62	0,76	0,89	1,00	0,47	0,61	0,74	0,88	1,01
	17,6	56,8	0,38	0,54	0,74	0,68	1,00	0,35	0,51	0,68	0,84	1,01
	15,0	42,1	0,18	0,45	0,66	0,84	1,00	0,18	0,39	0,59	0,80	1,01
0,0	28,9	0,04	0,36	0,59	0,79	0,99	0,02	0,27	0,52	0,77	1,01	

TABELA 17. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição linear dos valores de lâminas adimensionais e os valores de UD para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 .

	AAI	Equação linear	R	F
A_1	90	$y/\bar{y} = -0,041 + 0,010 \cdot UD$	0,976	216,804**
	80	$y/\bar{y} = 0,222 + 0,008 \cdot UD$	0,975	210,346**
	70	$y/\bar{y} = 0,490 + 0,005 \cdot UD$	0,974	204,900**
	60	$y/\bar{y} = 0,753 + 0,003 \cdot UD$	0,974	199,372**
A_2	90	$y/\bar{y} = -0,147 + 0,011 \cdot UD$	0,920	60,975**
	80	$y/\bar{y} = 0,140 + 0,009 \cdot UD$	0,919	60,186**
	70	$y/\bar{y} = 0,420 + 0,006 \cdot UD$	0,924	63,759**
	60	$y/\bar{y} = 0,709 + 0,003 \cdot UD$	0,908	51,476**
B_1	90	$y/\bar{y} = 0,014 + 0,009 \cdot UD$	0,961	132,236**
	80	$y/\bar{y} = 0,261 + 0,007 \cdot UD$	0,960	129,496**
	70	$y/\bar{y} = 0,510 + 0,005 \cdot UD$	0,958	124,008**
	60	$y/\bar{y} = 0,763 + 0,002 \cdot UD$	0,953	109,267**
B_2	90	$y/\bar{y} = 0,085 + 0,008 \cdot UD$	0,959	126,506**
	80	$y/\bar{y} = 0,317 + 0,006 \cdot UD$	0,960	128,605**
	70	$y/\bar{y} = 0,548 + 0,004 \cdot UD$	0,959	125,073**
	60	$y/\bar{y} = 0,780 + 0,002 \cdot UD$	0,961	133,934**

UD: Eficiência padrão de Criddle

$y/\bar{y}$: Lâmina adimensional

AAI: Área adequadamente irrigada

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 18. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição normalizada dos valores de lâminas adimensionais e os valores de UD para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 .

	AAI	Equação linear	R	F
A_1	90	$y/\bar{y} = 0,015 + 0,009 \cdot UD$	0,979	250,026**
	80	$y/\bar{y} = 0,339 + 0,006 \cdot UD$	0,982	293,611**
	70	$y/\bar{y} = 0,583 + 0,004 \cdot UD$	0,977	229,219**
	60	$y/\bar{y} = 0,797 + 0,002 \cdot UD$	0,972	189,868**
A_2	90	$y/\bar{y} = -0,256 + 0,013 \cdot UD$	0,931	71,502**
	80	$y/\bar{y} = 0,136 + 0,009 \cdot UD$	0,917	57,947**
	70	$y/\bar{y} = 0,444 + 0,006 \cdot UD$	0,910	53,202**
	60	$y/\bar{y} = 0,729 + 0,003 \cdot UD$	0,922	62,276**
B_1	90	$y/\bar{y} = 0,095 + 0,008 \cdot UD$	0,953	107,666**
	80	$y/\bar{y} = 0,399 + 0,005 \cdot UD$	0,943	88,051**
	70	$y/\bar{y} = 0,620 + 0,003 \cdot UD$	0,936	77,718**
	60	$y/\bar{y} = 0,823 + 0,002 \cdot UD$	0,916	57,354**
B_2	90	$y/\bar{y} = 0,098 + 0,008 \cdot UD$	0,929	69,650**
	80	$y/\bar{y} = 0,383 + 0,005 \cdot UD$	0,964	143,461**
	70	$y/\bar{y} = 0,619 + 0,003 \cdot UD$	0,951	104,873**
	60	$y/\bar{y} = 0,759 + 0,002 \cdot UD$	0,843	26,975**

UD: Eficiência padrão de Criddle

$y/\bar{y}$: Lâmina adimensional

AAI: Área adequadamente irrigada

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 19. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição normalizada dos valores de lâminas adimensionais e os valores de coeficientes de Christiansen para quatro valores de área adequadamente irrigada (AAI) dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 .

	AAI	Equação linear	R	F
A_1	90	$y/\bar{y} = -0,534 + 0,015 \cdot CUC$	0,983	312,351**
	80	$y/\bar{y} = -0,032 + 0,010 \cdot CUC$	0,986	373,563**
	70	$y/\bar{y} = -0,350 + 0,006 \cdot CUC$	0,983	319,946**
	60	$y/\bar{y} = 0,679 + 0,003 \cdot CUC$	0,985	348,641**
A_2	90	$y/\bar{y} = -0,939 + 0,020 \cdot CUC$	0,924	63,778**
	80	$y/\bar{y} = -0,366 + 0,015 \cdot CUC$	0,930	70,479**
	70	$y/\bar{y} = 0,114 + 0,010 \cdot CUC$	0,925	65,518**
	60	$y/\bar{y} = 0,567 + 0,005 \cdot CUC$	0,942	87,200**
B_1	90	$y/\bar{y} = -0,472 + 0,014 \cdot CUC$	0,994	902,002**
	80	$y/\bar{y} = 0,016 + 0,010 \cdot CUC$	0,989	494,853**
	70	$y/\bar{y} = 0,372 + 0,006 \cdot CUC$	0,982	295,621**
	60	$y/\bar{y} = 0,709 + 0,003 \cdot CUC$	0,959	127,054**
B_2	90	$y/\bar{y} = -0,345 + 0,012 \cdot CUC$	0,967	160,926**
	80	$y/\bar{y} = 0,089 + 0,009 \cdot CUC$	0,971	183,042**
	70	$y/\bar{y} = 0,430 + 0,005 \cdot CUC$	0,976	218,452**
	60	$y/\bar{y} = 0,663 + 0,003 \cdot CUC$	0,731	12,627**

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen

$y/\bar{y}$: Lâmina adimensional

AAI: Área adequadamente irrigada

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 20. Equações de regressão linear obtidas através da distribuição linear dos valores de lâminas adimensionais e os valores de CUC para quatro valores de área adequadamente irrigada dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 .

	AAI	Equação linear	R	F
A_1	90	$y/\bar{y} = -0,660 + 0,017 \cdot CUC$	0,990	548,314**
	80	$y/\bar{y} = -0,247 + 0,013 \cdot CUC$	0,990	536,017**
	70	$y/\bar{y} = 0,179 + 0,009 \cdot CUC$	0,990	541,445**
	60	$y/\bar{y} = 0,597 + 0,004 \cdot CUC$	0,989	489,309**
A_2	90	$y/\bar{y} = -0,832 + 0,019 \cdot CUC$	0,970	173,330**
	80	$y/\bar{y} = -0,382 + 0,014 \cdot CUC$	0,974	204,930**
	70	$y/\bar{y} = 0,062 + 0,010 \cdot CUC$	0,973	195,811**
	60	$y/\bar{y} = 0,516 + 0,005 \cdot CUC$	0,977	231,976**
B_1	90	$y/\bar{y} = -0,639 + 0,017 \cdot CUC$	0,997	2008,820**
	80	$y/\bar{y} = -0,238 + 0,013 \cdot CUC$	0,997	1855,890**
	70	$y/\bar{y} = 0,174 + 0,009 \cdot CUC$	0,995	1131,200**
	60	$y/\bar{y} = 0,594 + 0,004 \cdot CUC$	0,995	1005,500**
B_2	90	$y/\bar{y} = -0,381 + 0,013 \cdot CUC$	0,988	437,693**
	80	$y/\bar{y} = -0,032 + 0,010 \cdot CUC$	0,988	439,158**
	70	$y/\bar{y} = 0,313 + 0,007 \cdot CUC$	0,987	405,038**
	60	$y/\bar{y} = 0,664 + 0,003 \cdot CUC$	0,983	312,604**

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen

$y/\bar{y}$: Lâmina adimensional

AAI: Área adequadamente irrigada

** O teste F é significativo ao nível de 1% de probabilidade

As Tabelas 17, 18, 19 e 20, mostram que as equações de regressão linear, relacionando as lâminas adimensionais e os coeficientes de uniformidade para 80 e 90% da área adequadamente irrigada, apresentam o coeficiente angular próximo de 1 e o coeficiente linear pequeno. Demonstram desta forma, que as equações estão coerentes com os dados experimentais.

De uma maneira geral, para todos os aspersores, o modelo normal apresentou uma relação entre a lâmina adimensional e o coeficiente de uniformidade acima do obtido pelo modelo linear. Isto pode ser observado através das Figuras 18 e 19.

Figura 18. Relação entre lâmina adimensional ($y/\bar{y}$) e os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) dos aspersores A_1 e A_2 .

FIGURA 19. Relação entre lâmina adimensional ($y/\bar{y}$) e os coeficientes de uniformidade (CUC, UD) dos aspersores B_1 e B_2 .

4.5. Lâmina Adicional de Irrigação e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

A relação entre a lâmina adicional (LA) que representa a lâmina de perda e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foi obtida através da expressão: $LA = (100/RE \cdot y/\bar{y} - 1)$, visto no ítem 3.3.3.. Onde $y/\bar{y}$ representa a lâmina adimensional que foi determinada através das equações de regressão linear constantes das Tabelas 17, 18, 19 e 20. Considerando que não haja perdas por evaporação, o valor de RE é igual a um, podendo-se desta maneira relacionar a lâmina adimensional (LA) com o CUC.

Os resultados apresentados nas Figuras 20, 21, 22 e 23, mostram que com o aumento do valor de CUC, a lâmina adicional tende a diminuir para os quatro valores de área adequadamente irrigada (AAI), e que o aumento de LA é diretamente proporcional ao aumento da AAI. Isto significa que a eficiência de aplicação tem relação direta com o coeficiente de uniformidade de Christiansen, e uma relação inversamente proporcional a AAI.

Com relação às distribuições linear e normal podemos observar que a normal, para valores AAI = 90% em quase todos os casos (A_1 , B_1 e B_2) mostrou valores de LA superiores ao da distribuição linear.

FIGURA 20. Relação entre a lâmina adicional e coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor A_1 .

FIGURA 21. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor A_2 .

FIGURA 22. Relação entre a lâmina adicional e coeficiente de uniformidade de Christiansen, para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor B_1 .

FIGURA 23. Relação entre a lâmina adicional e o coeficiente de uniformidade de Christiansen para quatro valores de área adequadamente irrigada do aspersor B_2 .

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- Através dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e a eficiência padrão de Criddle (UD) juntamente com a precipitação de menor valor, podemos determinar o espaçamento mais adequado.

- Não houve diferenças significativas para os três grupos de coeficientes de variação (grupo I (0,13-0,33), grupo II (0,39-0,45) e grupo III (0,46-0,68) na comparação entre os modelos linear e normal da distribuição de água dos aspersores.

- A utilização da equação de regressão linear relacionando a lâmina adimensional (y) com a fração de área (x) e os coeficientes de uniformidade (UD e CUC) para quatro valores de área adequadamente irrigada, mostrou-se significativa.

- A eficiência de aplicação tem relação direta com o coeficiente de uniformidade de Christiansen e é inversamente proporcional à área adequadamente irrigada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID - Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, Viçosa. Dicionário de termos técnicos de irrigação e drenagem. 1978. Gráfica da Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa. 615 p.

ABRAMOVITZ, M. & STEGUN, I.A. Handbook of Mathematical Function. Washington, United States Government Printing Office, n. 55, s.d.

ALLISON, S.V. & HESSE, V.L. Simulation of wind effects on sprinkler performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 95(4): 537-550, 1969.

(Y) ARRUDA, N.T. Análise de uniformidade da distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão em linha. Viçosa, 1981. 87 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa)

BEALE, J.G. & HOWELL, D.T. Relationships among sprinkler uniformity measures. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 92(1): 41-48, 1966.

BENAMI, A. & HORE, F.R. A new irrigation sprinkler distribution coefficient. Transaction of the ASAE. St. Joseph, 7(2): 157-158, 1964.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 2ª ed. Viçosa, Imprensa Universitária. 1982. 463 p.

BOS, M.G. Standards for irrigation efficiencies of ICID. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 105(1): 37-43, 1979.

BRANSCHIED, V.O. & HART, W.E. Predicting field distributions of sprinkler systems. Transactions of ASAE. St. Joseph, 11(6): 801-808, 1968.

CHAUDHRY, F.H. Sprinkler uniformity measures and weakness. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 102(4): 425-433, 1976.

CHAUDHRY, F.H. Nonuniform sprinkler irrigation application. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 104(2): 165-178, 1978.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Agricultural Engineering. St. Joseph, 18(12): 533-538, 1937.

CHRISTIANSEN, J.E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. Agricultural Engineering. St. Joseph, 22(3): 89-92, 1941.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkeley, Univ. of California Experiment Station. Bulletin 670, 1942. 124 p.

CHRISTIANSEN, J.E. Discussão de Nonuniformity and sprinkler application efficiency" de David T. Howell. Journal of

the Irrigation and Drainage ASCE. Ann Arbor, 91(1): 224-226, 1965.

CHRISTIANSEN, J.E. & DAVIS, J.R. Sprinkler irrigation systems
In: HAGAN, R.M.; NAISE, N.R. & EDMINISTER, T.M. (ed.).
Irrigation Agricultural Lands. Wisconsin. 11: 885-895,
1976.

CULVER, R. & SINKER, R.F. Rapid Assessment of sprinkler performance. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 92(1): 1-17, 1966.

DAKER, A. A água na agricultura, 3º volume. Irrigação e Drenagem. 5ª ed. Rev. Freitas Bastos, Rio de Janeiro. 1976. 453 p.

DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. Transaction of the ASAE. St. Joseph, 9(1): 94-97, 1966.

GOMIDE, R.L. Determinação e análise da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão. Viçosa, 1978. 87 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa)

GUROVICH, L.A. Fundamentos y diseno de sistemas de riego. San Jose, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1985. 433 p.

HANSEN, V.E. New concepts in irrigation efficiency. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 3(1): 55-64, 1960.

HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. Agricultural engineering. St. Joseph, 42(7): 354-355, 1961.

HART, W.E. Sprinkler distribution analysis with a digital computer. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 6(3):206-208, 1963.

HART, W.E. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, (2): 81-82, 1965.

HOWELL, D.T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 90(3): 41-53, 1964.

ICID - Irrigation Committee of the Irrigation and Drainage. Describing irrigation efficiency and uniformity. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASAE. 104(1): 35-41, 1978.

ISRAELSEN, O.W. Irrigation principles and practices. 2nd ed. New York, John Wiley and Sons Inc. 1953, 405 p.

JENSEN, M.E. Evaluating irrigation efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 93(1): 83-98, 1967.

KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. Transaction of the ASAE. St. Joseph, 21(4): 682-686, 1978.

KELLER, J. Sprinkler Irrigation. SCS National Engineering Handbook. Section 15, 2nd ed. Logan, Utah, USA. 1980, 315 p.

- NORUM, D.I.; PERI, G. & HART, W.E. Application of system optimal depth concept. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 105(4): 357-266, 1979.
- ROSENFELD, U.; BAPTISTELA, J.R.; LEME, E.J.A. & CAMPOS, H. Uniformidade de aspersão - Avaliação da eficiência de aplicação e de armazenamento. In: V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, São Paulo, 1980. Anais, vol. 2.
- SATTO, J. Avaliação do desempenho dos aspersores. São Carlos, 1978. 77 p. (Mestrado - Universidade de São Paulo).
- SCALOPPI, E.J. Eficiência de aplicação em sistemas de irrigação por aspersão. Revista Item. Brasília, 16: 37-40, 1984.
- SENIWONGSE, C.; WUL, I.P. & REYNOLDS, W.N. Skewness and kurtosis influence on uniformity coefficient and application to sprinkler irrigation design. Transaction of the ASAE. St. Joseph, 15(2): 266-271, 1972.
- VARLEV, I. Evaluation of nonuniformity in irrigation and yield. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 102(1): 149-164, 1976.
- WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE, 105(2): 129-136.
- WALKER, W.R. Sprinkler trickle irrigation. 4^a ed. Colorado, State University Engineering Renewal Growth Fort Collins, 1980.

WILCOX, J.C. & MCDOUGALD, J.M. Water distribution patterns from rotay sprinklers. Canada Journal of Agricultural Science. 35: 217-228, 1955.

WILCOX, J.C. & SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. Scientific. 27 (11): 563-583, 1947.

WILLARDSON, L.S. Attainable irrigation efficiencies. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 98(2): 239-246.

APENDICE

APÊNDICE 1

DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA SUPERPOSIÇÃO DOS
 ASPERSORES PARA DIVERSOS ESPAÇAMENTOS

TABELA 1.1. Dados de precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 24x30 e 30x30.

		24 x 30				30 x 30				
		Precipitação (mm)								
A ₁		17,71	6,62	6,20	20,29	15,36	8,15	7,38	7,22	12,73
		13,75	18,08	16,55	14,01	9,93	13,92	17,15	13,41	7,98
		19,27	19,78	19,01	15,36	8,49	19,69	20,88	16,13	8,23
		14,26	18,93	22,75	14,18	8,91	15,02	24,62	13,58	7,98
		19,78	7,98	7,64	20,29	16,55	9,25	8,49	7,98	13,41
A ₂		29,11	16,13	16,30	28,10	23,94	13,92	13,67	13,58	24,53
		20,71	16,13	18,67	21,48	12,56	17,06	17,40	17,40	12,56
		22,15	17,74	18,93	24,45	14,77	17,66	18,84	19,10	12,90
		21,31	17,91	18,50	21,48	13,41	17,66	18,16	16,98	12,99
						22,41	12,31	13,58	12,56	24,11
B ₁		26,74	15,41	10,70	19,99	14,77	15,28	12,48	11,97	18,33
		22,79	24,57	24,45	23,55	11,20	18,08	23,30	25,21	17,57
		24,19	28,27	28,52	25,21	11,46	19,10	29,41	28,14	18,08
		22,15	25,85	25,72	21,77	13,24	18,72	25,59	21,26	16,68
		23,94	13,88	10,06	17,19	12,35	13,24	12,22	11,20	16,04
B ₂		16,30	10,70	10,31	17,32	10,95	11,08	11,08	10,95	10,57
		17,44	20,88	21,14	16,68	11,33	16,81	20,75	16,55	10,70
		19,99	22,79	23,17	18,46	10,57	21,14	22,92	19,86	9,93
		17,19	20,63	21,77	16,17	11,08	16,81	21,90	15,53	10,44
		14,39	9,68	14,01	16,17	9,68	10,19	10,57	14,64	9,17

TABELA 1.2. Dados de precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 30x36 e 36x36.

		30 x 36					36 x 36				
		Precipitação (mm)									
A ₁	13,58	8,15	7,30	6,79	10,36	9,59	6,71	8,91	8,32	3,23	9,93
	5,69	7,81	7,81	7,81	3,73	4,33	4,24	9,00	8,49	3,14	3,65
	9,51	15,28	18,76	14,26	9,59	9,51	10,02	13,58	14,68	10,02	0,59
	9,85	15,87	20,97	12,82	9,51	9,85	9,76	15,79	14,18	9,93	9,51
	6,88	10,44	15,19	9,17	5,43	5,60	5,60	16,13	10,19	4,24	5,35
A ₂	13,75	8,49	8,49	7,47	11,20	10,53	6,20	9,76	8,83	3,82	10,27
	19,18	8,57	8,32	9,00	19,86	16,13	8,49	8,66	9,00	8,40	14,26
	12,05	13,07	12,82	13,24	12,22	8,83	12,48	12,05	10,36	11,88	7,81
	12,39	17,66	19,35	18,42	11,54	9,34	12,90	18,42	18,33	11,63	8,74
	11,97	18,08	18,76	17,23	10,19	8,74	13,75	18,08	17,40	10,44	7,81
B ₁	12,90	12,65	13,84	12,48	12,65	9,34	12,48	11,71	11,88	11,54	7,55
	18,59	8,57	8,57	9,25	20,63	16,04	8,57	8,91	8,83	8,49	14,77
	10,31	11,46	11,46	10,70	13,75	8,28	5,09	11,84	13,75	10,57	8,15
	9,17	15,28	15,15	14,39	14,77	8,66	9,04	13,11	15,53	12,99	9,42
	13,50	17,19	25,46	28,14	16,81	13,50	14,13	15,79	24,83	18,21	14,64
B ₂	13,88	17,32	25,21	21,90	17,95	13,88	13,62	17,06	19,48	18,08	14,13
	7,26	12,22	13,50	12,35	10,31	7,00	6,49	10,57	14,39	10,06	7,13
	8,91	10,95	12,22	10,31	13,11	7,16	4,33	11,97	13,37	10,44	8,15
	8,79	11,08	11,08	10,95	7,89	6,37	7,38	11,46	11,71	6,62	6,24
	7,13	11,08	11,46	10,31	7,13	7,00	4,97	12,10	11,46	4,46	7,13
	11,46	16,04	20,50	16,42	10,82	11,46	11,71	14,77	14,77	11,71	10,82
	11,33	16,68	22,15	14,51	10,95	11,33	11,59	17,06	14,01	10,70	10,95
	6,24	10,95	11,46	10,70	6,24	6,11	4,84	12,10	11,20	5,09	6,24
	8,66	10,19	10,57	14,64	7,77	6,24	6,88	11,08	11,20	10,06	6,37

TABELA 1.3. Dados de precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 36x42 e 42x42.

		42 x 42											
		36 x 42											
		Precipitação (mm)											
A ₁	9,59	6,71	8,91	8,32	3,23	9,93	9,59	2,72	7,47	9,93	4,75	2,29	9,93
	2,55	4,24	9,00	8,40	2,72	1,78	2,55	2,89	5,43	9,68	3,73	2,63	1,78
	5,26	4,07	9,59	9,17	4,41	5,35	5,26	4,07	4,50	9,34	4,92	4,41	5,35
	10,86	10,86	8,57	10,86	10,95	10,86	10,86	10,86	7,98	0,59	10,86	10,95	10,86
	7,81	5,60	11,20	8,91	5,52	6,96	7,81	5,60	5,52	8,57	6,03	5,52	6,96
A ₂	2,80	4,84	16,13	10,19	3,73	3,14	2,80	3,57	11,29	11,12	5,26	3,65	3,14
	10,53	6,20	9,76	8,83	3,82	10,27	10,53	2,97	7,47	10,10	5,18	2,89	10,27
	15,86	8,49	8,66	9,00	8,32	14,01	15,19	5,52	8,57	9,34	8,40	3,48	13,92
	4,67	7,55	9,17	7,64	7,47	3,65	4,41	4,33	8,83	9,34	6,28	3,31	3,65
	8,91	12,31	12,14	12,31	11,71	8,40	8,83	9,34	10,78	9,68	9,76	9,00	8,40
B ₁	9,08	11,37	17,74	16,64	8,74	8,74	9,08	10,86	11,03	15,11	8,83	8,66	8,74
	8,66	11,63	11,88	12,31	9,51	7,55	8,66	8,83	10,44	9,76	9,08	7,22	7,55
	5,69	8,91	9,34	9,08	8,32	4,33	5,35	5,35	9,34	9,59	8,15	3,57	4,33
	15,45	8,40	8,91	8,83	8,32	14,26	14,43	5,94	8,91	9,17	8,06	3,48	14,18
	8,28	5,09	11,84	13,75	10,57	8,15	8,28	3,57	5,47	14,13	13,62	4,97	7,64
B ₂	4,20	5,22	12,10	15,53	11,71	4,84	4,20	4,71	5,86	13,50	14,13	6,37	4,84
	11,46	11,33	12,10	16,30	11,46	11,84	11,46	11,33	9,04	11,08	10,44	9,29	11,84
	15,92	15,41	12,61	15,28	15,28	16,68	15,92	15,41	12,61	6,62	8,66	15,28	16,68
	7,89	7,13	9,17	12,73	11,71	7,77	7,89	7,13	5,47	8,79	11,46	7,89	7,77
	3,57	4,20	10,57	14,39	9,17	4,20	3,57	3,95	4,84	11,46	12,10	5,98	4,20
	7,26	4,33	11,97	13,37	10,44	8,15	7,26	3,06	5,35	13,11	13,50	5,47	7,77
	6,37	7,38	11,46	11,71	6,62	6,24	6,37	4,97	7,77	12,10	7,38	4,97	6,24
	4,84	4,97	12,10	11,46	4,46	4,46	4,84	4,84	5,98	12,10	5,60	4,46	4,46
	7,26	5,98	10,19	10,06	5,47	7,26	7,26	5,98	5,86	9,04	5,35	5,47	7,26
	12,22	11,59	10,57	9,17	11,08	11,84	12,22	11,59	10,57	0,00	9,17	11,08	11,84
	6,49	5,73	11,08	9,55	5,86	6,75	6,49	5,73	5,98	8,91	5,73	5,86	6,75
	5,09	4,84	12,10	11,20	5,09	4,84	5,09	4,71	5,98	11,84	5,60	5,09	4,84
	6,24	6,88	11,08	11,20	10,06	6,37	6,24	4,46	7,77	11,71	6,62	8,66	6,37

TABELA 1.4. Dados de precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 42x48 e 48x48.

	42 x 48										48 x 48									
	Precipitação (mm)					Precipitação (mm)					Precipitação (mm)					Precipitação (mm)				
A ₁	9,59	2,72	7,47	9,93	4,75	2,29	9,93	9,59	2,72	3,48	8,49	6,37	3,82	2,29	9,93	9,59	2,72	7,47	9,93	4,75
	2,55	2,89	5,43	9,68	3,73	2,63	1,78	2,55	2,89	4,07	6,11	5,01	3,65	2,63	1,78	2,55	2,89	5,43	9,68	3,73
	3,48	4,07	4,50	9,34	4,84	3,99	3,48	3,48	4,07	4,50	4,24	5,09	4,84	3,99	3,48	3,48	4,07	4,50	9,34	4,84
	6,62	4,92	4,16	0,42	5,35	5,35	6,62	6,62	4,92	4,16	0,00	0,42	5,35	5,35	6,62	6,62	4,92	4,16	0,42	5,35
	8,83	6,71	3,82	0,17	5,60	6,54	8,32	8,83	6,71	3,82	0,00	0,17	5,60	6,54	8,32	8,83	6,71	3,82	0,17	5,60
	5,01	4,84	5,52	8,57	6,03	5,01	4,75	5,01	4,84	5,52	2,89	5,69	6,03	5,01	4,75	5,01	4,84	5,52	8,57	6,03
	2,80	3,57	11,29	11,12	5,26	3,65	3,14	2,80	3,57	10,02	6,28	6,20	5,18	3,65	3,14	2,80	3,57	10,02	6,28	6,20
	10,53	2,97	7,47	10,10	5,18	2,89	10,27	10,53	2,97	4,24	7,81	6,45	4,24	2,89	10,27	10,53	2,97	7,47	10,10	5,18
	15,19	5,52	8,57	9,34	8,40	3,48	13,92	15,19	4,75	5,60	9,25	8,74	3,57	3,40	13,92	15,19	4,75	8,57	9,34	8,40
	4,24	4,33	8,83	9,34	6,28	3,23	3,40	4,24	4,07	5,60	9,00	7,98	2,12	3,23	3,40	4,24	4,33	8,83	9,34	6,28
A ₂	4,67	4,41	8,15	9,42	7,05	4,58	4,24	4,67	4,33	5,18	8,32	6,88	4,33	4,58	4,24	4,67	4,33	8,15	9,42	7,05
	8,66	10,36	8,15	7,38	7,05	8,74	8,40	8,66	10,36	7,72	4,07	3,82	6,96	8,74	8,40	8,66	10,36	8,15	7,38	7,05
	9,00	9,17	7,71	8,15	7,30	7,81	8,49	9,00	9,17	7,64	4,33	3,90	7,30	7,81	8,49	9,00	9,17	7,71	8,15	7,30
	5,01	5,26	8,23	9,59	6,28	3,99	4,33	5,01	5,26	5,43	8,32	6,37	3,99	3,99	4,33	5,01	5,26	8,23	9,59	6,28
	4,75	5,18	9,34	9,59	8,15	3,40	3,82	4,75	4,84	5,77	9,59	8,66	3,40	3,40	3,82	4,75	4,84	9,34	9,59	8,15
	14,43	5,94	8,91	9,17	8,06	3,48	14,18	14,43	4,92	6,45	9,17	8,40	3,23	3,40	14,18	14,43	4,92	8,91	9,17	8,06
	8,28	3,57	5,47	14,13	13,62	4,97	7,64	8,28	3,57	3,95	7,77	14,01	8,02	4,46	7,64	8,28	3,57	5,47	14,13	13,62
	4,20	4,71	5,86	13,50	14,13	6,37	4,84	4,20	4,71	5,35	7,26	12,10	8,79	6,37	4,84	4,20	4,71	5,86	13,50	14,13
	7,00	7,51	8,02	11,08	10,44	8,02	7,26	7,00	7,51	8,02	8,02	5,22	8,28	8,02	7,26	7,00	7,51	8,02	11,08	10,44
	13,88	12,61	8,91	2,55	4,20	8,53	13,88	13,88	12,61	8,91	2,55	0,00	4,20	8,53	13,88	13,88	12,61	8,91	2,55	4,20
B ₁	9,93	8,91	4,71	4,07	4,46	8,91	10,31	9,93	8,91	4,71	4,07	0,00	4,46	8,91	10,31	9,93	8,91	4,71	4,07	4,46
	4,46	4,84	5,47	8,79	11,46	7,00	4,84	4,46	4,84	5,47	5,09	7,51	7,64	7,00	4,84	4,46	4,84	5,47	8,79	11,46
	3,57	3,95	4,84	11,46	12,10	5,98	4,20	3,57	3,95	4,58	5,73	9,17	8,91	5,98	4,20	3,57	3,95	4,84	11,46	12,10
	7,26	3,06	5,35	13,11	13,50	5,47	7,77	7,26	3,06	4,07	6,49	13,24	8,53	5,09	7,77	7,26	3,06	5,35	13,11	13,50
	6,37	4,97	7,77	12,10	7,38	4,97	6,24	6,37	4,97	5,35	8,40	7,77	5,73	4,97	6,24	6,37	4,97	7,77	12,10	7,38
	4,84	4,84	5,98	12,10	5,60	4,46	4,46	4,84	4,84	5,86	5,98	6,24	5,60	4,46	4,46	4,84	4,84	5,98	12,10	5,60
	5,09	5,98	5,86	9,04	5,35	5,47	4,58	5,09	5,98	5,86	4,71	4,33	5,35	5,47	4,58	5,09	5,98	5,86	9,04	5,35
	8,02	5,86	5,98	0,00	4,46	4,84	8,28	8,02	5,86	5,98	0,00	0,00	4,46	4,84	8,28	8,02	5,86	5,98	0,00	4,46
	7,38	5,73	4,58	0,00	4,71	6,24	7,64	7,38	5,73	4,73	0,00	0,00	4,71	6,24	7,64	7,38	5,73	4,58	0,00	4,71
	5,47	5,73	5,98	8,91	5,73	5,86	5,35	5,47	5,73	5,98	3,82	5,09	5,73	5,86	5,35	5,47	5,73	5,98	8,91	5,73
B ₂	5,09	4,71	5,98	11,84	5,60	5,09	4,84	5,09	4,71	5,86	5,73	6,24	5,60	5,09	4,84	5,09	4,71	5,98	11,84	5,60
	6,24	4,46	7,77	11,71	6,62	8,66	6,37	6,24	4,46	5,35	8,40	7,13	5,22	8,66	6,37	6,24	4,46	7,77	11,71	6,62

Tabela 1.5. Dados se precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 48x54 e 54x54.

		Precipitação (mm)																	
		48 x 54								54 x 54									
A ₁		9,59	2,72	3,48	8,49	6,37	3,82	2,29	9,93	9,59	2,72	3,48	4,50	4,92	5,43	3,82	2,29	9,93	
		2,55	2,89	4,07	6,11	5,01	3,65	2,63	1,78	2,55	2,89	4,07	4,50	4,92	5,43	3,65	2,63	1,78	
A ₂		3,48	4,07	4,50	4,24	5,08	4,84	3,99	3,48	3,48	4,07	4,50	4,24	0,00	5,08	4,84	3,99	3,48	
		4,84	4,92	4,16	0,00	0,42	5,26	4,92	4,75	4,84	4,92	4,16	0,00	0,00	0,42	5,26	4,92	4,75	
B ₁		4,58	0,76	0,00	0,00	0,00	0,08	0,93	4,07	4,58	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,93	4,07	
		6,03	5,94	3,82	0,00	0,17	5,60	6,03	6,11	6,03	5,94	3,82	0,00	0,00	0,17	5,60	6,03	6,11	
B ₂		5,01	4,84	5,52	2,89	5,69	6,03	5,01	4,75	5,01	4,84	5,52	2,89	0,00	5,69	6,03	5,01	4,75	
		2,80	3,57	10,02	6,28	6,20	5,18	3,65	3,14	2,80	3,57	10,02	5,01	1,36	6,11	5,18	3,65	3,14	
		10,53	2,97	4,24	7,81	6,45	4,24	2,89	10,27	10,53	2,97	4,24	4,58	4,16	5,52	4,24	2,89	10,27	
		15,19	4,75	5,60	9,25	8,74	3,57	3,40	13,92	15,19	4,75	4,84	6,28	8,66	3,90	3,48	3,40	13,92	
		4,24	4,07	5,60	9,00	7,98	2,12	3,23	3,40	4,24	4,07	5,35	5,77	7,64	3,82	2,12	3,23	3,40	
		4,50	4,33	5,18	8,32	6,88	4,33	4,50	3,99	4,50	4,33	5,09	5,35	5,77	4,16	4,33	4,50	3,99	
		4,50	5,43	5,09	4,07	3,57	4,24	4,33	4,24	4,50	5,43	5,09	3,65	0,51	3,48	4,24	4,33	4,24	
		8,57	8,66	4,84	0,00	0,42	5,52	7,89	8,15	8,57	8,66	4,84	0,00	0,00	0,42	5,52	7,89	8,15	
		5,35	5,60	5,43	4,33	3,73	4,50	4,58	5,26	5,35	5,60	5,43	4,24	0,08	3,73	4,50	4,58	5,26	
		4,41	5,09	5,43	8,32	6,37	3,99	3,82	3,82	4,41	5,09	5,43	5,52	5,09	4,07	3,99	3,82	3,82	
		4,75	4,84	5,77	9,59	8,66	3,40	3,40	3,82	4,75	4,84	5,43	6,03	8,66	3,90	3,40	3,40	3,82	
		14,43	4,92	6,45	9,17	8,40	3,23	3,40	14,18	14,43	4,92	5,43	6,71	8,40	3,57	3,14	3,40	14,18	
		8,28	3,57	3,95	7,77	14,01	8,02	4,46	7,64	8,28	3,57	3,95	6,24	7,64	8,40	7,51	4,46	7,64	
		4,20	4,71	5,35	7,26	12,10	8,79	6,37	4,84	4,20	4,71	5,35	6,75	5,86	6,75	8,79	6,37	4,84	
		7,00	7,51	8,02	8,02	5,22	8,28	8,02	7,26	7,00	7,51	8,02	8,02	2,16	3,06	8,28	8,02	7,26	
		9,42	8,79	7,89	2,55	0,00	4,20	7,26	9,29	9,42	8,79	7,89	2,55	0,00	0,00	4,20	7,26	9,29	
		7,89	6,11	1,02	0,00	0,00	0,00	2,16	7,51	7,89	6,11	1,02	0,00	0,00	0,00	2,16	7,51	7,89	
		6,49	6,62	4,71	4,07	0,00	4,46	8,02	7,38	6,49	6,62	4,71	4,07	0,00	0,00	4,46	8,02	7,38	
		4,46	4,84	5,47	5,09	7,51	7,64	7,00	4,84	4,46	4,84	5,47	5,09	3,82	3,69	7,64	7,00	4,84	
		3,57	3,95	4,58	5,73	9,17	8,91	5,98	4,20	3,57	3,95	4,58	5,47	3,44	5,98	8,91	5,98	4,20	
		7,26	3,06	4,07	6,49	13,24	8,53	5,09	7,77	7,26	3,06	4,07	5,22	6,62	8,28	8,15	5,09	7,77	
		6,37	4,97	5,35	8,40	7,77	5,73	4,97	6,24	6,37	4,97	5,35	5,98	4,07	6,11	5,73	4,97	6,24	
		4,84	4,84	5,86	5,98	6,24	5,60	4,46	4,46	4,84	4,84	5,86	5,86	0,13	6,24	5,60	4,46	4,46	
		5,09	5,98	5,86	4,71	4,33	5,35	5,47	4,58	5,09	5,98	5,86	4,71	0,00	4,33	5,35	5,47	4,58	
		5,86	5,86	5,98	0,00	0,00	4,46	4,84	5,60	5,86	5,86	5,98	0,00	0,00	0,00	4,46	4,84	5,60	
		3,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,07	3,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,07	
		6,37	5,73	4,58	0,00	0,00	4,71	6,24	6,24	6,37	5,73	4,58	0,00	0,00	0,00	4,71	6,24	6,24	
		5,47	5,73	5,98	3,82	5,09	5,73	5,86	5,35	5,47	5,73	5,98	3,82	0,00	5,09	5,73	5,86	5,35	
		5,09	4,71	5,86	5,73	6,24	5,60	5,09	4,84	5,09	4,71	5,86	5,60	0,13	6,24	5,60	5,09	4,84	
		6,24	4,46	5,35	8,40	7,13	5,22	8,66	6,37	6,24	4,46	5,35	5,98	3,82	5,73	5,22	8,66	6,37	

TABELA 1.6. Dados de precipitação da superposição dos aspersores para os espaçamentos 54x60 e 60x60.

		60 x 60										54 x 60									
		Precipitação (mm)																			
A ₁	9,59	2,72	3,48	4,50	0,93	3,99	5,43	3,82	2,29	9,93	9,59	2,72	3,48	4,50	4,92	5,43	3,82	2,29	9,93	9,59	
	2,55	2,89	4,07	4,75	0,08	1,36	4,92	3,65	2,63	1,78	2,55	2,89	4,07	4,75	1,44	4,92	3,65	2,63	1,78	2,55	
	3,48	4,07	4,50	4,24	0,00	0,00	5,09	4,84	3,99	3,48	3,48	4,07	4,50	4,24	0,00	5,09	4,84	3,99	3,48	3,48	
	4,84	4,92	4,16	0,00	0,00	0,00	0,42	5,26	4,92	4,75	4,84	4,92	4,16	0,00	0,00	0,42	5,26	4,92	4,75	4,75	
	2,80	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	2,21	2,80	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	2,21	2,21	
	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	1,87	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	1,87	1,87	
	6,03	5,94	3,82	0,00	0,00	0,00	0,17	5,60	6,03	6,11	6,03	5,94	3,82	0,00	0,00	0,17	5,60	6,03	6,11	6,11	
	5,01	4,84	5,52	2,89	0,00	0,00	5,69	6,03	5,01	4,75	5,01	4,84	5,52	2,89	0,00	5,69	6,03	5,01	4,75	4,75	
	2,80	3,57	10,02	5,01	0,08	1,27	6,11	5,18	3,65	3,14	2,80	3,57	10,02	5,01	1,36	6,11	5,18	3,65	3,14	3,14	
	10,53	2,97	4,24	4,58	0,93	3,23	5,52	4,24	2,89	10,27	10,53	2,97	4,24	4,58	4,16	5,52	4,24	2,89	10,27	10,27	
A ₂	15,19	4,75	4,84	5,52	5,69	3,82	3,82	3,48	3,40	13,92	15,19	4,75	4,84	6,28	8,66	3,90	3,48	3,40	13,92	13,92	
	4,24	4,07	5,35	5,52	4,41	3,48	3,82	2,12	3,23	3,40	4,24	4,07	5,35	5,77	7,64	3,82	2,12	3,23	3,40	3,40	
	4,50	4,33	5,09	5,26	2,80	3,06	4,16	4,33	4,50	3,99	4,50	4,33	5,09	5,35	5,77	4,16	4,33	4,50	3,99	3,99	
	4,33	5,43	5,09	3,65	0,08	0,42	3,48	4,24	4,24	3,99	4,33	5,43	5,09	3,65	0,51	3,48	4,24	4,24	3,99	3,99	
	4,41	3,73	2,21	0,00	0,00	0,00	0,17	2,80	3,48	3,99	4,41	3,73	2,21	0,00	0,00	0,17	2,80	3,48	3,99	3,99	
	4,92	5,09	2,63	0,00	0,00	0,00	0,25	2,72	4,67	4,92	4,92	5,09	2,63	0,00	0,00	0,25	2,72	4,67	4,92	4,92	
	4,75	5,43	5,43	4,24	0,00	0,08	3,73	4,50	4,41	4,75	4,75	5,43	5,43	4,24	0,08	3,73	4,50	4,41	4,75	4,75	
	4,41	5,09	5,43	5,52	2,29	2,80	4,07	3,99	3,82	3,82	4,41	5,09	5,43	5,52	5,09	4,07	3,99	3,82	3,82	3,82	
	4,75	4,84	5,43	5,69	5,09	3,90	3,90	3,40	3,40	3,82	4,75	4,84	5,43	6,03	8,66	3,90	3,40	3,40	3,82	3,82	
	14,43	4,92	5,43	5,69	5,94	3,57	3,48	3,14	3,40	14,18	14,43	4,92	5,43	6,71	8,40	3,57	3,14	3,40	14,18	14,18	
B ₁	8,28	3,57	3,95	6,24	6,11	2,04	7,89	7,51	4,46	7,64	8,28	3,57	3,95	6,24	7,64	8,40	7,51	4,46	7,64	7,64	
	4,20	4,71	5,35	6,75	5,35	0,51	6,75	8,79	6,37	4,84	4,20	4,71	5,35	6,75	5,86	6,75	8,79	6,37	4,84	4,84	
	7,00	7,51	8,02	8,02	2,16	0,00	3,06	8,28	8,02	7,26	7,00	7,51	8,02	8,02	2,16	3,06	8,28	8,02	7,26	7,26	
	9,42	8,79	7,89	2,55	0,00	0,00	0,00	4,20	7,26	9,29	9,42	8,79	7,89	2,55	0,00	0,00	4,20	7,26	9,29	9,29	
	3,44	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	2,93	3,44	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	2,93	2,93	2,93	
	4,46	3,82	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	4,58	4,46	3,82	1,02	0,00	0,00	0,00	1,27	4,58	4,58	4,58	
	6,49	6,62	4,71	4,07	0,00	0,00	0,00	4,46	8,02	7,38	6,49	6,62	4,71	4,07	0,00	0,00	4,46	8,02	7,38	7,38	
	4,46	4,84	5,47	5,09	3,82	0,00	3,69	7,64	7,00	4,84	4,46	4,84	5,47	5,09	3,82	3,69	7,64	7,00	4,84	4,84	
	3,57	3,95	4,58	5,47	3,18	0,25	5,98	8,91	5,98	4,20	3,57	3,95	4,58	5,47	3,44	5,98	8,91	5,98	4,20	4,20	
	7,26	3,06	4,07	5,22	5,35	1,66	7,89	8,15	5,09	7,77	7,26	3,06	4,07	5,22	6,62	8,28	8,15	5,09	7,77	7,77	
B ₂	6,37	4,97	5,35	5,98	1,66	2,42	6,11	5,73	4,97	6,24	6,37	4,97	5,35	5,98	4,07	6,11	5,73	4,97	6,24	6,24	
	4,84	4,84	5,86	5,86	0,00	0,13	6,24	5,60	4,46	4,46	4,84	4,84	5,86	5,86	0,13	6,24	5,60	4,46	4,46	4,46	
	5,09	5,98	5,86	4,71	0,00	0,00	4,33	5,35	5,47	4,58	5,09	5,98	5,86	4,71	0,00	4,33	5,35	5,47	4,58	4,58	
	5,86	5,86	5,98	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46	4,84	5,60	5,86	5,86	5,98	0,00	0,00	0,00	4,46	4,84	5,60	5,60	
	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	
	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,67	
	6,37	5,73	4,58	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71	6,24	6,24	6,37	5,73	4,58	0,00	0,00	0,00	4,71	6,24	6,24	6,24	
	5,47	5,73	5,98	3,82	0,00	0,00	5,09	5,73	5,86	5,35	5,47	5,73	5,98	3,82	0,00	5,09	5,73	5,86	5,35	5,35	
	5,09	4,71	5,86	5,60	0,00	0,13	6,24	5,60	5,09	4,84	5,09	4,71	5,86	5,60	0,13	6,24	5,60	5,09	4,84	4,84	
	6,24	4,46	5,35	5,98	1,40	2,42	5,73	5,22	8,66	6,37	6,24	4,46	5,35	5,98	3,82	5,73	5,22	8,66	6,37	6,37	

APÊNDICE 2

VALORES DE PRECIPITAÇÕES ADIMENSIONAIS PARA
DIVERSAS FRAÇÕES DE ÁREA E ESPAÇAMENTOSTABELA 2.1. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_1 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 24x24									
Experimental	1,33	1,26	1,13	0,95	0,90	0,90	0,89	0,88	0,84
Dist.linear	1,25	1,19	1,13	1,08	1,02	0,96	0,90	0,85	0,79
Dist.normal	1,25	1,15	1,08	1,03	0,99	0,95	0,90	0,84	0,77
Espaçamento 24x30									
Experimental	1,30	1,27	1,23	1,21	1,14	0,98	0,91	0,88	0,49
Dist.linear	1,44	1,33	1,23	1,13	1,03	0,92	0,82	0,72	0,61
Dist.normal	1,42	1,27	1,17	1,08	1,00	0,91	0,81	0,71	0,59
Espaçamento 30x30									
Experimental	1,63	1,32	1,22	1,09	1,05	0,74	0,68	0,65	0,64
Dist.linear	1,52	1,40	1,27	1,15	1,02	0,90	0,78	0,65	0,53
Dist.normal	1,50	1,32	1,20	1,10	1,05	0,91	0,79	0,68	0,52
Espaçamento 30x36									
Experimental	1,52	1,37	1,23	1,00	0,91	0,81	0,75	0,72	0,65
Dist.linear	1,52	1,39	1,27	1,14	1,02	0,89	0,77	0,64	0,51
Dist.normal	1,50	1,32	1,20	1,09	1,00	0,90	0,79	0,68	0,51
Espaçamento 36x36									
Experimental	1,66	1,16	1,15	1,12	1,10	1,03	0,74	0,64	0,47
Dist.linear	1,54	1,41	1,28	1,15	1,02	0,89	0,76	0,62	0,49
Dist.normal	1,52	1,24	1,21	1,11	1,00	0,90	0,76	0,66	0,50
Espaçamento 36x42									
Experimental	1,46	1,40	1,30	1,20	1,13	0,90	0,72	0,56	0,42
Dist.linear	1,60	1,45	1,31	1,16	1,02	0,87	0,73	0,58	0,44
Dist.normal	1,56	1,57	1,23	1,11	1,00	0,89	0,77	0,64	0,47
Espaçamento 42x42									
Experimental	1,70	1,58	1,48	1,17	0,87	0,82	0,67	0,49	0,43
Dist.linear	1,69	1,52	1,35	1,19	1,02	0,85	0,68	0,51	0,34
Dist. normal	1,65	1,42	1,27	1,13	1,00	0,88	0,75	0,59	0,36

TABELA 2.1. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_1 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 42x48									
Experimental	1,80	1,58	1,19	0,98	0,90	0,85	0,68	0,56	0,48
Dist.linear	1,69	1,52	1,35	1,18	1,01	0,85	0,68	0,51	0,34
Dist.normal	1,64	1,42	1,27	1,13	1,00	0,87	0,73	0,56	0,37
Espaçamento 48x48									
Experimental	1,78	1,34	1,23	1,05	0,99	0,84	0,75	0,61	0,53
Dist.linear	1,67	1,50	1,34	1,18	1,01	0,85	0,69	0,52	0,36
Dist.normal	1,63	1,42	1,26	1,13	1,00	0,87	0,74	0,59	0,37
Espaçamento 48x54									
Experimental	1,80	1,39	1,20	1,11	0,98	0,92	0,80	0,64	0,10
Dist.linear	1,76	1,58	1,39	1,20	1,01	0,83	0,64	0,45	0,26
Dist.normal	1,81	1,49	1,30	1,14	1,01	0,86	0,70	0,52	0,25
Espaçamento 54x54									
Experimental	1,56	1,41	1,28	1,23	1,08	0,95	0,75	0,37	0,00
Dist.linear	1,84	1,64	1,43	1,22	1,01	0,81	0,60	0,39	0,18
Dist.normal	1,82	1,54	1,34	1,17	1,00	0,84	0,66	0,46	0,20
Espaçamento 54x60									
Experimental	1,74	1,49	1,39	1,22	1,10	0,83	0,64	0,12	0,00
Dist.linear	1,99	1,75	1,50	1,26	1,01	0,77	0,53	0,28	0,04
Dist.normal	1,93	1,64	1,39	1,20	1,00	0,81	0,62	0,39	0,05
Espaçamento 60x60									
Experimental	1,93	1,60	1,52	1,30	1,11	0,84	0,30	0,00	0,00
Dist.linear	2,12	1,85	1,57	1,29	1,01	0,74	0,46	0,18	0,10
Dist.normal	2,06	1,71	1,44	1,22	1,01	0,75	0,55	0,30	0,00

TABELA 2.2. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_2 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 24x24									
Experimental	1,41	1,38	1,02	0,99	0,97	0,96	0,94	0,73	0,71
Dist.linear	1,37	1,28	1,20	1,11	1,03	0,94	0,86	0,77	0,69
Dist.normal	1,35	1,23	1,14	1,07	1,00	0,93	0,86	0,77	0,61
Espaçamento 24x30									
Experimental	1,36	1,32	1,07	1,04	1,00	0,90	0,87	0,79	0,78
Dist.linear	1,30	1,23	1,16	1,09	1,02	0,95	0,88	0,80	0,73
Dist.normal	1,29	1,18	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,82	0,73
Espaçamento 30x30									
Experimental	1,46	1,15	1,09	1,05	1,03	0,84	0,82	0,78	0,76
Dist.linear	1,32	1,24	1,17	1,09	1,02	0,94	0,86	0,79	0,71
Dist.normal	1,32	1,20	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,80	0,70
Espaçamento 30x36									
Experimental	1,40	1,55	1,28	0,96	0,93	0,90	0,87	0,74	0,62
Dist.linear	1,39	1,30	1,20	1,11	1,02	0,92	0,83	0,73	0,64
Dist.normal	1,36	1,23	1,14	1,07	1,00	0,93	0,86	0,77	0,64
Espaçamento 36x36									
Experimental	1,54	1,28	1,10	1,03	1,00	0,81	0,77	0,76	0,74
Dist.linear	1,39	1,29	1,20	1,11	1,01	0,92	0,83	0,73	0,64
Dist.normal	1,38	1,24	1,14	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,64
Espaçamento 36x42									
Experimental	1,57	1,25	1,19	0,93	0,90	0,89	0,86	0,84	0,76
Dist.linear	1,42	1,32	1,21	1,11	1,01	0,91	0,81	0,70	0,60
Dist.normal	1,41	1,26	1,17	1,08	1,00	0,92	0,84	0,74	0,60
Espaçamento 42x42									
Experimental	1,65	1,16	1,10	1,07	1,04	1,02	0,92	0,65	0,51
Dist.linear	1,47	1,36	1,24	1,13	1,01	0,90	0,78	0,67	0,55
Dist.normal	1,48	1,31	1,19	1,09	1,00	0,91	0,82	0,70	0,55

TABELA 2.2. Valores de precipitações adimensionais do aspersor A_2 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 42x48									
Experimental	1,35	1,26	1,18	1,13	1,09	0,95	0,71	0,60	0,53
Dist.linear	1,52	1,39	1,26	1,14	1,01	0,88	0,76	0,63	0,51
Dist.normal	1,49	1,33	1,21	1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	0,52
Espaçamento 48x48									
Experimental	1,46	1,35	1,29	1,11	0,87	0,74	0,67	0,62	0,52
Dist.linear	1,60	1,45	1,30	1,16	1,01	0,86	0,72	0,57	0,45
Dist.normal	1,60	1,39	1,25	1,12	1,00	0,88	0,76	0,62	0,44
Espaçamento 43x54									
Experimental	1,59	1,45	1,05	0,94	0,84	0,78	0,74	0,66	0,59
Dist.linear	1,63	1,47	1,32	1,16	1,01	0,86	0,70	0,55	0,40
Dist.normal	1,65	1,43	1,27	1,13	1,00	0,87	0,74	0,58	0,37
Espaçamento 54x54									
Experimental	1,68	1,13	1,06	1,00	0,89	0,83	0,78	0,71	0,66
Dist.linear	1,63	1,48	1,32	1,17	1,01	0,85	0,70	0,54	0,38
Dist.normal	1,69	1,45	1,28	1,13	1,00	0,86	0,71	0,54	0,35
Espaçamento 54x60									
Experimental	1,46	1,18	1,11	1,03	0,94	0,87	0,83	0,74	0,48
Dist.linear	1,68	1,51	1,34	1,18	1,01	0,84	0,68	0,51	0,34
Dist.normal	1,76	1,50	1,31	1,15	1,00	0,85	0,68	0,51	0,29
Espaçamento 60x60									
Experimental	1,33	1,23	1,15	1,07	0,98	0,92	0,84	0,74	0,06
Dist.linear	1,70	1,53	1,35	1,18	1,01	0,84	0,66	0,49	0,32
Dist.normal	1,78	1,54	1,33	1,17	1,00	0,84	0,67	0,48	0,22

TABELA 2.3. Valores de precipitações adimensionais de aspersor B_1 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 24x24									
Experimental	1,26	1,13	1,10	1,04	0,98	0,96	0,93	0,92	0,89
Dist.linear	1,18	1,14	1,09	1,05	1,01	0,97	0,93	0,89	0,85
Dist.normal	1,17	1,11	1,07	1,03	1,00	0,97	0,96	0,90	0,84
Espaçamento 24x30									
Experimental	1,30	1,19	1,16	1,12	1,10	1,05	1,00	0,79	0,64
Dist.linear	1,30	1,23	1,16	1,09	1,02	0,95	0,86	0,80	0,73
Dist.normal	1,33	1,21	1,13	1,06	1,00	0,95	0,88	0,81	0,69
Espaçamento 30x30									
Experimental	1,62	1,34	1,10	1,04	1,01	0,88	0,76	0,71	0,69
Dist.linear	1,45	1,33	1,22	1,12	1,02	0,92	0,82	0,72	0,61
Dist.normal	1,42	1,26	1,16	1,08	1,00	0,93	0,84	0,74	0,60
Espaçamento 30x36									
Experimental	1,74	1,19	1,05	0,99	0,93	0,85	0,79	0,74	0,71
Dist.linear	1,45	1,34	1,23	1,13	1,02	0,91	0,80	0,69	0,59
Dist.normal	1,47	1,20	1,19	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,56
Espaçamento 36x36									
Experimental	1,50	1,29	1,17	1,13	1,07	0,87	0,78	0,69	0,59
Dist.linear	1,49	1,36	1,26	1,14	1,02	0,90	0,78	0,66	0,54
Dist.normal	1,47	1,31	1,19	1,09	1,00	0,91	0,81	0,70	0,54
Espaçamento 36x42									
Experimental	1,50	1,39	1,22	1,14	1,11	1,01	0,79	0,70	0,42
Dist.linear	1,52	1,39	1,27	1,14	1,01	0,89	0,76	0,64	0,51
Dist.normal	1,48	1,32	1,20	1,09	1,00	0,81	0,80	0,69	0,53
Espaçamento 42x42									
Experimental	1,59	1,48	1,29	1,18	0,93	0,86	0,67	0,60	0,47
Dist.linear	1,60	1,46	1,31	1,16	1,02	0,87	0,72	0,57	0,43
Dist.normal	1,56	1,37	1,29	1,12	1,01	0,90	0,77	0,64	0,45

TABELA 2.3. Valores de precipitações adimensionais do aspersor B₁ para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 42x48									
Experimental	1,75	1,48	1,15	1,07	0,93	0,77	0,64	0,61	0,54
Dist.linear	1,60	1,46	1,31	1,16	1,01	0,86	0,72	0,57	0,42
Dist.normal	1,58	1,37	1,24	1,11	1,00	0,89	0,77	0,63	0,44
Espaçamento 48x48									
Experimental	1,78	1,31	1,18	1,12	1,03	0,81	0,71	0,66	0,58
Dist.linear	1,61	1,45	1,30	1,16	1,01	0,87	0,72	0,57	0,43
Dist.normal	1,57	1,37	1,23	1,11	1,00	0,89	0,77	0,62	0,43
Espaçamento 48x54									
Experimental	1,48	1,33	1,29	1,20	1,07	0,86	0,78	0,70	0,42
Dist.linear	1,59	1,47	1,32	1,17	1,01	0,86	0,70	0,55	0,39
Dist.normal	1,61	1,40	1,25	1,12	1,00	0,87	0,74	0,60	0,41
Espaçamento 54x54									
Experimental	1,54	1,47	1,38	1,23	1,09	0,90	0,78	0,66	0,19
Dist.linear	1,63	1,49	1,33	1,17	1,01	0,85	0,68	0,52	0,36
Dist.normal	1,62	1,42	1,27	1,13	1,00	0,88	0,75	0,60	0,41
Espaçamento 54x60									
Experimental	1,71	1,58	1,45	1,24	1,00	0,92	0,79	0,53	0,00
Dist.linear	1,65	1,60	1,40	1,21	1,01	0,82	0,62	0,42	0,23
Dist.normal	1,74	1,49	1,31	1,15	1,00	0,85	0,70	0,53	0,29
Espaçamento 60x60									
Experimental	1,84	1,73	1,49	1,23	1,05	0,91	0,70	0,12	0,00
Dist.linear	1,79	1,70	1,47	1,24	1,01	0,78	0,55	0,32	0,09
Dist.normal	1,87	1,55	1,38	1,17	1,02	0,85	0,67	0,45	0,16

TABELA 2.4. Valores de precipitações adimensionais do aspersor B_2 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 24x24									
Experimental	1,11	1,03	1,03	1,02	1,00	0,99	0,96	0,96	0,93
Dist.linear	1,08	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93
Dist.normal	1,09	1,05	1,03	1,02	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93
Espaçamento 24x30									
Experimental	1,32	1,22	1,20	1,07	1,00	0,97	0,94	0,83	0,62
Dist.linear	1,33	1,25	1,17	1,10	1,02	0,94	0,87	0,79	0,71
Dist.normal	1,30	1,20	1,12	1,06	1,00	0,94	0,68	0,80	0,71
Espaçamento 30x30									
Experimental	1,56	1,44	1,21	1,06	0,80	0,79	0,77	0,77	0,73
Dist.linear	1,42	1,32	1,22	1,12	1,02	0,92	0,82	0,72	0,62
Dist.normal	1,43	1,28	1,17	1,06	1,00	0,92	0,83	0,73	0,58
Espaçamento 30x36									
Experimental	1,45	1,27	1,00	0,96	0,95	0,94	0,90	0,75	0,62
Dist.linear	1,43	1,33	1,23	1,12	1,02	0,92	0,81	0,71	0,61
Dist.normal	1,43	1,28	1,18	1,09	1,00	0,92	0,82	0,72	0,57
Espaçamento 36x36									
Experimental	1,50	1,22	1,20	1,18	1,14	0,77	0,72	0,65	0,64
Dist.linear	1,46	1,35	1,24	1,13	1,02	0,90	0,79	0,68	0,57
Dist.normal	1,46	1,29	1,18	1,06	1,00	0,92	0,83	0,72	0,57
Espaçamento 36x42									
Experimental	1,44	1,37	1,35	1,22	0,88	0,81	0,76	0,68	0,59
Dist.linear	1,46	1,35	1,24	1,13	1,01	0,90	0,79	0,68	0,57
Dist.normal	1,43	1,29	1,18	1,06	1,00	0,92	0,82	0,72	0,57
Espaçamento 42x42									
Experimental	1,68	1,30	1,10	0,95	0,89	0,84	0,80	0,72	0,69
Dist.linear	1,49	1,37	1,25	1,13	1,01	0,89	0,77	0,65	0,53
Dist.normal	1,50	1,32	1,20	1,09	1,00	0,90	0,81	0,69	0,50

TABELA 2.5. Valores de precipitações adimensionais do aspersor B_2 para diversas frações de área e espaçamentos.

Dados de precipitação	Fração de área								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Espaçamento 42x48									
Experimental	1,46	1,26	1,03	0,97	0,95	0,90	0,83	0,78	0,73
Dist.linear	1,45	1,34	1,23	1,12	1,01	0,90	0,79	0,68	0,57
Dist.normal	1,47	1,31	1,20	1,09	1,00	0,91	0,81	0,68	0,48
Espaçamento 48x48									
Experimental	1,43	1,16	1,11	1,09	1,04	0,98	0,92	0,87	0,83
Dist.linear	1,39	1,30	1,20	1,10	1,01	0,91	0,82	0,72	0,62
Dist.normal	1,42	1,28	1,17	1,09	1,00	0,92	0,83	0,72	0,58
Espaçamento 48x54									
Experimental	1,33	1,27	1,22	1,20	1,12	1,06	0,98	0,93	0,00
Dist.linear	1,54	1,41	1,28	1,14	1,01	0,88	0,74	0,61	0,47
Dist.normal	1,58	1,38	1,23	1,12	1,00	0,89	0,76	0,62	0,44
Espaçamento 54x54									
Experimental	1,46	1,40	1,34	1,31	1,20	1,14	1,05	0,03	0,00
Dist.linear	1,67	1,51	1,34	1,19	1,01	0,84	0,68	0,51	0,35
Dist.normal	1,68	1,46	1,28	1,14	1,00	0,68	0,74	0,54	0,38
Espaçamento 54x60									
Experimental	1,63	1,53	1,49	1,39	1,29	1,20	0,70	0,00	0,00
Dist.linear	1,85	1,64	1,43	1,22	1,01	0,80	0,59	0,39	0,18
Dist.normal	1,89	1,56	1,34	1,16	1,00	0,84	0,66	0,45	0,18
Espaçamento 60x60									
Experimental	1,81	1,70	1,62	1,48	1,36	1,11	0,04	0,00	0,00
Dist.linear	2,00	1,75	1,51	1,26	1,01	0,77	0,52	0,27	0,02
Dist.normal	2,20	1,60	1,40	1,19	0,99	0,79	0,59	0,36	0,04

APÊNDICE 3

PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOS ASPERSORES
PARA DIVERSOS ESPAÇAMENTOS

FIGURA 3.1. Perfil de distribuição de água do aspersor A₁ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.2. Perfil de distribuição de água do aspersor A_1 para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.3. Perfil de distribuição de água do aspersor A_1 para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.4. Perfil de distribuição de água do aspersor A₂ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.6. Perfil de distribuição de água do aspersion A_2 para diversos espaçamentos,

FIGURA 3.5. Perfil de distribuição de água do aspersor A₂ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.7. Perfil de distribuição de água do aspersor B₁ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.8. Perfil de distribuição de água do aspersor B₁ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.9. Perfil de distribuição de água do aspersor B₁ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.10. Perfil de distribuição de água do aspersor B₂ para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.11. Perfil de distribuição de água do aspersor B_2 para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.12. Perfil de distribuição de água do aspersor B_2 para diversos espaçamentos.

FIGURA 3.13. Perfil de distribuição de água dos aspersores A_1 , A_2 , B_1 e B_2 para o espaçamento igual a 60 x 60.