




ADEMIR BATISTA PENAFORTE

**ANÁLISE DA PERFORMANCE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR AS-
PERSÃO CONVENCIONAL, ACIMA E ABAIXO DA SUPERFÍCIE DO SOLO**



Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências para obtenção do Título de "Mestre em Engenharia Agrícola". Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

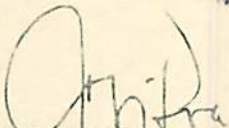



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS
1992

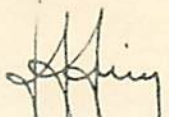
ANÁLISE DA PERFORMANCE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO CONVENCIONAL, ACIMA E ABAIXO
DA SUPERFÍCIE DO SOLO.


ADEMIR BATISTA PENAFORTE

APROVADA: 27/08/92


Prof. Dr. Antonio Marciano da Silva
(Orientador)


Prof. Dr. Manoel Alves de Faria
(Co-orientador)


Prof. Dr. Luiz Antonio Lima
(Co-orientador)


Prof. Marcelo Silva Oliveira

Aos meus pais

João e Irene

À minha esposa

Ivone

E aos meus filhos

João e Mariana

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), através do Dr. Eliseu Roberto de Andrade Alves, pelo apoio e confiança depositada.

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida e pelos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva, ESAL, pela orientação, dedicação e, especialmente, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Manoel Alves de Faria, ESAL, pela boa vontade demonstrada em desfazer minhas dúvidas sempre que solicitado e pela sua amizade.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Lima, ESAL, pela sua colaboração durante a elaboração do texto e pela sua amizade.

Ao aluno de graduação Fernando Degobbi Sambonovich, pela sua colaboração durante a fase experimental da pesquisa.

Ao Prof. Mágnio A. Patto Ramalho, ESAL, pela concessão da área e insumos para implantação do experimento.

Aos Srs. Lindenberg Naves da Silva e Oswaldo Francisco de Carvalho, pelo auxílio e fornecimento de material.

Aos colegas de curso, pelo convívio e pela amizade e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tenham colaborado na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Parâmetros de desempenho.....	3
2.2. Fatores que afetam os parâmetros de desempenho.....	9
2.3. Modelos de distribuição de água em aspersão.....	11
2.4. Eficiência de irrigação.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Localização e descrição do sítio experimental	28
3.2. Caracterização do solo.....	29
3.3. Sistema de Irrigação.....	32
3.4. Plano experimental.....	33
3.4.1. Lâmina de água requerida.....	38
3.4.2. Avaliação superficial de água aplicada.....	39
3.4.3. Avaliação da umidade abaixo da superfície do solo.....	39
3.4.4. Parâmetros de desempenho.....	40
3.4.5. Coeficientes de uniformidade.....	40
3.4.6. Ajustamento dos modelos.....	41

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1. Características operacionais dos aspersores.....	42
4.2. Parâmetros de desempenho.....	45
4.3. Uniformidade de distribuição de água acima da superfície do solo.....	46
4.4. Uniformidade de distribuição de água abaixo da superfície do solo....	48
4.5. Eficiência de irrigação.....	50
4.6. Performance dos modelos.....	51
4.7. Produtividade da cultura.....	54
5. CONCLUSÕES.....	56
6. RESUMO.....	57
7. SUMMARY.....	59
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
9. ANEXOS.....	66

LISTA DE QUADROS

1. Níveis dos parâmetros da qualidade de irrigação.....	26
2. Características físicas do solo da área do experimento. ESAL, Lavras, MG, 1992..	29
3. Características químicas do solo da área do experimento. ESAL, Lavras, MG, 1992.....	32
4. Características operacionais dos aspersores e a condição do vento, durante a realização das irrigações.....	43
5. Tempo de rotação, velocidade média de rotação, vazão e pressão dos aspersores testados durante as irrigações.....	44
6. Valores percentuais dos parâmetros de desempenho de avaliação da irrigação, acima da superfície do solo.....	46
7. Valores dos parâmetros de desempenho determinados acima e abaixo da superfície do solo.....	47
8. Valores dos coeficientes de uniformidade determinados acima e abaixo da superfície do solo.....	49
9. Valores dos coeficientes de uniformidade determinados antes e depois da irrigação, abaixo da superfície do solo.....	50

10. Valores dos parâmetros de desempenho da irrigação acima da superfície do solo.	51
11. Valores dos coeficientes de variação do Qui-Quadrado calculado (χ^2) e dos parâmetros estimados através dos modelos uniforme e normal, acima da superfície do solo.....	52
12. Valores dos coeficientes de irrigação, do Qui-Quadrado calculado (χ^2) e dos parâmetros estimados através dos modelos uniforme e normal, abaixo da superfície do solo.....	53
13. Valores percentuais dos parâmetros de desempenho calculados e estimados através dos modelos uniforme e normal, acima da superfície do solo.....	54
2A. Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de março/92, ESAL, Lavras, MG.....	73
2B. Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de abril/92, ESAL, Lavras, MG.....	74
2C. Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de maio/92, ESAL, Lavras, MG.....	75
2D. Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de junho/92, ESAL, Lavras, MG.....	76

LISTA DE FIGURAS

1.	Distribuição Uniforme.....	14
2.	Distribuição de frequência acumulada.....	15
3.	Esquema de definição do diagrama normal acumulado.....	22
4.	Correspondência entre área deficientemente irrigada, A_d , e a relação Δ/Δ'	23
5.	Curva de retenção de umidade de 0 a 20 cm abaixo da superfície do solo.....	31
6.	Curva de retenção de umidade de 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo.....	31
7.	Esquema do sistema de irrigação.....	34
8.	Esquema da rede de pluviômetros e da rede de pontos onde foram coletadas as amostras.....	35

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é basicamente uma operação agrícola que tem por finalidade suprir de água as plantas na quantidade necessária e no momento adequado, para obter maiores produtividades e produtos de melhor qualidade.

A irrigação por aspersão é o método em que a água é aplicada ao solo na forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato de água em gotas que se espalham no ar, caindo sobre a superfície do terreno. Este fracionamento é obtido pelo fluxo da água sob pressão através de orifícios ou bocais, podendo o jato ser fracionado também através do impacto contra mecanismos defletores ou superfícies de difusão.

A irrigação por aspersão constitui-se num dos métodos mais usados nas últimas décadas no Brasil. Contribuem, para isto, a boa uniformidade de aplicação, a facilidade de controle do volume de água a ser aplicado, a elevada eficiência do sistema, a possibilidade da fertirrigação, a facilidade de automatização, a redução dos perigos de erosão e a potencialidade de seu emprego em diversas topografias e muitos tipos de solos.

A uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação. Alguns fatores podem interferir na eficiência e uniformidade de aplicação de água no

sistema de irrigação por aspersão, dentre eles a pressão de serviço, a rotação dos aspersores, a altura da haste, o diâmetro e tipo de bocal, o espaçamento, e as condições climáticas.

A avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação ainda não é prática comum nos dias atuais. A determinação dos parâmetros de uniformidade e eficiência permite conhecer a qualidade da irrigação e verificar se o sistema atende as características de projeto, possibilitando assim estabelecer correções que possam melhorar seu desempenho.

Os sistemas de irrigação por aspersão têm sido avaliados pela uniformidade de aplicação da água na superfície do solo. No entanto, a planta retira água do solo, dentro da zona radicular. Em sendo assim, espera-se que a distribuição da água abaixo da superfície seja mais importante do que aquela na superfície.

HART & REYNOLDS (1965) estudando a influência de diversas variáveis de irrigação na redistribuição da água dentro do solo concluíram que a avaliação de sistemas de aspersores pelas medidas obtidas na superfície subestima a sua uniformidade, sendo, portanto, inadequada, se o objetivo do projeto é implantar o sistema mais econômico possível.

A aplicação desuniforme de água ao solo cria gradientes de tensões que provocam o movimento da água de pontos de menores tensões para pontos de maiores tensões. Há uma intensa redistribuição da água dentro do solo e conseqüentemente uma uniformização da distribuição de umidade.

O presente trabalho teve como objetivo analisar a performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, operando em condições de campo através da uniformidade e eficiência de aplicação de água, determinadas acima e abaixo da superfície do solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Parâmetros de desempenho

Na elaboração de projetos e no manejo da irrigação é necessário o conhecimento de parâmetros que expressem a performance do sistema, tais como, a eficiência de aplicação (E_a), a eficiência de armazenamento (E_s), as perdas por percolação profunda (P_p) e coeficientes de uniformidade (C_u), SOUZA & RIBEIRO (1984).

Para avaliar adequadamente a qualidade da irrigação, HANSEN (1960) descreve alguns aspectos da eficiência de irrigação:

- eficiência de aplicação define a tendência por aplicação em excesso;
- eficiência de armazenamento é útil sempre que a água insuficiente é aplicada no sistema radicular;
- eficiência de distribuição de água avalia a uniformidade com que a água é distribuída por todo o sistema radicular da cultura;
- eficiência de uso consuntivo avalia a habilidade das raízes em utilizar a umidade depositada na zona radicular durante a irrigação.

As eficiências de irrigação como definidas por ISRAELSEN & HANSEN (1962), indicam a adequação com que a água requerida é utilizada. A eficiência de aplicação (E_a) é um indicador da água aplicada em excesso no campo, durante a irrigação, sem dar idéia da adequação, quanto ao reabastecimento da zona das raízes. A eficiência de armazenamento (E_s) é o indicador deste reabastecimento. A água que percola profundamente, ultrapassando a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas (P_p), dá idéia das perdas existentes. E_a , E_s e P_p são calculados de um modo geral da seguinte maneira:

$$E_a = \frac{\text{Volume (ou lâmina) de água armazenado na zona radicular}}{\text{Volume (ou lâmina) de água aplicado}} \quad \text{eq 01}$$

$$E_s = \frac{\text{Volume (ou lâmina) de água armazenado na zona radicular}}{\text{Volume (ou lâmina) de água requerido}} \quad \text{eq 02}$$

$$P_p = \frac{\text{Volume (ou lâmina) de água perdido por percolação profunda}}{\text{Volume (ou lâmina) de água aplicado}} \quad \text{eq 03}$$

Além das eficiências anteriormente definidas, SCALOPPI (1984) 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.

KELLER (1979) afirma que a eficiência de aplicação é o termo mais utilizado na definição da eficiência de irrigação por aspersão. O autor define eficiência de aplicação como sendo a razão entre a altura da lâmina de água armazenada na zona radicular e a altura média de água aplicada. A eficiência de aplicação fornece uma indicação das perdas, no entanto, pode não fornecer a adequação da irrigação, pois, mesmo em uma irrigação deficiente, pode-se alcançar valores de até 100%.

MERRIAM & KELLER (1978) definem eficiência de aplicação do menor quartil como a razão entre a lâmina média de água do menor quartil armazenada na zona radicular e a lâmina média de água aplicada.

CHRISTIANSEN (1942) realizou uma série de testes para obter informações sobre a distribuição de água sob condições de irrigação por aspersão e buscou determinar o efeito do vento, a velocidade de rotação e o espaçamento dos aspersores sobre a distribuição de água. Mediu a precipitação de aspersores individuais e os sobrepôs, para estudar o efeito do espaçamento entre os mesmos sobre as distribuições resultantes dessa sobreposição. O autor usou os dados desses testes e algumas distribuições geométricas hipotéticas, para encontrar o tipo mais desejável de padrão de distribuição por área. Estabeleceu também uma medida de uniformidade, o coeficiente de uniformidade de Christiansen, que é uma medida de dispersão, muito empregada e pode ser definida como segue:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}|}{n \bar{y}} \right) 100 \quad \text{eq 04}$$

onde:

CUC = Coeficiente de uniformidade Christiansen (%);

y_i = precipitação obtida no pluviômetro de ordem i (mm);

\bar{y} = precipitação média sobre o campo (mm);

n = número de pluviômetros.

WILCOX & SWAILES (1947) propuseram o seguinte parâmetro de uniformidade, o coeficiente de Wilcox-Swailes, Cws, dado por:

$$Cws = 100(1 - cv) \quad \text{eq 05}$$

onde:

Cws = coeficiente de Wilcox-Swailes (%)

cv = coeficiente de variação, dado por :

$$cv = \frac{s}{\bar{y}} \quad \text{eq. 06}$$

onde

s = desvio padrão da amostra, dado por:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad \text{eq. 07}$$

Criddle et alii, citados por NOGUEIRA (1987), sugeriram a colocação de quatro aspersores ao longo de uma linha lateral e a medição das precipitações aspergidas em ambos os lados da lateral, no espaço entre os dois aspersores centrais. Os autores introduziram um parâmetro, designado eficiência padrão (Ep), que pode ser definido como:

$$Ep = \frac{\text{média dos } n/4 \text{ valores mais baixos de precipitação}}{\text{média de todas as precipitações}} \quad \text{eq. 08}$$

HART (1961) conduziu vários testes em aspersores individuais, na Associação dos Plantadores de Cana de Açúcar do Havai (HSPA), para estudar distribuições

sobrepostas e introduziu outro parâmetro do tipo desvio padrão, chamado coeficiente de uniformidade da HSPA, UC_H , definido por:

$$UC_H = 100 \left(1 - 0,798 \frac{S}{\bar{y}} \right) \quad \text{eq 09}$$

Foi introduzida, também, como Eficiência Padrão da HSPA (PE_H), definida por:

$$PE_H = 100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{y}} \right) \quad \text{eq 10}$$

Corry, citado por OLITTA (1981), esclarece que o valor de coeficiente de uniformidade de Christiansen é o parâmetro estatístico mais comum para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção, o valor de 80% é o mínimo aceitável para um desempenho normal do aspersor.

Segundo MERRIAM et alii (1983), para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, o sistema de aspersão deve apresentar alta uniformidade de distribuição, geralmente com E_p (eficiência padrão de Criddle) acima de 80% ou CUC (Coeficiente de uniformidade de Christiansen) acima de 88%. Para cultivos com sistema radicular médio, E_p pode variar de 70 a 80% e CUC de 82 a 88%. No caso de árvores frutíferas e culturas com sistema radicular profundo, em que a irrigação é suplementar, a uniformidade mais econômica E_p pode variar de 50 a 70% ou de 70 a 80% para o CUC.

HART (1972) estudando a redistribuição lateral da água no solo chegou às seguintes conclusões:

- A redistribuição é maior quando o solo está com umidade inicial mais alta, do que quando ocorre o contrário.

- A uniformidade máxima foi atingida mais facilmente quando a irrigação foi feita com taxa de aplicação mais elevada, partindo de uma mesma uniformidade inicial.

- A uniformidade da distribuição da água aplicada pode não ser tão importante como suposto inicialmente. A máxima uniformidade subsuperficial foi alcançada, tanto para um coeficiente de uniformidade superficial de 0,60 como para um de 0,70.

- Parece que para um mesmo tempo de aplicação, uma maior taxa de aplicação resulta em uma distribuição mais uniforme da água dentro do solo. Porém, do ponto de vista de muitos projetos de irrigação, ambas as distribuições podem ser consideradas satisfatórias.

- A avaliação dos sistemas de aspersores, pelas medidas de superfície, subestima a sua uniformidade, podendo ser importante do ponto de vista financeiro, uma vez que, quando o sistema é avaliado pela distribuição que poderá ocorrer dois dias após a irrigação, a aplicação média pode ser reduzida.

PAIVA (1980), analisando a uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão, concluiu que:

- houve um sensível acréscimo nos coeficientes de uniformidade, ao longo do tempo, após o fim da irrigação, em todas as profundidades estudadas;

- as distribuições foram mais uniformes para as maiores profundidades;

- houve maiores variações na uniformidade nas camadas superiores;

- nos ensaios onde a uniformidade de água aplicada na superfície foi muito baixa, em pequenos espaços de tempo os coeficientes de uniformidade de umidade alcançaram altos valores;

- os critérios atuais, para a avaliação dos sistemas de irrigação por aspersão, subestimam a uniformidade de distribuição.

2.2. Fatores que afetam os parâmetros de desempenho

CHRISTIANSEN (1941) concluiu que a uniformidade obtida depende do tipo de modelo de distribuição produzido e do espaçamento dos aspersores. Alguns outros fatores, como velocidade e direção do vento, velocidade de rotação do aspersor, pressão de serviço, altura da haste de elevação, diâmetro do bocal, são importantes e também influem na uniformidade de distribuição de água pelos aspersores.

CHRISTIANSEN & DAVIS (1967) 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% de 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 e 80%.

Pair, citado por GOMIDE (1978), acrescenta ainda que a intensidade de aplicação do aspersor e a correta seleção, instalação e operação do aspersor, determinam a eficiência do sistema, permitindo uma boa uniformidade de distribuição da água.

Segundo CHRISTIANSEN (1942), os aspersores de baixa rotação são projetados para operar com uma rotação por minuto (rpm) e nunca devem girar mais rápido que quatro rpm. Rotação excessiva aumenta o desgaste nos pontos de apoio do eixo que, em consequência, pode causar rotação irregular do aspersor.

BERNARDO (1989) afirma que para um bom desempenho dos aspersores, a rotação deve ser uniforme. Em geral, os aspersores de baixa rotação estão na faixa de meia a duas rpm.

DAKER (1970) cita que as perdas por evaporação no sistema de irrigação por aspersão podem ser estimadas entre 2 e 8% do volume de água que passa pelo aspersor. Evidencia que o grau de pulverização da água exerce acentuada influência nas perdas por evaporação.

A uniformidade de distribuição depende basicamente, segundo WALKER (1979), dos critérios adotados na elaboração do projeto (espaçamento entre aspersores e laterais, pressão de serviço, bocal do aspersor, altura da haste de elevação, etc.), do manejo e operação do sistema, e de fatores climáticos.

BRANSCHIED & HART (1968) afirmam que vários fatores exercem influência na distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. Tais fatores estão relacionados ao aspersor, às condições climáticas, à operação do sistema e à aerodinâmica.

FROST (1963) afirma que há uma perda apreciável de água por evaporação quando o sistema de irrigação por aspersão é usado em regiões muito quentes e secas e com ventos intensos.

FROST & SCHWALEN (1955) determinaram perdas por evaporação em sistemas de aspersores, variáveis entre 3% , em condições de reduzido déficit de vapor no ar atmosférico e quase ausência de ventos, até 10%, em condições evaporativas mais severas. Estas perdas foram inens-ficadas com o aumento da velocidade média do vento, temperatura e grau de pulverização do jato de água causado pelo acréscimo de pressão de operação e/ou redução do diâmetro dos bocais. As perdas mostram-se diretamente relacionadas ao déficit de pressão de vapor no ar atmosférico que, por sua vez, é dependente da temperatura e umidade relativa do ar.

2.3. Modelos de distribuição de água em aspersão

Segundo WALKER (1979), dois são os modelos para descrever a distribuição de água no solo num sistema de irrigação por aspersão: o modelo normal de HART (1961) e o modelo uniforme chamado linear por KARMELI (1978). O modelo normal de HART apresenta certa complexidade na sua utilização. Por essa razão SOUZA & RIBEIRO (1984) optou pelo uso do modelo linear de KARMELI (1978), num estudo desenvolvido para gerar informações para o planejamento, operação e avaliação de um sistema de irrigação por aspersão.

Jensen e colaboradores, citados por BAPTISTELLA et alii (1980), afirmam que conhecendo-se o modelo de distribuição de um sistema de irrigação pode-se avaliar a sua adequação.

HART & REYNOLDS (1965) esclarecem que o perfil de distribuição dos valores de precipitação de um aspersor aproxima-se bastante da distribuição normal, mesmo para uma grande variação de vazão dos aspersores (0,3 a 18,9 l/s).

CHAUDHRY (1978) apresenta relações entre eficiência 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 segue a distribuição gama quando assimetricamente distribuída, e normal nos casos de simetria.

ELLIOTT et alii (1980), estudando os modelos estatísticos uniforme (chamado por eles de "linear"), normal e beta que aproximam-se das distribuições de água em sistemas de irrigação por aspersão, concluíram que a distribuição beta ajusta melhor às lâminas de aplicação de água do que os modelos linear ou normal. Para coeficientes de uniformidade acima de 65%, a distribuição normal fornece um melhor ajuste do que o modelo linear. Para baixos coeficientes de uniformidade, o oposto verifica-se. Para o cálculo dos volumes de água necessários na determinação das eficiências de irrigação, os modelos normal e linear são atualmente mais práticos para o uso do que o modelo beta.

NOGUEIRA (1987), em trabalho de avaliação técnica de dois sistemas de irrigação por aspersão, empregou os modelos linear e normal, e concluiu que para as condições do estudo realizado ($28\% < cv < 59\%$), os modelos linear e normal podem ser indistintamente aplicados para a determinação dos parâmetros de desempenho da irrigação por aspersão. No entanto a aplicação do modelo linear é mais simples e prática.

Os resultados de Karmeli et alii, citados por NOGUEIRA(1987) mostraram uma diferença significativa entre as estimativas linear e normal onde o padrão de distribuição é de baixa qualidade ($cv > 62\%$), já onde o padrão é médio ou bom ($cv < 62\%$) não houve diferença significativa. Estes autores concluíram que, enquanto o ajuste linear fornece

boas estimativas para todo intervalo, o ajuste normal é bom somente para padrões médios ou bons.

Ao estudar os modelos de distribuição da água dos aspersores, operando sob condições variáveis de pressão e velocidade do vento, KARMELI (1978) concluiu que:

- o modelo uniforme é um método que descreve com boa precisão o perfil de distribuição de água dos aspersores;

- para boas uniformidades de distribuição o modelo uniforme estimou os dados de campo tão bem quanto o modelo normal. No entanto, para baixas uniformidade (coeficiente de uniformidade de Christiansen inferior a 55%), o modelo uniforme comportou-se significativamente melhor do que o modelo normal em suas estimativas.

Os modelos para a distribuição de água em irrigação por aspersão procuram descrever a distribuição de frequência (ou distribuição de probabilidade) da lâmina de água fornecida pelos aspersores numa unidade do sistema de irrigação.

O modelo uniforme, chamado linear por KARMELI (1978), descreve a distribuição de frequência $f(Y)$ da lâmina de irrigação adimensional Y , através do modelo (Figura 1).

Y é definido por y/μ , sendo que y é a lâmina ou precipitação ocorrida em um ponto do solo e μ a média dos y 's.

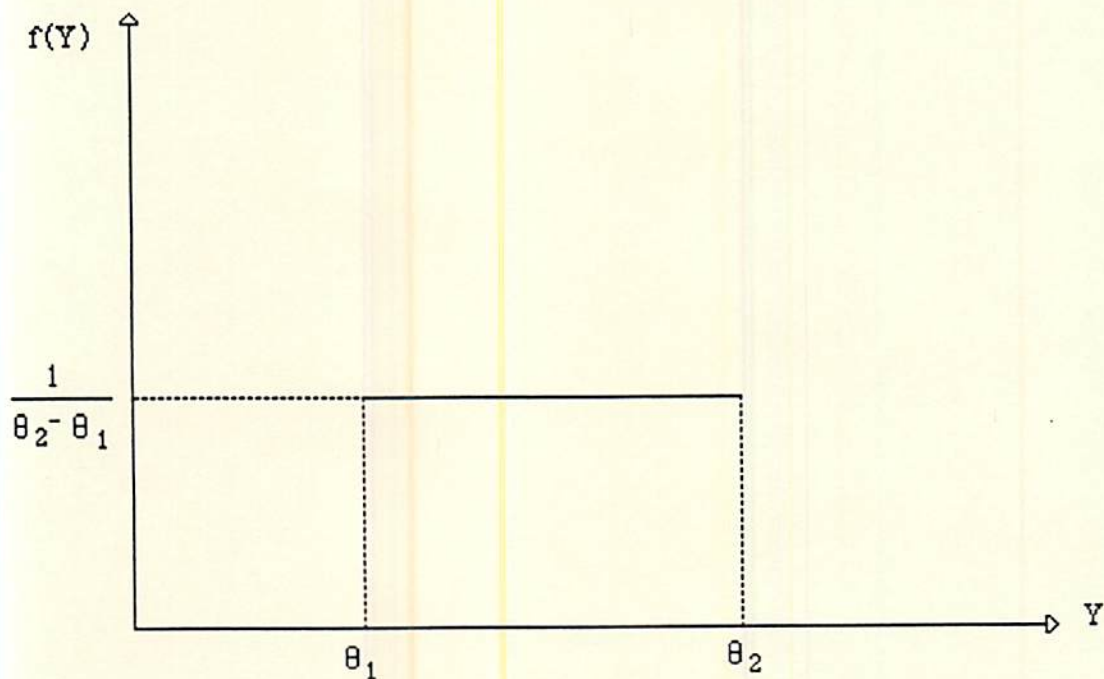


FIGURA 1 - Distribuição Uniforme.

A distribuição de frequência acumulada $F(Y)$ para o modelo uniforme (Figura 2) tem a forma de uma reta ascendente, justificando assim o nome "linear" dado por KARMELI (1978).

$F(Y)$ pode ser interpretado como a fração de área adimensional que recebe uma lâmina de água (também adimensional) menor ou igual à Y . Chamaremos $F(Y)$ de X .

O parâmetro μ do modelo uniforme é estimado por \bar{y} , a média das precipitações y_i , coletadas nos coletores de $i = 1$ até n .

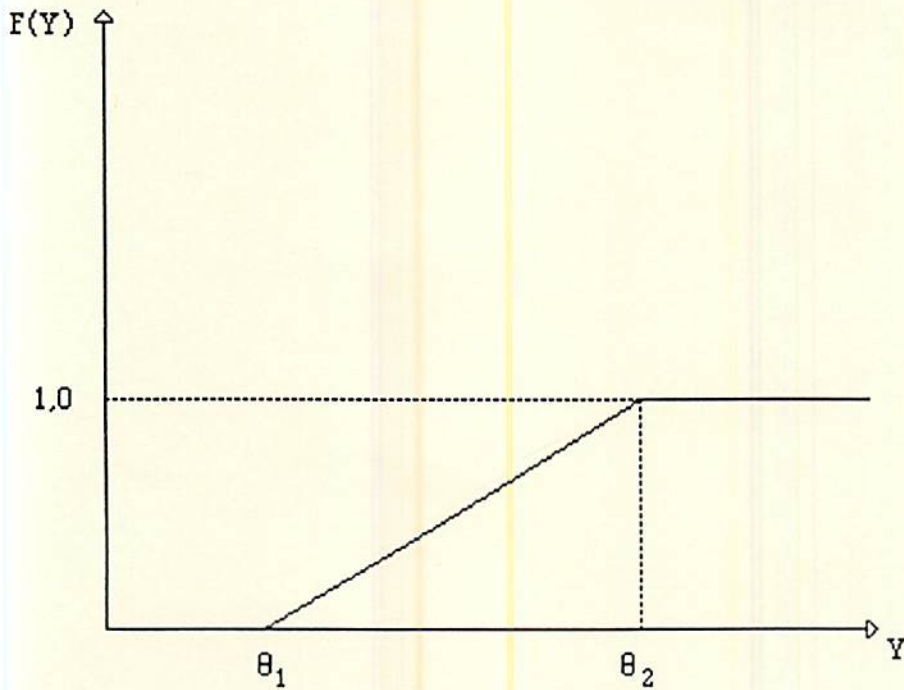


FIGURA 2 - Distribuição de frequência acumulada.

As estimativas usadas para os parâmetros q_1 e q_2 do modelo uniforme podem ser obtidas pelo ajuste de uma reta à nuvem de pontos obtida pelos dados:

$$Y_i = \frac{y_i}{\bar{y}}$$

$$X_i = \frac{x_i}{x}$$

onde:

x_i = área acumulada até o coletor i ;

x = área compreendida entre os aspersores.

O método da regressão linear (quadrados mínimos) pode ser usado para o ajuste de uma reta do tipo:

$$Y = a + bX \quad \text{eq. 11}$$

A lâmina adimensional máxima, $y_{\text{máx.}}$, e a lâmina adimensional mínima, $y_{\text{min.}}$, podem ser obtidas pelas seguintes equações:

$$y_{\text{máx.}} = 1 + 0,5 b \quad \text{eq 12}$$

$$y_{\text{min.}} = 1 - 0,5 b \quad \text{eq 13}$$

O volume de água deficiente (V_d), que é a quantidade de água capaz de completar o volume real necessário de água, bem como o volume de água útil (V_u), que é o volume necessário de água na zona radicular menos o volume deficiente, podem ser obtidos da seguinte maneira:

$$V_d = \frac{(0,5b - \Delta)^2}{2b} \quad \text{eq 14}$$

$$V_u = 1 - \Delta - V_d \quad \text{eq 15}$$

onde:

Δ = diferença entre a lâmina média aplicada ($\bar{y} = 1$) e a lâmina adimensional requerida (y_r).

$$\Delta = 1 - y_r \quad \text{eq 16}$$

Através dos valores assumidos pela lâmina adimensional requerida (y_r), e considerando que não há escoamento superficial, os parâmetros de desempenho de um sistema podem ser determinados, segundo SOUZA & RIBEIRO (1984), considerando-se cinco casos distintos:

Caso 1 - A lâmina adimensional requerida é maior que a lâmina máxima ($y_r > y_{\text{máx.}}$).

Nesse caso, a eficiência de aplicação é máxima ($E_a = 1,0$) já que toda água aplicada é armazenada na zona radicular, e portanto, não ocorrem perdas de água por percolação profunda ($P_p = 0$). A eficiência de armazenamento (E_s) pode ser calculada por:

$$E_s = \frac{1,0}{y_r} \quad \text{eq 17}$$

Caso 2 - A lâmina adimensional requerida é maior que 1,0 e menor ou igual à lâmina máxima ($1,0 < y_r \leq y_{m\acute{a}x.}$).

Nesse caso, as eficiências e perdas são determinadas através das seguintes equações:

$$E_a = 1 - \left[\left(\frac{1 + \frac{b}{2} - y_r}{2} \right) \left(1 - \frac{y_r - 1 + \frac{b}{2}}{b} \right) \right] \quad \text{eq 18}$$

$$E_s = 1 - \frac{\left[y_r - \left(1 - \frac{b}{2} \right) \right]^2}{2b y_r} \quad \text{eq 19}$$

$$P_p = 1 - E_a \quad \text{eq 20}$$

Caso 3 - A lâmina adimensional requerida é igual a 1,0 ($y_r = 1,0$).

Trata-se do ponto em que a lâmina média de água aplicada (y) é igual à lâmina real de água necessária (y_r). Os parâmetros são obtidos pelas equações seguintes:

$$Ea = 1 - \frac{b}{8} \quad \text{eq 21}$$

$$Es = 1 - \frac{b}{8} \quad \text{eq 22}$$

$$Pp = 1 - Ea \quad \text{eq 23}$$

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

Os cálculos dos parâmetros devem ser efetuados através das equações:

$$Ea = yr - \frac{\left(yr - 1 + \frac{b}{2} \right)^2}{2b} \quad \text{eq 24}$$

$$Es = 1 - \frac{\left(yr - 1,0 + \frac{b}{2} \right)^2}{2b yr} \quad \text{eq 25}$$

$$Pp = 1 - Ea \quad \text{eq 26}$$

Caso 5 - A lâmina adimensional requerida é menor que a lâmina mínima ($yr < y_{\min.}$).

Nesse caso, a eficiência de armazenamento é máxima ($Es = 1,0$). A eficiência de aplicação e as perdas por percolação podem ser verificadas através das equações:

$$Ea = \frac{yr}{1,0} = yr \quad \text{eq 27}$$

$$P_p = 1,0 - E_a = 1,0 - y_r$$

eq 28

WALKER (1979) propõe o uso do modelo de distribuição normal onde, a partir da padronização dos dados de precipitação do aspersor, obtém-se o diagrama de frequência acumulada e normalizada.

HART (1961) propôs o ajuste do modelo normal à distribuição de água pelos aspersores. Sendo y a lâmina ou precipitação ocorrida em uma parte do solo, μ e σ a média e o desvio padrão dos y , definimos a variável padronizada z como:

$$z = \frac{y - \mu}{\sigma}$$

A função densidade de probabilidade para esta variável é: z

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

eq 29

A probabilidade (ou frequência relativa) de ocorrência de pontos com precipitação igual ou superior a z é dada por:

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} e^{-\frac{r^2}{2}} dr$$

eq 30

onde:

$Q(z)$ = função de probabilidade acumulada para cima;

r = variável auxiliar de integração

$Q(z)$ = pode também ser interpretado como a fração de área (X) molhada com uma lâmina igual ou superior a z . O valor numérico da integral de $Q(z)$ pode ser obtido através de uma aproximação polinomial proposta por Abramowitz & Stegun, citados por WALKER (1979):

$$Q(z) = f(z) \cdot (b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 + b_4t^4 + b_5t^5) \quad \text{eq 31}$$

$$t = \frac{1}{1 + 0,2316419 z} \quad \text{eq 32}$$

$$b_1 = 0,31938153$$

$$b_2 = -0,356563782$$

$$b_3 = 1,781477937$$

$$b_4 = -1,821255978$$

$$b_5 = 1,330274429$$

A expressão polinomial é usada para valores positivos de z , de modo que para valores compreendidos entre $-\infty < z \leq 0$ a seguinte expressão é usada:

$$Q(z) = 1 - Q(-z) \quad \text{eq 33}$$

O erro esperado nas equações 31 e 32 é de aproximadamente $\pm 10^{-7}$.

Para o uso dessas equações, é necessário calcular a variável z através da padronização. Esta padronização é feita estimando os valores de μ e σ por \bar{Y} e s respectivamente:

$$z_i = \frac{y_i - \bar{y}}{s} = \frac{Y_i - 1}{cv} \quad \text{eq 34}$$

onde:

Y_i = precipitação adimensional no ponto i ;

cv = coeficiente de variação ($cv = \frac{s}{\bar{y}}$)

A variação típica das lâminas adimensionais, Y_i , é o intervalo $0 < Y_i < 2$, que corresponde a uma amplitude do coeficiente de variação de $0 < cv < 0,5$. Os sistemas de aspersão caracterizados por valores de $cv > 0,5$ são insuficientemente operados. Em adição, sistemas de aspersão caracterizados pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen de 0,6 ou menos, não podem ser considerados normalmente distribuídos.

A distribuição normal acumulada conduz a uma expressão que permite relacionar eficiência como função da área deficientemente irrigada (Figura 3).

A lâmina média requerida de água necessária para o reabastecimento da zona radicular é uma fração da média definida pela grandeza $(1 - \Delta)$; na qual, Δ é a diferença entre a média e a lâmina requerida.

Devido a função normal acumulativa ser assintótica para a ordenada tanto para $x = 0$ quanto para $x = 1$, é necessário definir um parâmetro (Δ') que, por propósitos numéricos, representa o valor $x = 0$ da função. O valor de Δ' é determinado pelo coeficiente de variação que caracteriza a distribuição. Para este modelo, Δ' foi definido como:

$$\Delta' = 3,634 cv \quad \text{eq 35}$$

O valor da ordenada, y , é então $1 + \Delta'$ e corresponde a um $Q(x)$ ou valor da abscissa de cerca de 10^{-4} , que é suficiente para a pretendida sensibilidade do modelo.

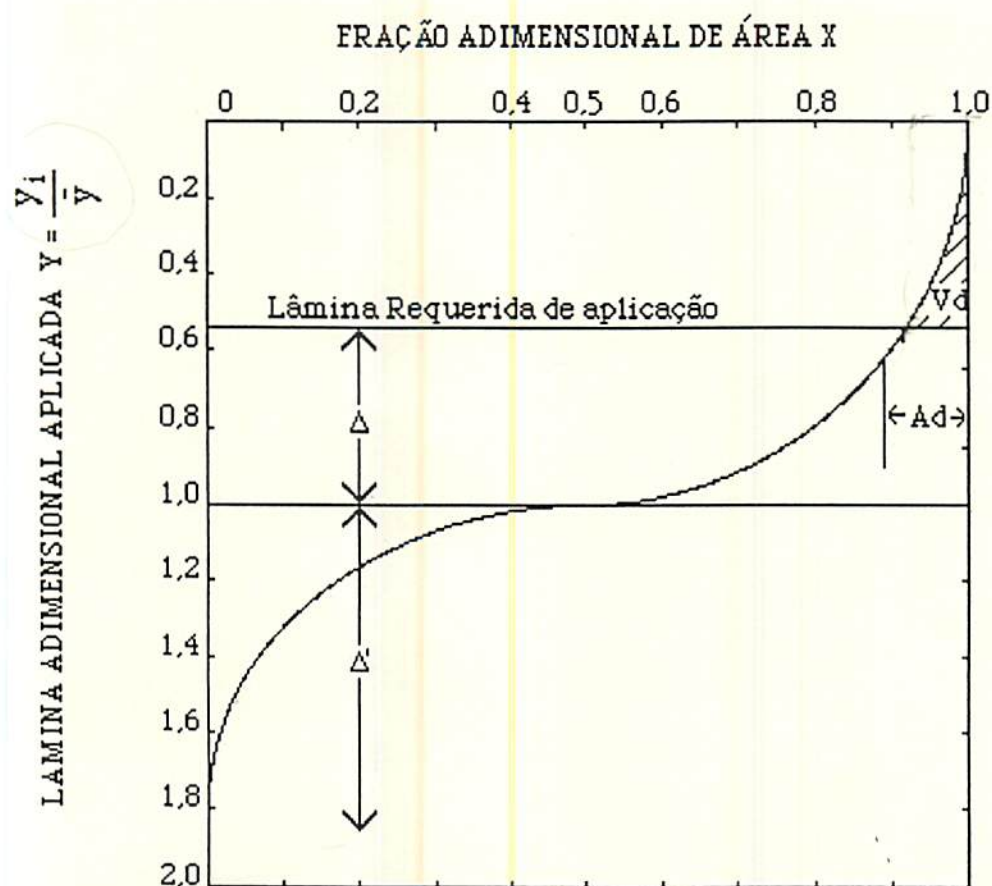


FIGURA 3 - Esquema de definição do diagrama normal acumulado

Devido à natureza acumulativa da Figura 3, a intercessão da linha correspondente a lâmina requerida, com a função normal acumulativa, define a fração abaixo da qual a área é adequadamente irrigada ($1 - Ad$) e acima da mesma é a fração da área deficientemente irrigada (Ad). O valor de Ad , expresso em percentagem, relaciona-se funcionalmente com Δ e Δ' como mostra a Figura 4 e é aproximado por:

$$\frac{\Delta}{\Delta'} = 1 - 0,309 Ad^{0,301}$$

eq 36

ou por substituição da equação 35.

$$\Delta = cv (3,634 - 1,123 Ad^{0,301}) \quad \text{eq 37}$$

A área hachurada da Figura 3, representa o volume adimensional deficientemente irrigado, V_d . Este volume está relacionado tanto com a área deficientemente irrigada, Ad , quanto ao coeficiente de variação do sistema e pode ser definido como:

$$V_d = 0,003 cv \cdot Ad^{1,233} \quad \text{eq 38}$$

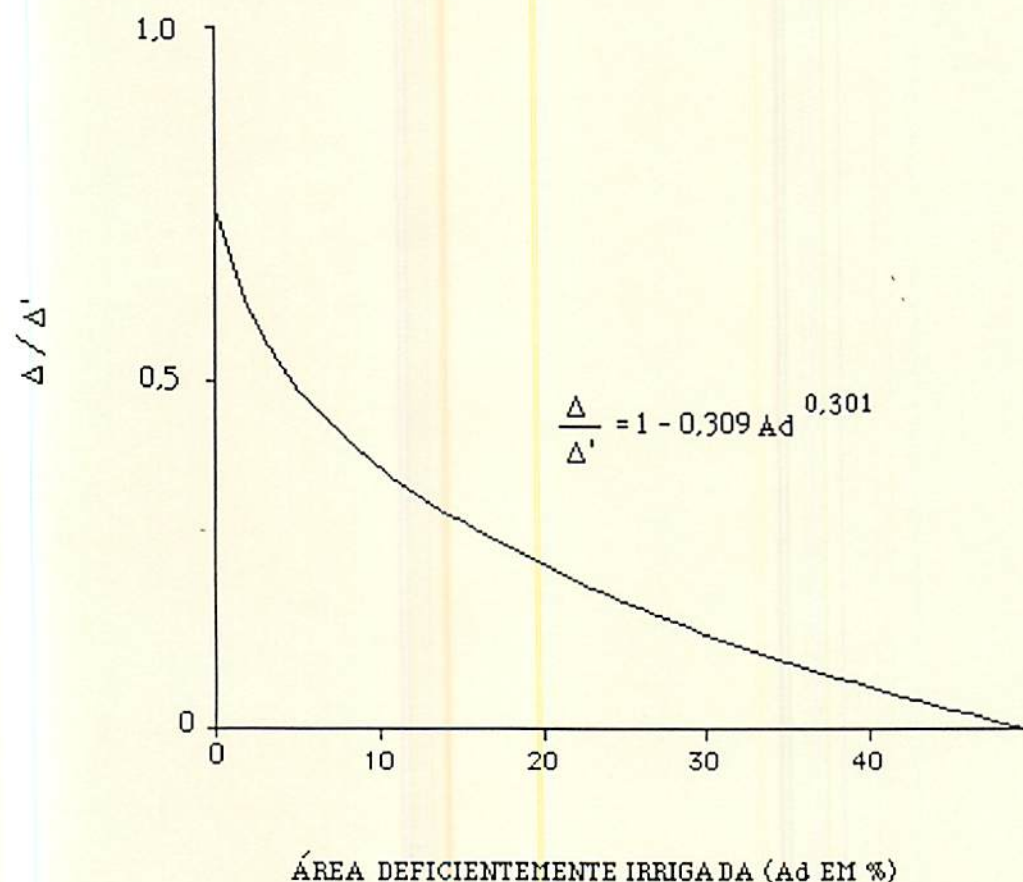


FIGURA 4 - Correspondência entre área deficientemente irrigada Ad , e a relação Δ / Δ' .

Os parâmetros de desempenho da irrigação podem ser obtidos por:

$$E_a = 100(1 - \Delta - V_d) = 100[1 - cv(3,634 - 1,123 Ad^{0,3} + 0,003 Ad^{1,233})] \quad \text{eq 39}$$

$$E_s = 100 \left(\frac{1 - \Delta - V_d}{1 - \Delta} \right) = 100 \left[\frac{E_a}{1 - cv(3,634 - 1,123 Ad^{0,3})} \right] \quad \text{eq 40}$$

$$P_p = 1,0 - E_a \quad \text{eq 41}$$

2.4. Eficiência de 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".

BOS (1979) recomenda o uso da terminologia apresentada pela ICID (International Commission on Irrigation and Drainage), a qual define eficiência de irrigação global ou eficiência do projeto pela expressão:

$$E_p = E_c \cdot E_d \cdot E_a \quad \text{eq 42}$$

onde:

E_p = eficiência do projeto;

E_c = eficiência de condução do canal;

E_d = eficiência de distribuição;

E_a = eficiência de aplicação.

Segundo SCALOPPI (1984), a quantidade de água que deverá ser aplicada por meio de um sistema de aspersores depende da quantidade líquida de água requerida e da eficiência de aplicação do sistema de irrigação considerado. A quantidade líquida de água requerida, geralmente expressa como lâmina líquida, é determinada em função do déficit de água disponível no solo, até a profundidade definida pelo sistema radicular da cultura, e de eventuais exigências de lixiviação para remoção do excesso de sais solúveis da zona radicular. Por outro lado, o autor afirma que tem havido considerável controvérsia em relação ao valor da eficiência de aplicação a ser adotado, para proporcionar uma quantidade e distribuição satisfatória a toda a área irrigada.

Este mesmo autor concluiu que a atribuição de um valor de eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão, para se determinar a quantidade de água a ser aplicada, geralmente expressa como lâmina bruta, depende da uniformidade de distribuição de água dos aspersores, do valor econômico da cultura irrigada, e da importância da água de irrigação para a produção vegetal.

HART et alii (1979) definiram um parâmetro de distribuição da seguinte forma:

$$U_d = 1 - \frac{C}{T}$$

eq 43

onde:

U_d = uniformidade de distribuição

C = o volume do déficit (ou excesso) de água infiltrada após uma irrigação, em relação à lâmina média aplicada;

T = volume de água infiltrada na área irrigada;

A uniformidade de distribuição, Ud, pode ser expressada em função do coeficiente de uniformidade de Christiansen, CUC, como:

$$Ud = \frac{1 + CUC}{2} \quad \text{eq 44}$$

HART et alii(1979) concluíram que a performance de um sistema de irrigação pode ser plenamente descrita em termos de quatro parâmetros, isto é, a fração de água absorvida armazenada na zona radicular; a fração do requerimento apropriado; a fração de água distribuída que foi absorvida distribuída, e a fração de água infiltrada que percola abaixo da lâmina de infiltração média. Estes autores sugeriram limites para Es, Ea, Ed e Ud listados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Níveis dos parâmetros da qualidade de irrigação.

eficiência	Excelente	satisfatório	insatisfatório
Es	≥ 0,8	≥ 0,5 < 0,8	< 0,5
Ea	≥ 0,8	≥ 0,5 < 0,8	< 0,5
Ud	≥ 0,9	≥ 0,7 < 0,9	< 0,7
Ed	≥ 0,8	≥ 0,6 < 0,8	< 0,6

A partir das classificações listadas no Quadro 1 podem ser desenvolvidas seis categorias de performance da irrigação. As categorias são as seguintes:

1. Categoria I, os parâmetros Es, Ea, e Ud são classificados como excelentes. Não é necessária nenhuma melhoria na distribuição de água ou da lâmina de aplicação.

2. Categoria II, as eficiências Es e Ea são classificadas como excelentes, mas a distribuição de água está fora desta classificação. A distribuição de água deve ser melhorada para o mesmo nível de aplicação média.

3. Categoria III, os parâmetros Ea e Ud são classificados como excelentes, mas o parâmetro Es não é excelente. Isto implica que a quantidade de água requerida, na média, não foi absorvida pelo solo. A lâmina de aplicação deve ser ampliada.

4. Categoria IV, os parâmetros Es e Ud são classificados como excelentes e o parâmetro Ea está fora desta classificação. Isto implica que a distribuição é boa, e que a água requerida foi absorvida pelo solo. No entanto, uma quantidade excessiva de água foi aplicada. O total de água aplicado deve ser reduzido.

5. Categoria V, o parâmetro Ud não é classificado como excelente, e os parâmetros Es ou Ea, ou ambos, não são classificados como excelentes, e $Es < Ea$. A performance da irrigação requer uma melhoria na distribuição. Se Es é deficiente, então a lâmina aplicada deve ser aumentada. Se somente Ea é deficiente, então a aplicação total deve ser diminuída e a distribuição melhorada.

6. Categoria VI, o parâmetro Ud não é classificado como excelente, e os parâmetros Es ou Ea, ou ambos, não são classificados como excelentes, e $Es > Ea$. A performance requer que a distribuição seja melhorada e que a aplicação total seja diminuída.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental da Escola Superior de Agricultura de Lavras, na área do Departamento de Biologia, no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, a 21°14' de latitude Sul, 45°00' de longitude Oeste e altitude de 910 m. As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são 19,3°C, 1411 mm e 77.7% respectivamente (FAO, 1985).

O clima da região é do grupo cwb, de acordo com os critérios propostos por W. Koeppen, BRASIL (1969), caracterizado por temperado com inverno seco e verões brandos.

A temperatura e precipitação média de todos os meses é maior que 15°C e 16 mm, respectivamente. Cerca de 66% da precipitação ocorre no período de novembro a fevereiro, assim como as maiores temperaturas médias mensais (VILELA & RAMALHO, 1979).

Nos Quadros 2A, 2B, 2C e 2D, do Anexo 2, encontram-se dados médios diários dos principais parâmetros agrometeorológicos observados durante o período experimental.

3.2. Caracterização do solo

O solo da área do experimento foi classificado por FREIRE (1979) como sendo Latossolo Roxo Distrófico, de textura argilosa. Algumas de suas características físicas, foram determinadas previamente à instalação do experimento pelo laboratório de solos no Departamento de Ciências do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras. As características do solo são apresentadas no Quadro 2.

QUADRO 2 - Características físicas do solo da área do experimento. ESAL, Lavras, MG, 1992.

Camada (cm)	Granulometria			Classe textural	Densidade global (g. cm ⁻³)
	Areia %	Limo %	Argila %		
0 - 20	18	25	57	Argila	1,29
20 - 40	20	28	52	Argila	1,29

O levantamento da curva de retenção de umidade do solo consistiu em determinar a retenção em oito tensões, aplicadas em amostras de solo, retiradas dentro da área utilizada para o experimento, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo. As tensões empregadas variaram de 2 KPa a 1520 KPa, a qual foi tomada como tensão correspondente ao ponto de murcha permanente. A tensão de 10 KPa foi tomada como correspondente à capacidade de campo.

O levantamento da curva de retenção de umidade foi realizado pelo laboratório de solos do Departamento de Ciências do solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras

Os dados de tensão e umidade observados foram ajustados pela equação de Van Genuchten, de acordo com DOURADO NETO et alii (1990):

$$W = \frac{(W_s - W_r)}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}} + W_r \quad \text{eq 45}$$

onde:

W = umidade com base em peso (g/g);

W_s = umidade de saturação (g/g);

W_r = umidade residual (g/g);

α e n = constantes empíricas;

h = tensão matricial (cm de água).

As Figuras 5 e 6 mostram os dados observados no levantamento da curva de retenção de umidade e a curva ajustada pela equação de Van Genuchten, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo, respectivamente.

Trabalhando com o mesmo solo (latossolo roxo, distrófico, muito argiloso, sob condições de cultura anual) o valor médio encontrado para a capacidade de infiltração básica, segundo WADA et alii (1988), foi de 53,17 mm/h.

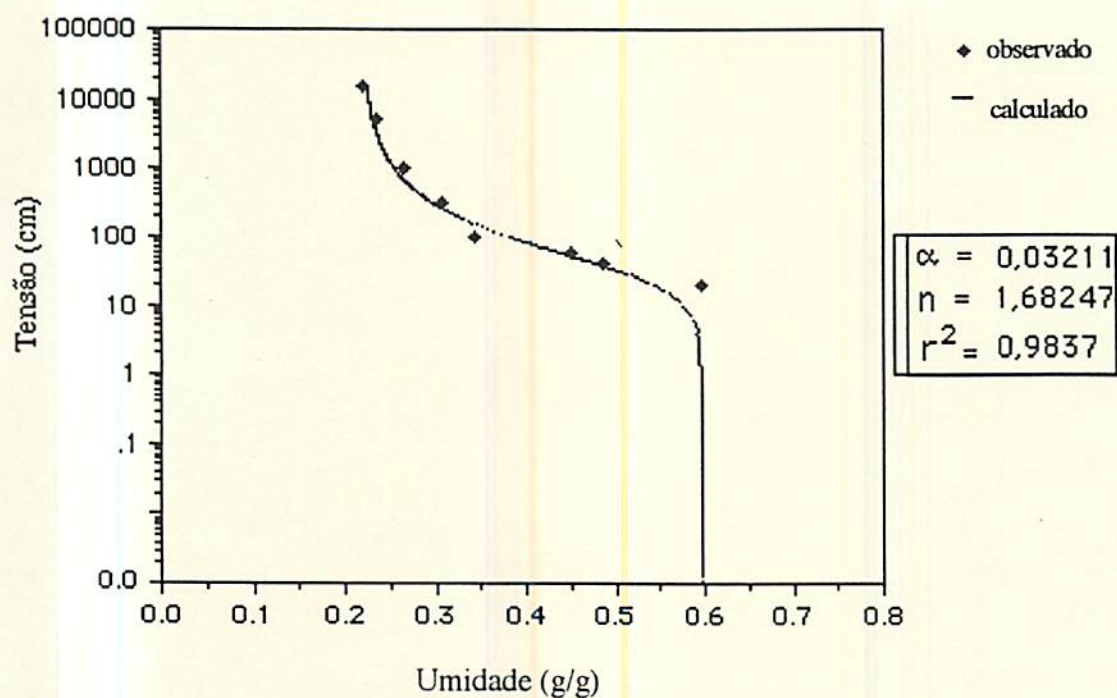


FIGURA 5 - Curva de retenção de umidade de 0 a 20 cm abaixo da superfície do solo.

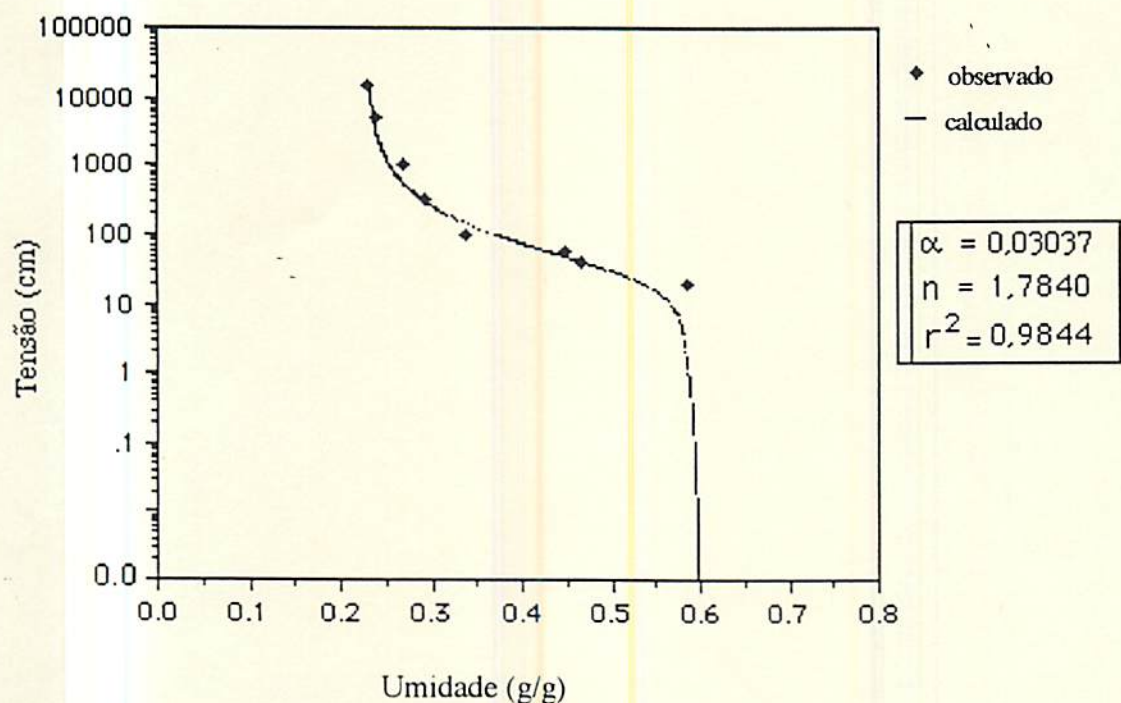


FIGURA 6 - Curva de retenção de umidade de 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo.

Os resultados revelados pela análise química do solo são apresentados no Quadro 3.

QUADRO 3 - Características químicas do solo da área do experimento, ESAL, Lavras, MG, 1992¹.

Camada (cm)	pH em H ₂ O	C (%)	Teores trocáveis					
			K	P	Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H + Al
			(ppm)		(meq/100cc)			
0 - 20	4,8	1,8	42	2	0,5	0,8	0,4	5,6
20 - 40	5,9	2,0	67	21	0,1	3,0	0,7	3,2

1. Análise realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do solo da ESAL, Lavras, MG.

3.3. Sistema de irrigação

O sistema de irrigação por aspersão utilizado foi composto de duas linhas laterais adjacentes, com quatro aspersores por linha, funcionando simultaneamente.

As linhas laterais foram compostas com tubos de PVC, de 2 polegadas de diâmetro. Na linha principal foi instalado um registro de gaveta e um manômetro de "Bourdon", para controle de vazão e da pressão de serviço.

As ligações entre os tubos de PVC e os aspersores foram feitas através de tubos de ferro galvanizado, com 3/4" de diâmetro e 0,50 m. de comprimento.



Os aspersores utilizados foram da marca ASBRASIL, modelo ZAD - 30, de dois bocais com diâmetro de 3,8 mm. Os quais foram previamente selecionados através de testes realizados no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

A distância entre aspersores e linhas laterais foi de 12 m.

A Figura 7, mostra o esquema de instalação do sistema utilizado.

3.4. Plano Experimental

A cultura utilizada no experimento foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar ESAL 647. A escolha dessa cultivar se baseou no fato de revelar-se mais produtiva e apresentar uma boa resposta à irrigação.

A área do experimento foi de 12 x 12 m, compreendida entre quatro aspersores. Esta área foi subdividida em parcelas de 3 x 3 m, e no centro dessas parcelas foram instalados 16 pluviômetros, para a medida da distribuição da água aplicada na superfície.

Em volta desses pluviômetros, num raio de 25 cm, foram demarcados os pontos nas quais foram coletadas as amostras de solo antes e após as irrigações, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, para medição da variação da umidade e de sua uniformidade dentro do solo.

A Figura 8 mostra o esquema da rede de pluviômetros e da rede de pontos onde foram coletadas as amostras.

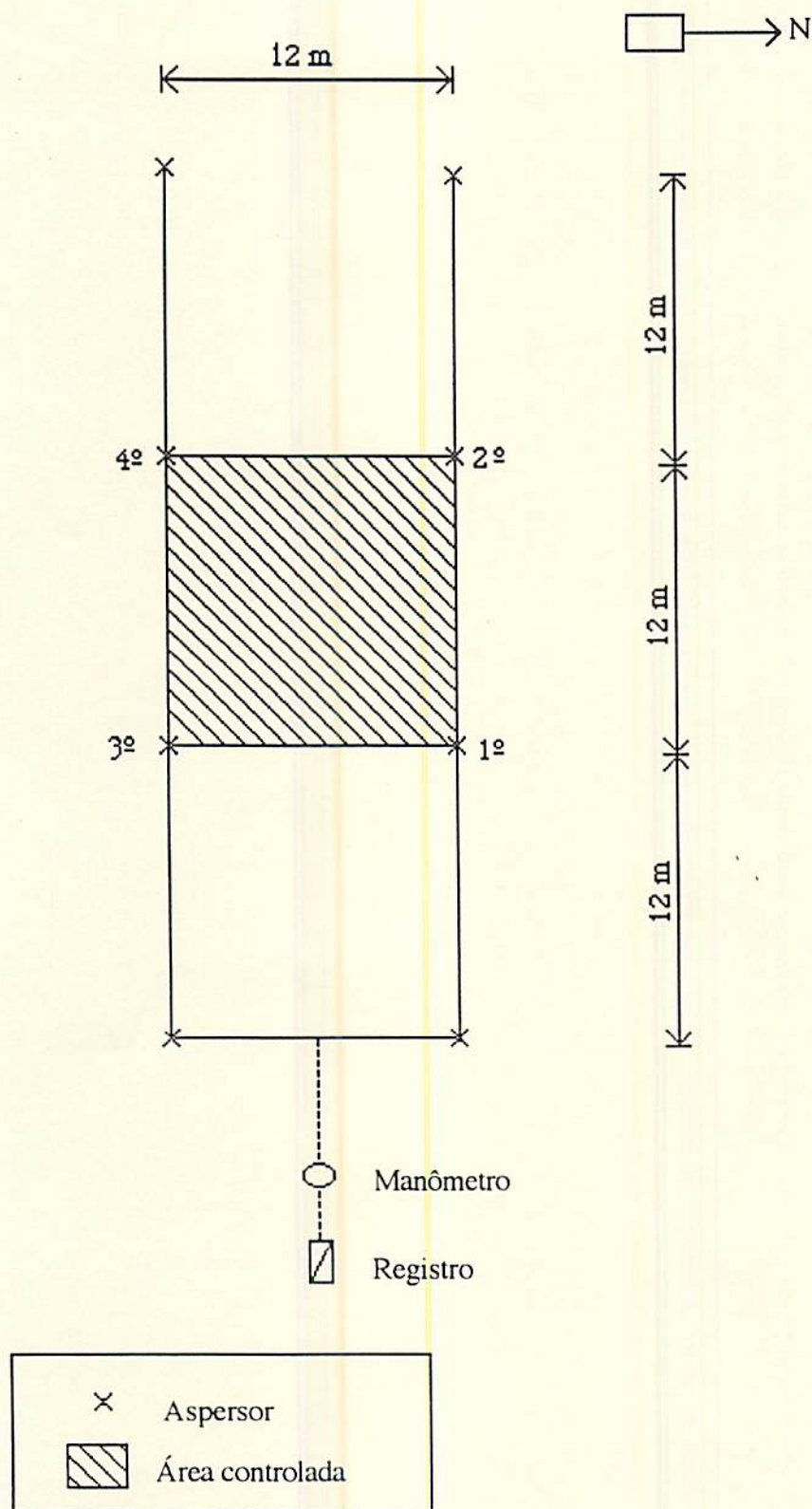


FIGURA 7 - Esquema do sistema de irrigação.

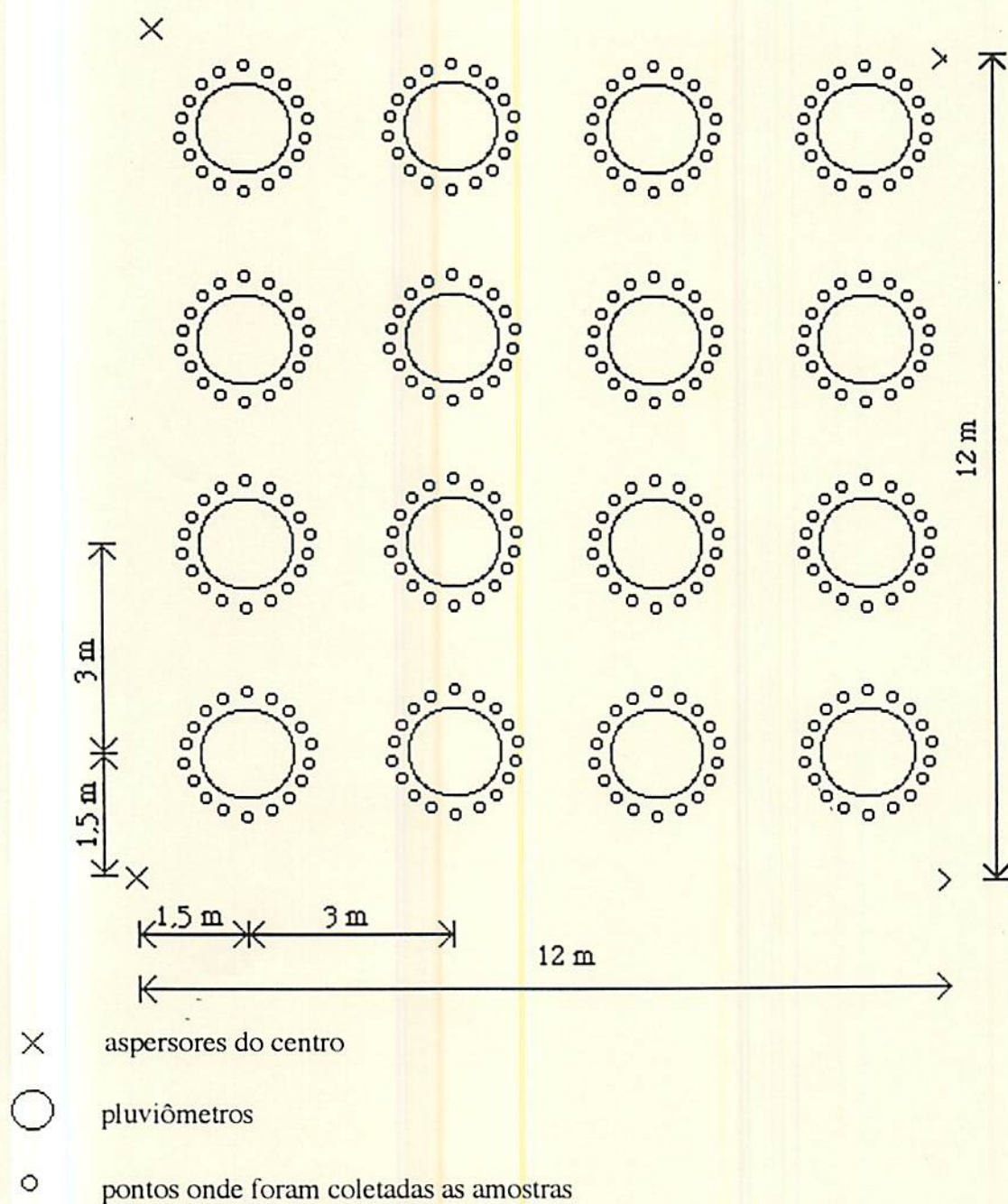


FIGURA 8 - Esquema da rede de pluviômetros e da rede de pontos onde foram coletadas as amostras.

Um dia antes de cada irrigação, foram coletadas amostras em alguns pontos, para determinação prévia da umidade, nas camadas de 0 a 20cm e 20 a 40cm abaixo da superfície do solo. Essas determinações permitiram calcular a quantidade de água necessária para elevar a umidade do solo até a umidade correspondente à capacidade de campo.

O turno de rega adotado foi de 7 dias, devido à operacionalização de outros experimentos instalados na área. As irrigações foram realizadas no período da manhã entre 7:00 e 12:00 horas, totalizando nove irrigações.

Para a determinação da distribuição inicial da umidade dentro do solo foi feita antes do início da irrigação, uma coleta de amostras de solo nos 16 pontos demarcados pelos pluviômetros, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo.

Após a irrigação foram coletadas amostras de solo, nos mesmos pontos, para determinação de umidade abaixo da superfície do solo.

Durante as irrigações foram medidas as precipitações dos aspersores, vazão, pressão de serviço e rotação dos mesmos. Foram determinadas, também, a velocidade e direção do vento, bem como a evaporação.

A precipitação de água dos aspersores foi coletada através de pluviômetros cujo diâmetro médio foi de 8,325 cm, distribuídos entre os quatro aspersores, conforme o esquema mostrado na Figura 8.

A medida da precipitação coletada nos pluviômetros foi realizada por meio de provetas graduadas, para uma maior precisão.

A vazão dos aspersores foi medida pelo processo direto, que consiste em usar um recipiente de volume conhecido (20 litros) e um cronômetro com precisão de centésimos de segundo.

A pressão de serviço dos aspersores foi determinada no bocal ejetor, utilizando-se um manômetro acoplado a um tubo-pitot.

Para determinação das velocidades angulares setoriais, nos quatro setores de 90 graus, descritos pelo aspersor numa volta completa, utilizou-se a seguinte expressão:

$$V_s = \frac{15}{t} \quad \text{eq 46}$$

onde:

V_s = velocidade angular setorial em rpm, e

t = tempo gasto para o aspersor percorrer cada setor, em s.

A velocidade do vento foi obtida por meio de anemômetro totalizador instalado ao lado do experimento. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, insolação, evaporação do tanque classe "A" e direção do vento foram obtidos na Estação climatológica Principal de Lavras, localizada no campus da ESAL próxima à área experimental.

Para medir a evaporação foram usados dois recipientes idênticos aos usados para coleta da precipitação dos aspersores, os quais foram instalados próximos à área experimental, com volume conhecido de água no início de cada irrigação. No final da irrigação foi medido o volume residual em cada pluviômetro, usando uma proveta graduada e, por diferença, foi obtido o volume de água evaporado durante a irrigação.

3.4.1. Lâmina de água requerida

Para determinação da lâmina de água a ser aplicada em cada irrigação, utilizou-se a seguinte equação:

$$y_a = \frac{(U_{cc} - U_a)}{100} \cdot D_a \cdot z \quad \text{eq 47}$$

onde:

y_a = lâmina de água a ser aplicada (mm)

U_{cc} = teor de umidade equivalente à capacidade de campo (% em peso)

U_a = teor de umidade imediatamente antes da irrigação (% em peso)

D_a = densidade global do solo (g/cm^3)

z = profundidade da camada do solo que se deseja molhar (mm).

O tempo de irrigação foi calculado pela expressão:

$$T_a = \frac{y_a}{I} \quad \text{eq 48}$$

onde:

T_a = tempo de aplicação

I = intensidade de precipitação de cada aspersor, dada pela equação:

$$I = \frac{Q}{S} \quad \text{eq 49}$$

onde:

Q = vazão do aspersor

S = área compreendida entre os aspersores (12m x 12m).

3.4.2. Avaliação superficial de água aplicada

A distribuição superficial da água foi estimada através de pluviômetros de 8,325 cm de diâmetro, distribuídos sobre a área experimental entre os quatro aspersores, conforme o esquema mostrado na Figura 8.

3.4.3. Avaliação da umidade abaixo da superfície do solo

A determinação da distribuição de umidade, abaixo da superfície do solo, foi estimada através da determinação de umidade das amostras de solo. Essas amostras foram coletadas em pontos situados dentro de um raio de 25 cm de distância dos pontos demarcados pelos pluviômetros, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm abaixo da superfície do solo.

Os teores de água das amostras de solo, foram determinados pelo método gravimétrico.

3.4.4. Parâmetros de desempenho

Foram determinadas as eficiências de aplicação (E_a) e de armazenamento (E_s), acima e abaixo da superfície do solo, através das equações 01 e 02 definidas por ISRAELSEN & HANSEN (1962).

Foram também estimados os parâmetros de eficiência de irrigação através dos modelos linear, proposto por KARMELI (1978) e o modelo normal proposto por WALKER (1979). Para aplicação dos modelos, foram utilizadas as lâminas coletadas nos pluviômetros e também as lâminas armazenadas no solo. Assim foram obtidas as eficiências de aplicação (E_a), armazenamento (E_s) e perdas por percolação (P_p), tanto acima como abaixo da superfície do solo.

Um exemplo de cálculo é apresentado no Anexo 1.

3.4.5. Coeficientes de uniformidade

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen, de Wilcox e Swailes, da HSPA, Eficiência Padrão da HSPA e Eficiência Padrão de Cridle, foram calculados pelas equações 04, 05, 09, 10 e 08 respectivamente.

Esses coeficientes foram calculados para a distribuição superficial e para as distribuições subsuperficiais, nas camadas de 0 a 20cm e 20 a 40cm, antes e depois das irrigações. Foram calculados com o objetivo de relacionar a uniformidade medida abaixo da superfície, com aquela indicada pelas medidas de superfície.

3.4.6. Ajustamento dos modelos

Os dados de precipitação de cada teste, após a adimensionalização, foram utilizados para gerar as funções lineares e normais, utilizando-se a lâmina coletada (y_i) em função da fração da área (x_i).

A avaliação do ajustamento dos modelos foi feita através do teste de adequação de ajuste de qui-quadrado (χ^2) ao nível de 5% de significância, comparando-se os dados gerados pelos modelos normal e linear e aqueles medidos em campo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Características operacionais dos aspersores

As características operacionais dos aspersores, bem como a condição do vento durante a realização das irrigações, são apresentadas no Quadro 4.

Os valores médios apresentados no Quadro 4 foram obtidos a partir de medições realizadas durante as irrigações. Os valores do tempo de rotação, velocidade de rotação, vazão e pressão dos aspersores de teste são apresentados no Quadro 5.

Em relação à rotação do aspersor, observa-se no Quadro 4 que a média mais alta, 1,92 rpm com uma pressão de serviço de 196 KPa, correspondeu à irrigação nº 9, e a média mais baixa, 1,38 rpm com pressão de serviço de 180 KPa, à irrigação nº 1. Estes resultados estão de acordo com as recomendações de BERNARDO (1989) e CHRISTIANSEN (1942) que consideram que a rotação dos aspersores deve variar de 0,5 a 2,0 e 1,0 a 4,0 rpm, respectivamente. A pressão de serviço pouco oscilou durante as irrigações, devido à característica do sistema de distribuir a água por gravidade. As pressões de serviço, apesar de baixas, estão dentro da faixa de operação especificada pelo fabricante. As vazões médias oscilaram entre 1,31 m³/h e 1,45 m³/h.

QUADRO 4 - Características operacionais dos aspersores e a condição do vento, durante a realização das irrigações.

Irrigação n ^o	Data	Duração (h)	Vazão média (m ³ /h)	Características Operacionais dos aspersores					Vento	
				Pressão média (KPa)	Intensidade de Precipitação média (mm/h)	Velocidade média de rotação (rpm)	Velocidade média (km/h)	Direção predominante		
01	02/04/92	3,18	1,360	180,0	9,38	1,38	7,85	NW		
02	09/04/92	4,33	1,309	177,5	8,84	1,48	9,04	NW		
03	23/04/92	4,37	1,389	182,5	9,39	1,84	6,30	NW		
04	30/04/92	2,81	1,442	187,5	9,56	1,87	3,60	SW		
05	14/05/92	5,54	1,390	186,5	9,12	1,67	7,25	NW		
06	21/05/92	2,45	1,445	187,5	9,81	1,85	8,03	W		
07	28/05/92	1,82	1,448	189,0	9,70	1,91	5,26	NW		
08	04/06/92	3,14	1,453	193,8	9,66	1,79	4,78	NW		
09	11/06/92	3,42	1,455	196,0	9,67	1,92	3,99	NW		

QUADRO 5 - Tempo de rotação, velocidade média de rotação, vazão e pressão dos aspersores testados durante as irrigações.

Irrigação (n°)	Aspersor de teste	Tempo de rotação do aspersor (seg)					Velocidade média de rotação do aspersor (rpm)	Vazão (m ³ /h)	Pressão (kPa)
		1° Q	2° Q	3° Q	4° Q	360°			
01	1°	11	12	12	11	46	1,30	1,370	178
	2°	9	8	10	9	36	1,67	1,350	178
	3°	9	9	10	9	37	1,62	1,370	182
	4°	17	17	14	18	66	0,91	1,350	182
02	1°	8	9	6	9	32	1,88	1,300	180
	2°	9	9	10	11	39	1,54	1,336	180
	3°	13	12	11	13	49	1,22	1,296	175
	4°	12	9	14	12	47	1,28	1,303	175
03	1°	8	8	7	8	31	1,94	1,426	185
	2°	8	8	8	8	32	1,88	1,400	185
	3°	8	9	7	9	33	1,82	1,372	180
	4°	9	10	7	9	35	1,71	1,357	180
04	1°	9	8	7	8	32	1,88	1,411	185
	2°	8	7	8	8	31	1,94	1,440	185
	3°	8	7	8	7	30	2,00	1,465	190
	4°	9	10	8	9	36	1,67	1,451	190
05	1°	8	9	8	7	36	1,67	1,372	180
	2°	8	8	10	8	34	1,76	1,364	185
	3°	8	9	9	10	36	1,67	1,415	190
	4°	8	10	9	11	38	1,58	1,408	190
06	1°	8	7	8	8	31	1,94	1,436	185
	2°	9	8	7	8	32	1,88	1,440	185
	3°	8	9	7	9	33	1,82	1,451	190
	4°	8	9	9	8	34	1,76	1,454	190
07	1°	8	7	8	8	31	1,94	1,408	185
	2°	9	8	7	8	32	1,88	1,447	189
	3°	7	7	7	7	28	2,14	1,458	190
	4°	8	10	8	10	36	1,67	1,480	192
08	1°	8	8	8	8	32	1,88	1,436	185
	2°	9	8	9	8	34	1,76	1,451	190
	3°	8	9	9	8	34	1,76	1,454	200
	4°	8	9	9	8	34	1,76	1,469	200
09	1°	8	8	8	8	32	1,88	1,451	192
	2°	8	9	8	8	33	1,82	1,440	192
	3°	7	7	6	8	28	2,14	1,458	200
	4°	8	8	9	8	33	1,82	1,472	200

No Quadro 4 observa-se que a velocidade média do vento variou de 3,60 a 9,04 km/h, médias abaixo do limite recomendado por BERNARDO (1989), que é de 4,0 m/s ou seja 14,4 km/h.

4.2. Parâmetros de desempenho

Os valores dos parâmetros de desempenho de avaliação da irrigação acima da superfície do solo são apresentados no Quadro 6.

Observa-se no Quadro 6 que a eficiência de aplicação (E_a) apresenta um valor médio de 85,08%, podendo ser considerada como excelente, segundo HART et alii (1979).

Na irrigação nº 6, embora o armazenamento tenha atingido 100,00%, a eficiência de aplicação foi muito baixa, devido provavelmente à uma má estimativa da precipitação ocorrida antes da irrigação, o que causou uma super estimativa da lâmina aplicada.

No Quadro 7 são apresentados os parâmetros de desempenho determinados acima e abaixo da superfície do solo. Pode-se verificar, pelos dados deste Quadro, que as eficiências, encontradas acima da superfície, aproximam-se daquelas encontradas abaixo da superfície do solo, quando a irrigação for bem planejada, ou seja, a lâmina aplicada deve ser a mais próxima possível da lâmina requerida. Na irrigação nº 6 o armazenamento na superfície foi de 100,00%, enquanto que abaixo da superfície foi de 65,27%. Isto ocorreu porque nesta irrigação, o solo já se encontrava com o armazenamento elevado e recebeu ainda uma lâmina de irrigação super estimada.

QUADRO 6 - Valores percentuais dos parâmetros de desempenho de avaliação da irrigação, acima da superfície do solo.

IRRIGAÇÕES	PARÂMETROS							
	Ea	Ed	Es	CUC	Cws	Ep	UC _H	PE _H
01	99,30	100,00	71,87	85,03	82,22	82,24	85,82	77,43
02	92,93	95,53	79,92	79,94	72,81	72,81	78,30	65,47
03	87,52	89,93	90,51	80,59	76,67	72,90	81,38	70,37
04	89,32	93,35	89,05	83,06	80,10	79,49	84,12	74,72
05	79,68	84,38	95,69	82,63	78,30	73,40	82,68	72,44
06	45,67	46,73	100,00	78,97	72,62	73,97	78,15	65,22
07	91,42	94,79	85,71	81,71	76,71	73,39	81,42	70,43
08	91,19	95,22	82,28	79,71	74,52	70,54	79,67	67,64
09	88,69	92,71	87,47	79,89	75,23	71,55	80,23	68,54
\bar{x}	85,08	88,07	86,94	81,28	76,58	74,48	81,31	70,25
S	15,65	16,08	8,40	1,98	3,22	3,83	2,57	4,10
cv	18,40	18,26	9,66	2,43	4,21	5,14	3,17	5,83

4.3. Uniformidade de distribuição de água acima da superfície do solo.

Os valores dos coeficientes de uniformidade determinados acima da superfície do solo, encontram-se apresentados no Quadro 6. Observa-se no Quadro 6 que os valores médios do CUC, Cws, Ep, UC_H e PE_H foram 81,28%, 76,58%, 74,48%, 81,31% e 70,25%, respectivamente. Os coeficientes de variação oscilaram entre 2,43 e 5,83 %, isto indica pouca dispersão em relação à média, mostrando que foram uniformes as distribuições de água nas irrigações realizadas.

QUADRO 7 - Valores dos parâmetros de desempenho determinados acima e abaixo da superfície do solo.

IRRIGAÇÕES	PARÂMETROS DE DESEMPENHO			
	Acima da Superfície do solo		Abaixo da Superfície do solo	
	Ea	Es	Ea	Es
01	99,30	71,87	100,00	100,00
02	92,93	79,92	100,00	91,37
03	87,52	90,51	89,42	92,47
04	89,32	89,05	91,76	91,46
05	79,68	95,69	75,67	90,88
06	45,67	100,00	29,81	65,27
07	91,42	85,71	79,73	74,74
08	91,19	82,28	91,32	82,40
09	88,69	87,47	89,53	88,30
\bar{x}	85,08	86,94	83,03	85,48

O valor médio do coeficiente de uniformidade de Christiansen foi de 81,28%, é superior ao valor mínimo aceitável ($\geq 80\%$), para o desempenho normal do sistema de aspersão, segundo Corry, citado por OLITTA (1981).

Segundo MERRIAM et alii (1973), enquanto a E_p média de 74,48% está dentro da faixa recomendada (70 a 80%), o CUC médio de 81,28% está um pouco abaixo da recomendação (82 a 88%), para cultivos com sistema radicular médio.

Pode-se constatar também que os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen são muito próximos do coeficiente de uniformidade de Hart.

4.4. Uniformidade de distribuição de água abaixo da superfície do solo

Os valores dos coeficientes de uniformidade determinados acima e abaixo da superfície do solo, são apresentados no Quadro 8. Observa-se que todos os valores dos coeficientes de uniformidade, determinados abaixo da superfície, foram superiores aos determinados acima da superfície do solo.

Observa-se que os coeficientes de uniformidade abaixo da superfície são mais elevados, provavelmente devido à aplicação desuniforme de água ao solo. Tal aplicação cria gradientes de tensões que provocam o movimento da água de pontos de menores tensões para pontos de maiores tensões, isto é, de regiões mais úmidas para regiões menos úmidas, tendendo a reduzir as diferenças e a equilibrar as tensões. Há uma intensa redistribuição da água dentro do solo e, conseqüentemente, uma uniformização da distribuição de umidade.

Os valores do Quadro 8 também mostram que os critérios atuais para a avaliação, que fixam valores para o coeficiente de uniformidade de Christiansen e para a eficiência padrão de Criddle acima de 80%, subestimam a uniformidade de distribuição, quando comparados com os coeficientes de uniformidade determinados abaixo da superfície do solo.

No Quadro 9 são apresentados os valores dos coeficientes de uniformidade determinados antes e depois da irrigação, abaixo da superfície do solo. Através desses valores, observou-se que a distribuição de umidade abaixo da superfície do solo antes da irrigação, mesmo apresentando coeficientes de uniformidades elevados, apresentaram pequena melhora após as irrigações.

QUADRO 8 - Valores dos coeficientes de uniformidade determinados acima e abaixo da superfície do solo.

IRRIGAÇÕES	ACIMA DA SUPERFÍCIE DO SOLO					ABAIXO DA SUPERFÍCIE DO SOLO				
	CUC	Cws	Ep	UCH	PEH	CUC	Cws	Ep	UCH	PEH
01	85,03	82,22	82,24	85,82	77,43	96,42	95,06	94,14	96,06	93,73
02	79,94	72,81	72,81	78,30	65,47	97,82	97,17	96,41	97,75	96,41
03	80,59	76,67	72,90	81,38	70,37	97,54	96,74	96,83	97,40	95,86
04	83,06	80,10	79,49	84,12	74,72	97,38	96,60	95,40	97,29	95,69
05	82,63	78,30	73,40	82,68	72,44	96,79	95,38	95,56	96,31	94,13
06	78,97	72,62	73,97	78,15	65,22	96,01	94,52	94,10	95,63	93,04
07	81,71	76,71	73,39	81,42	70,43	94,97	94,23	93,46	95,40	92,68
08	79,71	74,52	70,54	79,67	67,64	95,42	94,21	92,09	95,38	92,64
09	79,89	75,23	71,55	80,23	68,54	96,83	95,90	94,40	96,73	94,79
\bar{x}	81,28	76,58	74,48	81,31	70,25	96,58	95,53	94,71	96,44	94,33

QUADRO 9 - Valores dos coeficientes de uniformidade determinados antes e depois da irrigação abaixo da superfície do solo.

IRRIGAÇÕES	COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE (%)									
	ANTES DA IRRIGAÇÃO					DEPOIS DA IRRIGAÇÃO				
	CUC	Cws	Ep	U _{CH}	PE _H	CUC	Cws	Ep	U _{CH}	PE _H
01	93,46	91,91	88,81	93,22	89,73	96,42	95,06	94,14	96,06	93,73
02	90,35	88,79	86,58	91,05	85,76	97,82	97,17	96,41	97,75	96,41
03	91,49	90,08	87,03	92,09	87,41	97,54	96,74	96,83	97,40	95,86
04	95,43	93,79	91,50	95,04	92,11	97,38	96,60	95,40	97,29	95,69
05	92,40	90,62	87,62	92,52	88,09	96,79	95,38	95,56	96,31	94,13
06	96,31	95,56	94,73	96,46	94,36	96,01	94,52	94,10	95,63	93,04
07	96,12	94,85	92,71	95,89	93,46	94,97	94,23	93,46	95,40	92,68
08	90,70	89,11	86,04	91,31	86,17	95,42	94,21	92,09	95,38	92,64
09	89,46	87,58	84,98	90,09	84,23	96,83	95,90	94,40	96,73	94,79
\bar{x}	92,86	91,37	88,89	93,07	89,04	96,58	95,53	94,71	96,44	94,33

4.5. Eficiência de irrigação

Os valores dos parâmetros de desempenho de avaliação da irrigação acima da superfície do solo são mostrados no Quadro 10. Os valores médios para Ud, Ea, Es e Pp foram, 90,64%, 85,08%, 86,94 % e 14,92% respectivamente, os quais, de acordo com a classificação de HART et alii (1979) , são todos excelentes. Com estes resultados, a irrigação praticada no experimento está na Categoria I da classificação destes autores, não requerendo nenhuma melhoria na distribuição de água ou da lâmina de aplicação.

QUADRO 10 - Valores dos parâmetros de desempenho da irrigação acima da superfície do solo.

IRRIGAÇÕES	PARÂMETROS (%)			
	Ea	Es	Ea	Es
01	99,30	71,87	0,70	92,52
02	92,93	79,92	7,07	89,97
03	87,52	90,51	12,48	90,30
04	89,32	89,05	10,68	91,53
05	79,68	95,69	20,32	91,32
06	45,67	100,00	54,33	89,86
07	91,42	85,71	8,58	90,74
08	91,19	82,28	8,81	89,86
09	88,69	87,47	11,31	89,95
\bar{X} (%)	85,08	86,94	14,92	90,64
S (%)	15,65	8,40	15,65	0,99
cv (%)	18,40	9,66	104,89	1,09

4.6. Performance dos modelos

Os valores dos coeficientes de variação, do qui-quadrado calculado e dos parâmetros de desempenho estimados através dos modelos linear e normal, acima e abaixo da superfície do solo são apresentados nos Quadros 11 e 12, respectivamente. Observa-se que os coeficientes de variação oscilaram entre 0,18 a 0,25 e 0,19 a 0,57, acima e abaixo da superfície do solo respectivamente. Estes valores indicam uma pequena dispersão dos dados coletados de campo em relação à média. Verifica-se através dos valores de qui-quadrado que as frequências observadas e as esperadas não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância tanto para o modelo uniforme quanto para o normal.

QUADRO 11 - Valores dos coeficientes de variação, Qui-Quadrado calculado (χ^2) e dos parâmetros estimados através dos modelos uniforme e normal, acima da superfície do solo.

IRRIGAÇÃO	Coeficiente de Variação	Qui-Quadrado		Parâmetros Estimados (%)					
		* χ^2_1	** χ^2_2	Modelo Uniforme			Modelo Normal		
Nº				Ea	Es	Pp	Ea	Es	
				Pp					
01	0,18	1,833	5,208	99,30	71,94	0,00	99,30	71,94	0,70
02	0,27	2,850	1,726	94,36	80,84	5,64	96,00	82,23	4,00
03	0,23	0,450	0,739	87,50	90,81	9,82	88,38	91,73	11,62
04	0,20	3,583	1,949	90,12	89,69	12,50	91,26	90,82	8,74
05	0,22	2,800	0,961	79,29	95,42	9,88	79,26	95,38	20,74
06	0,27	5,070	3,145	45,93	100,00	20,71	45,49	100,00	54,01
07	0,23	1,600	0,201	91,76	85,71	4,07	93,40	87,24	6,60
08	0,25	4,500	3,957	91,95	82,77	8,24	93,82	84,45	6,18
09	0,25	2,000	2,055	88,69	87,47	11,31	90,03	88,78	9,97

* χ^2_1 - Modelo uniforme

** χ^2_2 - Modelo normal

Obs. - Todos os valores de Qui-quadrado não foram significativos ao nível de 5%.

QUADRO 12 - Valores dos coeficientes de variação, do Qui-Quadrado calculado (χ^2) e dos parâmetros estimados através dos modelos uniforme e normal, abaixo da superfície do solo.

IRRIGAÇÃO	Coeficiente de Variação	Qui-Quadrado		Parâmetros Estimados (%)					
		Calculado		Modelo Uniforme			Modelo Normal		
		* χ^2_1	** χ^2_2	Ea	Es	Pp	Ea	Es	Pp
01	0,19	1,000	5,776	92,24	92,24	7,76	92,98	92,98	7,02
02	0,21	1,250	0,961	91,14	91,14	8,86	92,13	92,13	7,87
03	0,19	0,750	0,452	92,26	92,26	7,74	92,97	92,97	7,03
04	0,21	4,050	1,724	92,07	91,16	7,93	92,79	91,87	7,21
05	0,23	3,783	2,096	90,63	90,63	9,37	91,50	91,50	8,50
06	0,57	1,250	0,962	92,10	66,26	7,90	96,53	69,45	3,47
07	0,44	0,583	0,214	91,24	73,21	8,76	93,96	77,65	6,04
08	0,27	2,833	1,146	94,82	83,17	5,18	96,84	84,95	3,16
09	0,30	2,700	0,413	89,28	87,53	10,72	90,23	88,46	9,77

* χ^2_1 - Modelo uniforme

** χ^2_2 - Modelo normal

Obs. - Todos os valores de Qui-quadrado não foram significativos ao nível de 5%.

Observa-se no Quadro 13 que praticamente não há diferença entre os parâmetros de desempenho obtidos pelos modelos linear e normal. Confirmando afirmações de Karmeli et alii, citado por NOGUEIRA (1987), que não há diferença significativa entre os parâmetros de desempenho obtidos por meio dos modelos uniforme e normal, quando o

coeficiente de variação é inferior a 0,62. As estimativas de eficiências através do modelo uniforme estão mais próximas dos valores calculados do que aquelas estimadas pelo modelo normal.

QUADRO 13 - Valores percentuais dos parâmetros de desempenho calculados e estimados através dos modelos uniforme e normal, acima da superfície do solo.

IRRIGAÇÃO	Pârametros	Calculados	Parâmetros Estimados (%)						
			Modelo Uniforme			Modelo Normal			
Nº	Ea	Es	Pp	Ea	Es	Pp	Ea	Es	Pp
01	99,30	71,87	0,70	99,30	71,94	0,00	99,30	71,94	0,70
02	92,93	79,92	7,07	94,36	80,84	5,64	96,00	82,23	4,00
03	87,52	90,51	12,48	87,50	90,81	12,50	88,38	91,73	11,62
04	89,32	89,05	10,68	90,12	89,69	9,88	91,26	90,82	8,74
05	79,68	95,69	20,32	79,29	95,42	20,71	79,26	95,38	20,74
06	45,67	100,00	54,33	45,93	100,00	54,07	45,49	100,00	54,51
07	91,42	85,71	8,58	91,76	85,71	8,24	93,40	87,24	6,60
08	91,19	82,28	8,81	91,95	82,77	8,05	93,82	84,45	6,18
09	88,69	87,47	11,31	88,69	87,47	11,31	90,03	88,78	9,97

4.7. Produtividade da cultura

A cultura foi implantada no dia 16/03/92. A colheita foi realizada no dia 30/06/92, totalizando um ciclo de 117 dias. O ciclo da cultura foi retardado devido às baixas temperaturas registradas no período experimental.

Além das contribuições pluviométricas (324,7 mm), foi aplicada no experimento uma lâmina total de água de 291,64 mm, não havendo déficit de água no solo.

O rendimento de sementes foi determinado através da colheita manual de toda a área útil do experimento.

Nas condições experimentais a cultura apresentou uma produtividade de 1775,7 kg/ha. Este rendimento é considerado bom, contudo espera-se um acréscimo no período de verão, onde as condições climáticas são mais favoráveis.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da análise da performance do sistema de irrigação por aspersão convencional utilizado, pode-se concluir que:

1. A eficiência de aplicação e de armazenamento determinadas acima da superfície podem representar aquelas obtidas abaixo da superfície, quando se tem uma irrigação bem planejada.
2. Houve um pequeno acréscimo nos coeficientes de uniformidade determinados a partir de dados coletados abaixo da superfície do solo.
3. Os valores dos coeficientes de uniformidade estimados na superfície, foram inferiores àqueles estimados abaixo da superfície do solo.
4. Os parâmetros de desempenho estimados pelos modelos uniforme e normal aproximam-se dos parâmetros calculados.
5. A irrigação praticada no experimento pode ser considerada excelente segundo critérios de HART et alii (1979).
6. Além da avaliação técnica superficial é importante analisar, também, a uniformidade da distribuição de umidade no perfil do solo. A uniformidade de distribuição abaixo da superfície do solo é mais elevada e, portanto, mais adequada, quando se deseja um sistema mais econômico.

6. RESUMO

O experimento foi conduzido no campo experimental da Escola Superior de Agricultura de Lavras, na área do Departamento de Biologia, no município de Lavras, MG, com o objetivo de analisar a performance de um sistema de irrigação por aspersão, acima e abaixo da superfície do solo através da uniformidade e eficiência de aplicação de água.

Foram realizadas nove irrigações com oito aspersores, quatro por linha, espaçados de 12 m entre si, nos quais mediu-se a vazão, pressão e velocidade de rotação.

As precipitações foram medidas através de 16 pluviômetros, espaçados de 3 m entre si, na área compreendida entre os quatro aspersores centrais.

As distribuições de água abaixo da superfície foram medidas através da umidade determinada em amostras de solo, retiradas em pontos demarcados pelos pluviômetros, nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm abaixo da superfície do solo, antes e após as irrigações.

As uniformidades das distribuições obtidas acima e abaixo da superfície, foram expressas pelos coeficientes de uniformidade, propostas por Christiansen, Wilcox e Swailes, Criddle et alii e Hart.

Para determinação dos parâmetros de eficiência de irrigação, foram utilizadas as lâminas coletadas nos pluviômetros e também as lâminas armazenadas no solo.

Para fins de comparação, foram determinados os parâmetros de desempenho através dos modelos uniforme e normal.

Os valores dos coeficientes de uniformidades estimados na superfície, foram inferiores àqueles estimados abaixo da superfície do solo.

Os modelos linear e normal não apresentaram diferenças significativas na determinação dos parâmetros de desempenho.

De acordo com a eficiência de aplicação média ($E_a = 85,08\%$), eficiência de armazenamento média ($E_s = 86,94\%$), perda por percolação profunda média ($P_p = 14,92\%$) e a uniformidade de distribuição média ($U_d = 90,64\%$), a irrigação praticada pode ser considerada excelente [categoria I de HART et alii (1979)], não sendo necessária nenhuma melhoria.

Nas condições experimentais, a cultura teve uma produtividade de 1775,7 kg/ha.

7. SUMMARY

This research was conducted at the campus of Escola Superior de Agricultura de Lavras, at state of Minas Gerais, Brazil. The objective of this work was to analyse the irrigation performance of a sprinkler system, by measuring water distribution on and under the soil surface. Parameters evaluated included distribution uniformity and application efficiency.

The research involuted nine water applications using eight sprinklers, four at each time, spaced 12 meters apart. Parameters measured included flow rate, working pressure and rotation. Water applied was collected with 16 catch cans, spaced 3 meters apart, being all of them, cans placed inside a square area limited by four sprinklers.

The water distribution under the soil surface was calculated by measuring the gravimetric water content before and after irrigation, at depths from 0 to 20 and from 20 to 40 cm.

The distribution uniformity for water application measured, on the soil surface and in the soil profile was calculated through the formulae proposed by Christiansen, Wilcox and Swailes, Criddle et al. and Hart.

To calculate the irrigation efficiency parameter it was used the water coleted in pluviometers and the water stored in the soil.

It was found that the uniformity coefficients on the soil surface were inferior to those in the soil profile.

Signification differences were not observed when linear or normal models were used to fit the irrigation performance parameters.

According to average application efficiency ($E_a = 85,08\%$), average soil-water storage efficiency ($E_s = 86,94\%$), deep percolation losses ($P_p = 14,92\%$) and the average distribution uniformity ($U_d = 90.64\%$), the irrigation does not need improvement. It can be considered excellent and fits in the first category proposed by HART et alii (1979). Under the experimental conditions, it was possible to obtain a dry bean yield of 1775,7 kg/ha.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

01. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. **Dicionário de termos técnicos de irrigação e drenagem**. Viçosa, Imprensa Universitária 1978: 615 p.
02. BAPTISTELLA, J. R.; LEME, E. J. A.; ROSENFELD, U. & CAMPOS, H. Uniformidade de aspersão, avaliação da eficiência de aplicação e de armazenamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 5, São Paulo, 1980. **Anais...** São Paulo, ABID, 1980. V. 2, p.355-91.
03. BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária. 1989. 596 p.
04. BOS, M. G. Standards for irrigation efficiencies of ICID. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, **105**(1):37-43, 1979.
05. BRANSCHIED, V. O. & HART, W. E. Predicting field distributions of sprinkler systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **11**(6):801-3, 808, 1968.
06. BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas** (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro). Rio de Janeiro, 1969. 99p.
07. CHAUDHRY, F. H. Nonuniform sprinkler irrigation application efficiency **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, **104**(IR2):165-78, June 1978.

08. CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley, University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
09. _____. The uniformity of application of water by sprinkler systems. **Agricultural engineering**, Michigan, **22(3):89-92**, 1941.
10. _____ & DAVIS, J. R. Sprinkler irrigation systems. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R. & EDMINSTER, T. W. **Irrigation of agricultural lands**. Madison, ASCE, 1967. p. 885-904. (Agronomy, 2).
11. DAKER, A. **A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola, irrigação e drenagem**. 5. ed. Rio de Janeiro, F. Bastos, 1976. v. 3, 453p.
12. DOURADO NETO, D.; LIER, Q. de J. V.; BOTREL, T. A. & LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo, utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, **1(2):102**, dez. 1990.
13. ELLIOTT, R. L.; NELSON, J. D.; LOFTIS, J. C. & HART, W. E. Comparison of sprinkler uniformity models. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, **106(4):321-30**, 1980.
14. FOOD AND AGRICULTURE OF THE UNITED NATIONS. **Dados agroclimatólogicos para a América Latina Y el Caribe**. Roma, 1985. n. p. (Coleccion FAO: Produccion y Proteccion Vegetal, 24).
15. FREIRE, J. C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de latossolo roxo distófico não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **3(3):73-7**, set/dez. 1979.

16. FROST, K. R. Factors affecting evapotranspiration losses during sprinkling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **6(4):282-3**, 1963.
17. _____ & SCHWALEN, H. C. Sprinkler evaporation losses. **Agricultural Engineering**, Michigan, **36(8):526-8**, 1955.
18. GOMIDE, R. L. **Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1978. 87 p. (Tese MS).
19. HANSEN, V. E. New concepts in irrigation efficiency. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **3(1):55-64**, 1960.
20. HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**, Michigan, **42(7):354-5**, 1961.
21. _____. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **15 (3) : 656 - 61, 666**, 1972.
22. _____ ; PERI, G. & SKOGERBOE, G. V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, **105 (9) : 275 - 88**, Sept. 1979.
23. _____ & REYNOLDS, W. N. Analytical design of sprinkler systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **8(1):83-5, 89**, 1965.
24. ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. **Irrigation principles and practices**. 3. ed. New York, John Wiley & Sons, 1962. 447p.
25. KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **21(4):682-6**, 1978.

26. KELLER, J. **Sprinkle Irrigation**. 2. ed. Washington, SCS, National Engineering Handbook, 1979. Sec. 15, cap. 11, 302p.
27. MERRIAM, J. L. & KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan, Utah State University, 1978. 271p.
28. _____ ; SHEARER, M. N. & BURT, C. M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M. E., ed **Design an operation of farm irrigation system**: St. Joseph, ASAE, 1983. Cap. 17, p.721 - 60.
29. NOGUEIRA, L. C. **Avaliação técnica de dois sistemas de irrigação por aspersão**. Fortaleza, UFC, 1987. 124p. (Tese MS).
30. OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo, Nobel, 1981. 267p.
31. PAIVA, J. B. D. de **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão**. São Carlos, USP, 1980. 333p. (Tese MS).
32. SCALOPPI, E. J. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Item**, Brasília, (16):37-40, 1984.
33. SOUZA, F. & RIBEIRO, J. M. Aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão. **Revista Item**, Brasília, (16):7-10, 1984.
34. VILELA, E. A. & RAMALHO, M. A. P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, 3:(1):71-9, jan/jun. 1979.

35. WADA, S. K.; DIAS JUNIOR M. de S. & MACHADO, M. A. DE M. Alterações em parâmetros hídricos e relações massa/volume de um latossolo roxo sob diferentes usos. **Ciência e Prática**, Lavras, **12(2)**:212-21, jul/dez. 1988.
36. WALKER, W. R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, **105(IR2)**:129-36, 1979.
37. WILCOX, J. C. & SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, **27(11)**:563-83, nov. 1947.

ANEXO 1

MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS
DE
DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

1. Caracterização da irrigação

Irrigação N° 9

Data: 11/06/92

Início: 7:54

Término: 11:19

Duração: 3,42 h

Vazão média: 1,455 m³/h

Pressão média: 196 KPa

1.1. Cálculo da eficiência de aplicação (Ea), eficiência de distribuição (Ed) e eficiência de armazenamento (Es).

a) Dados de precipitação coletados em cm³.

154	156	128	200	$\bar{y} = 179,94 \text{ cm}^3$
158	194	260	184	$s = 44,60 \text{ cm}^3$
145	205	260	220	$\sum y = 2879 \text{ cm}^3$
102	140	167	206	$n = 16$

b) Lâmina infiltrada (L inf.)

$$L \text{ inf.} = \frac{\sum y}{n \times A_p}$$

A_p = 54,43 cm² (área do pluviômetro)

$$L \text{ inf.} = \frac{2879}{16 \times 54,43} \Rightarrow L \text{ inf.} = 33,06 \text{ mm}$$

c) Determinação da lâmina requerida

$$y_{rr} = \frac{(U_{cc} - U_a)}{100} \cdot D_a \cdot z$$

$$y_{rr} (0-20) = \frac{(34,36 - 24,38)}{100} \cdot 1,29 \cdot 200 = 25,75 \text{ mm}$$

$$y_{rr} (20-40) = \frac{(33,88 - 26,68)}{100} \cdot 1,29 \cdot 100 = 9,29 \text{ mm}$$

$$y_{rr} (0-30) = 25,75 + 9,29 = 35,04 \text{ mm}$$

d) Lâmina disponível (depende da lâmina requerida), todo valor que superar a requerida será considerado apenas o requerido e todos inferiores serão considerados disponíveis.

Em termos de volume temos:

$$\text{Volume requerido} : 3,504 \times 54,43 = 190,72 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume disponível} : 7 \times 190,72 + 1334,00 = 2669,04 \text{ cm}^3$$

$$\text{Lâmina disponível} = \frac{2669,04}{16 \times 54,43} = 3,06 \text{ cm} = 30,65 \text{ mm}$$

$$\text{e) Lâmina aplicada} = \frac{\text{Volume aplicado}}{E1 \times E2}$$

$$\text{Lâmina aplicada} = \frac{1455 \text{ l/h} \times 3,42 \text{ h}}{144 \text{ m}^2} = 34,56 \text{ mm}$$

$$\text{f) } E_a = \frac{\text{lâmina disponível}}{\text{lâmina aplicada}} = \frac{30,65}{34,56} \Rightarrow E_a = 88,69 \%$$

$$\text{g) } E_d = \frac{\text{lâmina disponível}}{\text{lâmina infiltrada}} = \frac{30,65}{33,06} \Rightarrow E_d = 92,71 \%$$

$$\text{h) } E_s = \frac{\text{lâmina disponível}}{\text{lâmina requerida}} = \frac{30,65}{35,04} \Rightarrow E_s = 87,47 \%$$

1.2. Determinação dos parâmetros de desempenho através do Modelo Linear

a) Obtenção dos coeficientes e parâmetros

Índice	Volume coletado (cm ³)	Lâmina adimensional (Y)	Áreas acumuladas(m ²)	Áreas acum. adim. (X)
1	102	0,57	9	0,06
2	128	0,71	18	0,13
3	140	0,78	27	0,19
4	145	0,81	36	0,25
5	154	0,86	45	0,31
6	156	0,87	54	0,38
7	158	0,88	63	0,44
8	167	0,93	72	0,50
9	184	1,02	81	0,56
10	194	1,08	90	0,63
11	200	1,11	99	0,69
12	205	1,14	108	0,75
13	206	1,14	117	0,81
14	220	1,22	126	0,88
15	260	1,44	135	0,94
16	260	1,44	144	1,00

$$\bar{Y} = 33,06 \text{ mm}$$

$$s = 8,19$$

$$a = 0,572$$

$$b = 0,805$$

$$R^2 = 0,953$$

então:

$$Y = 0,572 + 0,805X$$

b) Lâmina requerida ($y_{rr} = 35,04$ mm)

c) Lâmina adimensional requerida (Y_r)

$$Y_r = \frac{y_{rr}}{\bar{y}} = \frac{35,04}{33,06} = 1,06$$

d) Lâmina máxima (Y máx.) e Lâmina mínima (Y min.)

$$Y \text{ máx.} = 1,40$$

$$Y \text{ min.} = 0,60$$

e) Caso 2 ($1 < Y_r \leq Y$ máx.)

$$E_a = 88,69 \%$$

$$E_s = 87,47 \%$$

$$P_p = 6,97 \%$$

1.3. Determinação dos parâmetros de desempenho através do Modelo Normal

a) Dados:

Lâmina requerida ($y_{rr} = 35,04$ mm)

Lâmina média infiltrada ($\bar{Y} = 33,06$ mm)

Coefficiente de variação ($cv = 0,2477$)

Lâmina adimensional requerida ($Y_r = 1,06$)

b) Determinação de Δ e Δ' .

$$\Delta = 1 - Y_r = 1 - 1,06 = - 0,06$$

$$\Delta' = 3,634 \cdot cv = 3,634 \cdot 0,2477 = 0,9001$$

c) Determinação da área deficientemente irrigada (A_d)

$$\frac{\Delta}{\Delta'} = 1 - 0,309 \cdot A_d^{0,301} \quad A_d = 61,3304$$

d) Volume deficiente (V_d)

$$V_d = 0,003 \cdot cv \cdot A_d^{1,233} \quad V_d = 0,1189$$

e) Parâmetros de desempenho

$$E_a = 90,03 \%$$

$$E_s = 88,78 \%$$

$$P_p = 5,63 \%$$

1.4. Coeficientes de uniformidade

$$CUC = 79,89 \%$$

$$Cws = 75,23 \%$$

$$E_p = 71,55 \%$$

$$UC_H = 80,23 \%$$

$$PE_H = 68,54 \%$$

ANEXO 2

DADOS CLIMATOLÓGICOS

QUADRO 2A - Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de março/92 - ESAL - Lavras - MG.

MÊS: MARÇO									
Dia	Temp. Média	Temp. Máx	Temp. Mín.	U.R. média	Precipitação	Insolação	Evaporação Tanque Classe A	Velocidade do Vento	
								Média Diária	Direção
	°C	°C	°C	%	mm	horas	mm	m/s	
01	17,86	19,7	17,4	93,50	6,0	0,0	0,44	2,93	NW
02	18,94	21,3	17,0	94,25	17,2	0,0	-	2,37	NW
03	19,70	24,9	17,0	92,00	11,0	0,0	2,40	2,70	W
04	22,46	29,1	17,6	80,50	4,4	4,8	3,60	1,23	W
05	22,80	30,0	17,6	76,50	0,0	7,3	5,54	0,87	W
06	23,32	31,0	17,0	73,00	0,0	9,5	6,27	0,50	W
07	22,80	30,1	17,9	74,00	0,0	9,6	4,71	1,80	NW
08	21,88	29,6	17,4	82,75	0,0	5,1	3,86	1,90	NW
09	21,52	29,1	16,3	78,00	2,0	7,9	4,50	4,13	W
10	21,84	27,1	17,1	72,50	0,0	7,1	5,62	2,43	NW
11	21,98	29,8	16,9	72,25	0,0	9,4	4,52	2,47	SW
12	21,68	27,5	18,5	78,00	8,0	7,1	7,74	2,47	SE
13	21,58	29,5	16,8	79,00	0,0	8,1	2,44	2,73	NW
14	20,96	27,7	18,1	76,50	0,6	6,8	4,62	3,43	NW
15	21,64	28,1	17,1	81,00	0,0	6,6	4,92	1,30	W
16	23,08	28,7	17,5	75,50	0,0	6,5	5,86	1,37	S
17	25,22	27,1	18,4	89,00	0,0	1,1	2,30	1,63	W
18	20,54	27,1	17,8	86,75	7,6	1,0	-	1,87	W
19	20,56	27,7	16,9	91,75	58,6	2,8	8,58	1,53	SW
20	23,14	30,1	18,4	74,50	19,6	7,8	4,60	1,97	W
21	22,78	29,5	17,0	73,25	0,0	8,4	7,28	2,40	W
22	22,88	29,5	16,7	69,50	0,0	8,2	5,44	2,43	NW
23	22,46	29,1	18,0	66,00	0,0	9,8	7,96	3,13	NW
24	21,32	28,3	15,3	68,00	0,0	9,0	2,90	1,53	SE
25	20,26	26,0	16,9	90,50	0,0	0,2	5,40	0,87	SW
26	20,14	25,9	17,8	93,75	20,4	0,7	6,20	2,10	SW
27	21,54	28,5	15,8	78,25	19,8	7,3	5,90	1,40	W
28	21,78	29,3	17,2	77,00	0,0	6,5	4,20	1,30	W
29	22,08	29,3	16,7	73,50	0,0	6,5	3,12	1,40	SW
30	22,70	29,1	17,4	73,50	0,0	7,7	5,36	0,93	SW
31	21,68	28,7	17,3	79,25	2,4	4,8	4,36	2,10	NW

Total

177,6

QUADRO 2B - Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de abril/92 - ESAL - Lavras - MG.

MÊS: ABRIL									
Dia	Temp. Média	Temp. Máx.	Temp. Mín.	U.R. média	Precipitação	Insolação	Evaporação Tanque Classe A	Velocidade do Vento	
								Média Diária	Direção
								°C	°C
01	21,92	29,7	16,7	80,0	0,0	8,2	3,96	0,80	SW
02	22,54	29,2	17,1	78,8	0,0	5,0	-	1,27	SW
03	22,40	28,9	17,7	82,5	65,0	5,9	5,47	1,20	W
04	22,96	29,9	17,7	77,5	0,0	9,0	6,53	3,13	W
05	22,94	29,3	18,0	75,8	0,0	8,2	2,44	1,87	W
06	23,52	29,5	18,3	78,5	0,0	7,7	6,61	1,10	S
07	22,86	29,5	19,4	75,0	0,0	8,5	4,37	0,70	W
08	22,84	28,7	18,1	77,8	0,0	8,2	2,28	1,53	W
09	20,54	28,1	18,4	81,8	0,0	9,5	3,64	3,47	NW
10	20,44	25,5	17,1	84,8	0,0	9,0	5,10	2,50	W
11	21,56	27,0	17,6	78,5	0,0	9,5	5,00	3,03	NW
12	21,60	27,3	17,1	77,5	0,0	9,3	3,04	2,47	SW
13	21,34	25,1	16,4	78,3	1,0	1,4	3,14	2,00	SW
14	19,62	22,1	18,0	92,5	27,8	0,3	2,70	2,40	W
15	19,88	25,5	15,9	91,8	1,6	4,3	3,56	2,07	SW
16	19,68	27,3	16,1	80,5	0,0	4,9	4,74	2,63	SW
17	19,88	28,9	16,3	79,5	3,4	4,8	4,27	1,10	W
18	17,80	26,7	13,9	71,3	0,0	9,2	4,98	1,63	SW
19	18,48	26,9	12,5	63,8	0,0	8,6	3,46	2,27	W
20	18,30	24,6	12,7	84,3	0,0	0,4	1,66	1,43	W
21	18,56	22,0	15,6	87,8	0,0	0,0	1,14	0,50	NW
22	20,00	22,7	18,0	92,5	0,8	0,0	0,48	1,90	W
23	21,18	27,3	18,2	85,8	0,0	4,9	2,76	1,20	NW
24	22,00	27,7	17,7	84,5	0,0	3,2	3,68	1,13	W
25	20,78	25,9	16,6	85,8	0,0	0,5	1,24	1,50	W
26	20,64	23,5	19,3	92,3	0,0	0,0	1,48	2,33	W
27	21,02	27,3	17,4	83,5	1,4	6,3	2,63	1,53	W
28	19,46	25,5	14,6	76,3	2,4	3,9	4,83	2,40	NW
29	20,54	26,1	15,6	83,5	0,0	4,8	1,24	2,37	W
30	21,00	26,9	17,9	85,8	0,0	5,2	2,51	0,77	W

Total

103,4

QUADRO 2C - Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de maio/92 - ESAL - Lavras - MG².

MES: MAIO									
Dia	Temp. Média	Temp. Máx.	Temp. Mín.	U.R. média	Precipitação	Insolação	Evaporação Tanque Classe A	Velocidade do Vento	
								Média Diária	Direção
	°C	°C	°C	%	mm.	horas	mm.	m/s	
01	22,08	28,4	17,4	80,5	0,0	5,3	4,35	2,20	W
02	21,76	27,9	19,3	79,3	0,0	3,7	2,26	1,17	W
03	20,66	24,7	18,2	85,5	0,0	2,6	6,58	2,97	W
04	19,94	26,1	18,2	88,0	41,0	5,0	4,12	2,50	W
05	19,22	26,7	15,2	87,0	9,0	5,8	3,44	2,07	W
06	19,50	26,7	15,6	87,5	18,6	3,0	2,30	1,83	W
07	18,64	28,1	15,3	83,8	0,0	3,4	3,94	,097	W
08	18,06	24,3	14,6	84,3	0,0	3,8	1,50	,087	NW
09	20,52	26,7	16,1	78,8	0,0	7,4	5,30	2,87	W
10	20,04	25,1	16,3	78,0	0,0	4,3	3,52	3,63	NW
11	20,08	27,3	16,1	80,8	0,0	8,0	3,27	1,63	W
12	20,58	27,7	15,0	77,0	0,0	8,9	3,14	1,70	W
13	21,04	26,9	15,1	70,5	0,0	4,6	3,33	-	-
14	20,38	26,1	16,6	90,8	0,0	3,9	2,90	-	-
15	21,88	25,5	16,9	85,5	3,8	5,4	3,00	-	-
16	19,58	27,1	14,4	79,5	0,0	9,1	3,64	-	-
17	20,04	26,7	14,9	77,8	0,0	6,4	3,26	-	-
18	20,24	27,3	15,3	80,3	0,0	7,2	3,98	-	-
19	20,32	26,1	15,3	81,3	0,0	5,5	3,88	-	-
20	20,06	24,5	17,6	86,3	0,0	1,4	4,68	-	-
21	19,30	24,5	16,2	81,8	8,9	2,9	0,50	-	-
22	20,50	26,7	16,8	79,5	0,0	8,5	3,96	-	-
23	16,16	20,1	14,3	94,3	2,0	0,0	1,34	-	-
24	17,16	22,7	11,5	81,3	9,6	4,9	2,78	-	-
25	16,84	25,5	12,7	79,8	0,0	7,9	2,74	-	-
26	17,24	24,9	12,7	83,5	0,0	5,4	2,00	-	-
27	18,24	25,7	13,1	74,8	0,0	8,7	3,01	-	-
28	18,96	25,9	13,5	79,5	0,0	7,6	3,05	-	-
29	18,90	26,5	13,8	79,0	0,0	9,1	4,00	-	-
30	19,16	27,3	14,1	72,8	0,0	8,4	3,40	-	-
31	19,62	27,3	13,4	68,5	0,0	5,7	1,92	-	-
Total					92,9				

². A partir do dia 13 de maio a Estação Climatológica Principal de Lavras não registrou dados sobre o vento devido a problemas técnicos.

QUADRO 2D - Dados diários dos principais parâmetros agrometeorológicos do mês de junho/92 - ESAL - Lavras - MG³.

MÊS : JUNHO							
Dia	Temp. Média	Temp. Máx.	Temp. Mín.	U.R. média	Precipitação	Insolação	Evaporação Tanque Classe A
	°C	°C	°C	%	mm.	horas	mm.
01	18,52	25,0	14,8	77,3	0,0	7,5	8,92
02	17,92	26,1	14,1	79,8	0,0	7,7	1,86
03	17,98	25,3	13,4	80,0	0,0	6,6	3,28
04	18,58	26,7	12,6	77,3	0,0	8,9	3,04
05	19,52	26,7	13,3	76,0	0,0	8,2	3,46
06	20,04	26,7	15,3	78,0	0,0	3,9	2,90
07	21,08	28,9	15,3	73,8	0,0	7,7	3,11
08	19,98	27,9	14,6	68,3	0,0	8,6	2,66
09	18,04	24,9	11,9	76,8	0,0	5,1	1,98
10	18,10	25,5	12,2	75,5	0,0	7,7	4,04
11	18,86	26,1	13,2	77,0	0,0	8,4	2,92
12	18,18	26,1	13,6	77,8	0,0	6,9	3,40
13	17,86	21,5	13,2	79,5	0,0	4,7	2,58
14	14,60	21,7	9,7	76,3	0,0	9,1	4,74
15	14,58	22,9	9,4	74,3	0,0	8,5	2,38
16	14,58	22,8	8,3	69,3	0,0	7,8	3,42
17	15,80	21,1	11,7	67,0	0,0	4,6	3,92
18	15,52	18,7	13,1	70,8	0,0	0,5	2,02
19	15,86	23,7	10,6	73,3	0,0	7,5	4,22
20	17,32	23,1	12,5	71,3	0,0	2,6	1,36
21	17,36	22,1	14,5	69,3	0,0	4,0	1,76
22	18,98	25,3	14,9	77,8	0,0	8,6	3,76
23	17,30	25,3	12,4	78,5	0,0	6,2	3,76
24	16,44	25,1	11,3	78,3	0,0	6,2	3,72
25	17,10	25,6	11,1	71,5	0,0	7,5	3,62
26	16,36	23,1	10,9	76,0	0,0	2,6	1,98
27	16,70	24,7	11,2	78,0	0,0	7,3	2,36
28	17,40	24,9	13,5	73,8	0,0	7,5	2,44
29	18,04	26,1	11,5	70,8	0,0	7,7	2,08
30	18,60	27,5	12,6	73,5	0,0	6,6	5,04
Total					0,0		

³. A Estação Climatológica Principal de Lavras não registrou dados sobre o vento no mês de junho, devido a problemas técnicos.