

AVALIAÇÃO DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE
DE DISTRIBUIÇÃO E PERDAS DE ÁGUA POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL

C377023
CATIVO

JÚLIO CESAR DE SALES

Engenheiro Agrônomo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

T
631.587
S155a
1997
v.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

BCT/UFC CATIVO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Fortaleza - Ceará

Abril /1997

UFC/BU/BCT 03/11/1997



R661546
C377023
T631.587

Avaliação de coeficientes de uniformidade

S155a

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S155a Sales, Júlio Cesar de.

Avaliação de coeficientes de uniformidade de distribuição e perdas de água por aspersão convencional / Júlio Cesar de Sales. – 1997.

67 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 1997.

Orientação: Prof. Me. Paulo Teodoro de Castro.

1. Engenharia Agrícola. I. Título.

CDD 630

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

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

Júlio César de Sales

DISSERTAÇÃO APROVADA EM : / /

Paulo Teodoro de Castro - M.S.
Orientador

Francisco Luciano de Paiva - Dr.
Conselheiro

Raimundo Nonato Távora Costa - Dr.
Conselheiro

Aos meus Pais, JOSÉ MUNIZ (in memória) e MARIA PEREIRA, exemplos de fé, retidão, bondade, tenacidade e amor, que proporcionaram com a riqueza e a sabedoria de suas vidas, o mais sólido ensinamento, não comparável ao maior dos méritos acadêmicos.

Aos meus Irmãos, parte do meu ser, que souberam me dar apoio, incentivo e compreensão.

Aos meus Amores: ALICE e JULIANA,
Esposa e Filha, pelo carinho,
força, paciência, e otimismo
a mim desejado.

DEDICO

**“ JAMAIS SUBESTIME SEUS SEMELHANTES,
ATÉ UM ÁTOMO TEM SOMBRA. “**

(Carl Rogers)

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo e auxílio tese.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação.

Ao amigo e orientador, Professor M.S. PAULO TEODORO DE CASTRO pelo apoio, orientação e ensinamentos transferidos no decorrer do curso e na elaboração deste trabalho.

Ao Professor Dr. RAIMUNDO NONATO TÁVORA COSTA pela boa vontade demonstrada no apoio à colaboração deste trabalho, nas sugestões e, especialmente pela amizade.

Aos demais Professores do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola pelo convívio fraterno, amizade e apoio fundamentais na execução deste projeto.

Aos demais Funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC) pelos serviços prestados no decorrer do curso.

Aos colegas do Curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	<u>Página</u>
<u>LISTA DE TABELAS</u>	IX
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	XI
<u>RESUMO</u>	XIII
<u>ABSTRACT</u>	XV
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
2.1 - Avaliação dos parâmetros de desempenho de um sistema de irrigação por aspersão.....	4
2.2 - Fatores que influenciam no desempenho de um sistema de irrigação por aspersão.....	8
2.2.1 - Influência dos fatores climáticos.....	9
2.2.2 - Influência dos fatores não climáticos.....	11
2.3 - Uniformidade de distribuição de água.....	15
2.4 - Eficiência de Irrigação	17

Página

2.5 - Eficiência de aplicação em potencial ou razão efetiva de aplicação	18
2.6 - Efetividade da irrigação.....	18
2.7 - Relação entre uniformidade e eficiência de aplicação.....	19
2.8 - Modelo linear de Karmeli.....	19
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	21
3.1 - Caracterização da área do experimento.....	21
3.2 - Descrição do sistema de irrigação	22
3.3 - Procedimento de campo.....	23
3.4 - Parâmetros usados na análise dos dados.....	27
3.4.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).....	28
3.4.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).....	29
3.4.3 - Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH).....	30
3.4.4 - Coeficiente de Uniformidade de Wilcox & Swailes (CUE).....	30
3.4.5 - Eficiência Padrão da HSPA (UDH).....	31
3.4.6 - Eficiência de Irrigação (EI).....	31
3.4.7 - Eficiência de Aplicação Potencial (EAP).....	32
3.4.8 - Perdas D'água por Evaporação (PDE) e por Carreamento ou Arraste pelo vento (PDC).....	32
3.4.9 - Velocidades Angulares Setoriais (Vs).....	33

	<u>Página</u>
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	34
4.1 - Características operacionais.....	34
4.2 - Comparação entre coeficientes para avaliar a uniformidade.....	34
4.3 - Efeito da velocidade do vento sobre a uniformidade.....	40
4.4 - Eficiência de irrigação.....	44
4.5 - Efeito da velocidade do vento sobre a eficiência de irrigação.....	45
4.6 - Eficiência de Aplicação (EAP), Perdas D'água por Aplicação (PDA), Evaporação (PDE) e por Carreamento ou arraste pelo vento (PDC).....	45
4.7 - Estimativa do melhor ajuste.....	49
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	51
<u>CONSIDERAÇÕES GERAIS</u>	53
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	55
<u>APÊNDICE</u>	63

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA

1 - Tempo de rotação e velocidade média de rotação do aspersor.....	35
2 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da velocidade do vento de 2,0 a 3,0 m.s ⁻¹	36
3 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da velocidade do vento de 3,0 a 4,0 m.s ⁻¹	37
4 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da velocidade do vento de 4,0 a 5,0 m.s ⁻¹	38
5 - Equações de regressão dos parâmetros de avaliação.....	50
5A - Análise estatística da equação $CUC = 100,37e^{-0,0242v}$	50

APÊNDICE

Página

TABELA

6 - Parâmetros físicos do solo da área do experimento.....	64
6/A - Análise química do solo da área do experimento.....	65
7 - Análise química da água de irrigação.....	66
8 - Especificações técnicas do aspersor.....	67
9 - Especificações técnicas do conjunto eletro-bomba.....	68

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>Página</u>
1 - Disposição dos pluviômetros em relação ao aspersor, na área em que foram realizados os testes de distribuição d'água.....	25
2 - Ilustração do suporte de fixação dos coletores pluviométricos utilizados em campo.....	26
3 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 12 m x 12 m.....	41
4 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 12 m x 18 m.....	42
5 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 18 m x 18 m.....	43

FIGURA

- 6 - Eficiência de irrigação em função da velocidade do vento para os diferentes espaçamentos.....46
- 7 - Perdas d'água por evaporação e carreamento ou arraste pelo vento, em função da velocidade do vento para os diferentes espaçamentos..... 48

RESUMO

A presente pesquisa foi desenvolvida em área plana, contígua do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), tendo como objetivo avaliar um sistema de irrigação por aspersão convencional. Com este intuito, foram determinados os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), Coeficiente de Wilcox & Swailes (CUE), Eficiência Padrão da HSPA (UDH), Eficiência de Irrigação (EI), Eficiência de Aplicação em Potencial (EAP), Perdas D'água por Aplicação (PDA), Evaporação (PDE) e Carreamento (PDC). Os cálculos dos parâmetros estudados consideraram 3 espaçamentos entre aspersores (12 m x 12 m, 12 m x 18 m e 18 m x 18 m) e intervalos de velocidade do vento de 2,0 - 3,0; 3,0 - 4,0 e 4,0 - 5,0 m.s⁻¹. Os valores de CUH, CUC, CUE, CUD, UDH que indicaram melhor desempenho do sistema, foram obtidos nos menores intervalos de velocidade do vento, nos espaçamentos de 12 m x 12 m e 12 m x 18 m, enquanto que, no espaçamento de 18 m x 18 m apresentaram-se abaixo do mínimo aceitável. A Eficiência de Irrigação (EI) apresentou valores abaixo de 60% no espaçamento de 18 m x 18 m, a uma velocidade do vento acima de 4 m.s⁻¹. Com os valores obtidos nas Perdas D'água por Aplicação (PDA), Evaporação (PDE) e por Condução (PDC), foi observado que comparando PDE com PDC em relação a PDA, as Perdas por Evaporação

(PDE) foram superiores as por Carreamento (PDC). Baseando-se nos resultados obtidos nas análises de regressão linear, pode-se concluir que todos os parâmetros estudados podem ser utilizados indistintamente na avaliação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água para as condições estudadas.

ABSTRACT

Different methodologies were tested to determine water distribution uniformity in a sprinkler system. The trials were done in an area close to the Irrigation Laboratory of the Federal University of Ceará, Brazil. To evaluate water distribution uniformity, were used Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC), Uniformity of Distribution Coefficient (CUD), Hart's Uniformity Coefficient (CUH), Pattern Efficiency from HSPA (UDH) and the Coefficient from Wilcox & Swales (CUE). Additionally, were determined: irrigation efficiency, potential application efficiency, water losses by application, evaporation and transport. The best results for CUH, CUC, CUE, CUD and UDH, were obtained for low wind velocities and spacings of 12 x 12 m and 12 x 18 m, following below the accepted levels for the 18 x 18 m spacing. Irrigation efficiency was below 60% for the spacing of 18 m x 18 m and wind velocities above 4 m.s⁻¹. Evaporation losses were higher than transport losses, for all tests. All the parameters studied could be used to evaluate the coefficient of uniformity of distribution for the area.

1. INTRODUÇÃO

O nordeste brasileiro é a região dos contrastes e problemas crônicos. Pela sua posição geográfica, oferece condições competitivas tanto no mercado externo, como em relação às duas outras regiões econômicas do país. Apesar de tudo, continua detentor do maior bolsão de pobreza absoluta do Brasil.

No clima reside o amargo problema, que traz conseqüentes conotações econômicas e sociais. O semi-árido nordestino oferece excepcionais condições para o desenvolvimento, mesmo apresentando Balanço Hídrico deficitário, já que a pluviosidade, razoável em valores absolutos, é três vezes menor que a evaporação. O problema grave que aqui ocorre, refere-se ao regime pluvial, irregular no tempo e no espaço, ocasionando secas periódicas, às vezes catastróficas.

A incidência desse fenômeno climático constitui-se em características do nordeste, moldando sua economia, costumes, cultura, orientando a estrutura social e os movimentos migratórios.

O clamor das últimas das secas, por ocasião da tragédia, tem sensibilizado episodicamente as autoridades governamentais para estudar soluções e dar um fim a este drama que nessa região ocorre.

Entretanto, num ponto concordam todos os planos e estudos, a água é o fator limite no desenvolvimento do nordeste.

A água é um fator de primordial importância no desenvolvimento das culturas, porém, nem sempre está disponível em condições naturais. O regime pluviométrico de certas regiões e em determinadas épocas do ano torna difícil atender essas necessidades hídricas, devido ao baixo teor de umidade do solo, daí, a necessidade de se aplicar água artificialmente para que os cultivos não sofram problemas de redução e alteração em seu desenvolvimento.

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 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 de água de irrigação, 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 eventuais exigências de lixiviação para remoção do excesso de sais solúveis da zona radicular. Por outro lado, considerável controvérsia tem havido em relação ao valor da eficiência de aplicação a ser adotado, para proporcionar uma quantidade e distribuição satisfatória a toda a área irrigada.

Diversos fatores interferem na eficiência e uniformidade de aplicação de água neste método, destacando-se: pressão de serviço, velocidade e uniformidade de rotação do aspersor, altura da haste, diâmetro e tipo do bocal e

espaçamento. Fatores climáticos, tais como a velocidade e direção do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura, também podem interferir na aplicação da água por aspersão. Estes fatores precisam ser estudados para que possam ser conhecidos e controlados da melhor forma possível.

Uma análise da qualidade da irrigação, ou seja, da performance técnica do sistema, só é possível quando são associados os conceitos de eficiência com medidas de uniformidade, adequacidade da irrigação e perdas. Evidentemente, deve-se estabelecer a relação custo/benefício entre a qualidade da irrigação e o valor econômico da cultura.

A avaliação dos sistemas de irrigação, após sua implantação, não é ainda prática comum nos dias atuais, e somente através da aplicação de uma metodologia de avaliação, é possível verificar se o desempenho do sistema está de acordo com a que foi estabelecida no projeto, permitindo, assim, a aplicação de técnicas de manejo para a sua adequação.

Assim sendo, o presente trabalho teve por objetivo, determinar a qualidade da irrigação através da uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão convencional operando em condições de campo, em função de diferentes velocidades do vento e espaçamentos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Avaliação dos parâmetros de desempenho de um sistema de irrigação por aspersão

De acordo com MERRIAM et al. (1983) a avaliação dos sistemas de irrigação têm quatro objetivos:

- a) determinar a eficiência do sistema do modo como o mesmo está sendo usado;
- b) determinar quão efetivamente o sistema pode ser operado e se o mesmo pode ser melhorado;
- c) obter informações que auxiliem os engenheiros na elaboração de projetos de outros sistemas e, obter informações que permitam comparar vários métodos, sistemas, e procedimentos operacionais, com base para decisões econômicas.

Uma avaliação envolve medir parâmetros em um ou mais pontos numa área selecionada que seja representativa. A interpretação dos valores ou medições adicionais devem ser feitos para correlacionar esses dados com a eficiência total do projeto.

Ring & Herman apud IDE (1989) afirmam que é freqüentemente necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação a fim de avaliar sua aplicabilidade nas condições de campo. A uniformidade de distribuição de água é uma característica que pode ser usada para comparar diferentes sistemas. Uma uniformidade deficiente resulta em área super ou subirrigada. A uniformidade teria que distribuir mais água, ou, se dois sistemas distribuem a mesma quantidade de água, aquele com melhor uniformidade teria melhor eficiência no uso da água.

Para MERRIAM & KELLER (1978), a avaliação é necessária para direcionar o manejo e oferecer condições de decisão sobre a continuidade das práticas existentes ou aperfeiçoá-las. Este estudo deve medir e mostrar a eficiência destas práticas, indicando quais e/ou se melhoramentos podem ser feitos, proporcionando à gerência selecionar possíveis modificações, que podem ser de ordem prática e econômica.

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 lâmina de água armazenada na zona radicular e lâmina média de água aplicada. 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 até 100%.

De acordo com BAGLEY & CRIDDLE (1955), eficiências de aplicação mais altas podem ser obtidas quando o sistema é projetado para aplicar água a uma maior taxa possível sem causar escoamento superficial.

De acordo com BERNARDO (1989), a uniformidade de aplicação d'água sobre a área irrigada é um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão. O coeficiente de uniformidade é o principal parâmetro usado para avaliar a uniformidade de aplicação de água, sendo recomendável um valor mínimo de 80%. Quando um sistema apresenta um coeficiente de uniformidade inferior a este mínimo, pode-se melhorar a sua performance de duas maneiras: reestudando o espaçamento entre os aspersores ou usando posições alternadas

A aplicação absolutamente uniforme da água não é possível, pois quase todos os aspersores cobrem áreas circulares. O grau de uniformidade que se pode obter depende, principalmente, do tipo de padrão de distribuição produzido e do espaçamento entre os aspersores. Numerosos outros fatores, tais como vento, pressão e uniformidade de rotação do aspersor, afetam a distribuição (CHRISTIANSEN, 1942).

Segundo FIETZ et al. (1989), o planejamento de um sistema de irrigação por aspersão não deve ser realizado unicamente com dados técnicos fornecidos pelos fabricantes mas, também, a partir de informações obtidas em testes de campo com os aspersores sob condições que deverão prevalecer quando em operação.

Em irrigação por aspersão, altos índices de uniformidade em geral estão relacionados com menores espaçamentos entre aspersores e, conseqüentemente, maior custo do sistema de irrigação, descreve

FRIZZONE (1992). Para culturas de alto valor econômico, especialmente aquelas de sistema radicular pouco profundo, o mais econômico sistema de irrigação, geralmente, é aquele que proporciona alta uniformidade de distribuição de água ou seja, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) superior a 80% ou Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) superior a 88%.

Segundo MERRIAM et al. (1983), para cultivos com sistema radicular médio, o sistema de aspersão deve apresentar 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 pode variar de 70 a 80% para o CUC.

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

- 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.

2.2. Fatores que influenciam no desempenho de um sistema de irrigação por aspersão

O desempenho de um sistema de irrigação por aspersão em geral é avaliado através da distribuição da água partindo de um bocal, até atingir a superfície do solo ou cultura, procedendo-se também considerar a distribuição no perfil do solo.

Desconsiderando-se o caminho tomado pela água no interior do solo, os fatores que influenciam no desempenho do sistema estão relacionados ao equipamento, as variáveis climáticas e ao modo como é feito o manejo (PAIR, 1968; HART & HEERMANN, 1976).

Segundo ROSA et al. (1988), a uniformidade na distribuição da água depende do perfil de distribuição do aspersor, o qual está relacionado com o sentido e direção dos ventos, a pressão de serviço, a uniformidade de rotação, a altura de elevação, o diâmetro e o tipo de bocal dos aspersores.

Outros fatores como medidas imprecisas, diferenças físicas entre aspersores de mesmo modelo e marca, direção do vento e demanda evaporativa do ar, podem também contribuir para que haja variabilidade nos resultados de coeficientes de uniformidade, Solomon apud D'ÁSSUMPÇÃO (1990).

2.2.1. Influência dos fatores climáticos

Em geral, a baixa eficiência de aplicação nos projetos de irrigação por aspersão está relacionada com as perdas de água por arrastamento pelo vento e por evaporação e com a desuniformidade de distribuição de água.

Diversos pesquisadores determinam as perdas de água por arrastamento e por evaporação na irrigação por aspersão, entretanto, a maioria deles não quantifica separadamente essas perdas.

PAZ (1990) concluiu que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou as perdas de água por evaporação e arrastamento, seguida da umidade relativa do ar. Elevadas perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento de até 40% do volume aplicado foram verificadas em condições de baixa umidade relativa (40%), altas temperaturas (32°C) e velocidades do vento superior a 4,0 m.s⁻¹.

Segundo SCALOPPI (1986), parte da água lançada sob pressão no ar por meio dos bocais dos aspersores evapora-se antes de atingir a superfície do solo ou plantas. A magnitude dessas perdas depende das dimensões das gotas e do poder evaporativo da atmosfera. Maiores perdas estão associadas a

aumento da temperatura, à velocidade do vento, à pressão de operação e à fragmentação do jato, bem como a uma redução da umidade relativa do ar e do diâmetro dos bocais. Um outro tipo de perda em sistemas de irrigação por aspersão, também associado ao poder evaporativo do ar, tem sido atribuído à evaporação da água retida pela vegetação. No entanto, a caracterização desse processo como perda efetiva ainda é controversa.

OLITTA (1987), MARQUELLI (1989) e GOMIDE (1980), mostram que a ação do vento afeta a distribuição de água pelos aspersores, prejudicando consideravelmente a uniformidade da irrigação. Quanto maior a intensidade do vento e menor o diâmetro das gotas, maior a distorção na distribuição da água. Neste mesmo sentido MARQUELLI (1989), afirma que, a aplicação de água por um aspersor, que na ausência de vento seria de forma circular, poderá adquirir as mais variadas formas, em especial a elíptica, quando este fato se faz presente. Condições de ventos fortes, além de afetar consideravelmente a uniformidade de distribuição de água, podem conjuntamente com a temperatura e a baixa umidade relativa do ar, reduzir a eficiência de aplicação, devido a perda de água por evaporação, antes mesmo que esta atinja a superfície do solo.

Segundo CHARMELO (1990), o aumento das perdas de água no sistema autopropelido é devido, provavelmente, as maiores pressões que pulverizam mais o jato diminuindo o diâmetro e o peso das gotas de água, que são, dessa forma, mais facilmente arrastadas e evaporadas pela ação do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

ASSIS (1990), trabalhando na avaliação de um sistema de irrigação pivô-central, constatou que os parâmetros de uniformidade variam

inversamente à velocidade do vento, frisando que já era esperado, porém que, a ação do vento, em especial no período diurno, provocava a distorção do perfil de distribuição, através do arrastamento do jato pulverizado, não implicando em perdas, e sim, em desuniformidade na distribuição da lâmina d'água ao solo.

COSTA (1993) trabalhando com um sistema de irrigação autopropelido, observou que a medida que à velocidade do vento aumentava e diminuía a distância entre carregadores, cresciam os valores dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e de Uniformidade de Distribuição (CUD) e elevavam-se as Perdas D'água por Aplicação (PDA), reforçando o que a literatura cita como verdadeira.

2.2.2. Influência dos fatores não climáticos

Assim como os fatores climáticos, os sistemas de irrigação por aspersão são muito influenciados por fatores que dependem do próprio sistema (diâmetro, ângulo e pressão na saída do aspersor, velocidade de rotação do aspersor, número e tipo de bocais), e de fatores que podem ser manejados e controlados (distribuição e espaçamento entre aspersores e laterais, modificação na pressão do sistema, velocidade de deslocamento em sistemas autopropelido e pivô-central).

Em meados da década passada, nos Estados Unidos, a elevação dos custos de bombeamento de água para a irrigação e a perspectiva de racionamento de energia resultaram no desenvolvimento e no uso de aspersores de baixa pressão. Segundo JAMES & BLAIR (1984), o emprego

desses aspersores, que podem operar satisfatoriamente em pressões menores ou iguais a 150 kpa, resulta em consumo de energia 30% menor quando comparado com aspersores convencionais de impacto, aplicando a mesma lâmina d'água, com comparável uniformidade de distribuição.

Os modelos de aspersores fixos mais utilizados no Brasil consistem, basicamente, de uma placa defletora e um bocal, encaixados em um suporte plástico. As placas defletoras são encontradas em vários tipos, podendo ser estriadas ou lisas, sendo que essas últimas podem ser convexas, planas ou côncavas. Os bocais têm seus diâmetros variados entre 2 e 10 mm, aproximadamente, dependendo do fabricante. Características como raio de alcance, perfil de precipitação e diâmetro de gota estão associadas às combinações entre diâmetro de bocal, tipo de placa defletora e pressão de operação, bem como às condições climáticas e de instalação do aspersor na linha lateral (ITABORAHY, 1993).

RAMOS et al. (1992) determinaram os perfis de precipitação do aspersor fixo AF-1/FABRIMAR com jato direcionado para cima, operando com três tipos de placas defletoras lisas (convexa, plana e côncava) e 36 diâmetros de bocal, a uma altura de 3,7 m em relação aos coletores. Concluíram que o desempenho menos satisfatório do aspersor funcionando isoladamente, quanto à uniformidade de distribuição da lâmina ao longo do raio molhado, foi obtido com o uso da placa lisa côncava, concomitantemente com o uso de maiores diâmetros de bocal. Nesse caso, o aumento do diâmetro do bocal, a partir de determinado limite (5,6 mm), ocasionou concentração cada vez maior da lâmina próximo da periferia da área molhada. Por outro lado, o melhor desempenho foi obtido com o uso da placa lisa convexa, principalmente para maiores diâmetros

de bocal. Constatou-se, ainda, que a seqüência placa lisa convexa, plana e côncava obedece à ordem crescente de valores de intensidade de precipitação média e que aumentos na distância radial e no diâmetro de bocal resultam em maior diâmetro médio de gota.

A superposição dos perfis de precipitação dos aspersores é um dos fatores que mais afetam a uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação por aspersão. Para estabelecer o espaçamento entre aspersores, é de fundamental importância para o projetista o conhecimento do seu perfil de precipitação, para que se obtenha uma melhor superposição e, conseqüentemente, maior uniformidade de distribuição de água pelo sistema.

Vários pesquisadores, como RAMOS et al. (1992), MIRANDA (1993) e ITABORAHY (1993) constataram que perfis de precipitação de um aspersor fixo, operando isoladamente, caracterizam-se pela aplicação de pequena lâmina d'água próxima ao aspersor, e de maior precipitação na periferia da área molhada. Esta característica não é desejável, quando se faz a superposição dos perfis de precipitação de vários difusores com o objetivo de utilizá-los em sistemas portáteis de irrigação por aspersão, em substituição aos aspersores convencionais esta substituição teria como grande vantagem a economia de energia, visto que os aspersores fixos trabalham com baixa pressão.

Para von BERNUTH & GILLEY (1985), sistema com baixa pressão de operação determina uma redução da pressão de bombeamento, mas pode resultar em desvantagens com o acréscimo na taxa de aplicação, e a redução da infiltração. O custo do bombeamento tem peso significativo no custo de produção, levando os produtores a procurarem soluções para a sua redução.

Uma solução seria a redução da pressão de operação do sistema, entretanto, o efeito desta redução traz como resultados além dos custos de bombeamento:

- decréscimo da área molhada com redução no tempo de aplicação e aumento na taxa de aplicação;

- aumento no tamanho das gotas, devido o acréscimo na pressão e aumento no tamanho dos bocais para conseguir a vazão necessária;

- decréscimo na uniformidade de aplicação devido a redução da pressão;

- aumento do custo inicial, devido o acréscimo de material para ajustar a aplicação de água do projeto.

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 dois rpm.

2.3. Uniformidade de distribuição de água

É comum expressar a uniformidade de distribuição de água em uma área entre aspersores por um coeficiente de uniformidade. Quando este coeficiente é maior ou igual a um certo valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável.

A uniformidade de distribuição de água no método de irrigação por aspersão é um parâmetro a ser determinado para se obter melhor eficiência de aplicação. Dessa forma, em 1932, CHRISTIANSEN (1937) estudou, pela primeira vez, a uniformidade de distribuição de água para aspersores rotativos, tendo como principal objetivo determinar a influência da velocidade do vento, da pressão de operação, da velocidade de rotação e do espaçamento entre aspersores na distribuição de água. Dez anos depois, CHRISTIANSEN (1942) quantificou a distribuição das precipitações por um coeficiente que utiliza os desvios absolutos em relação à sua média.

Esse coeficiente é o mais conhecido e largamente utilizado, sendo que, em geral, 80% é o seu valor mínimo aceitável. Valores inferiores podem ser admitidos se a precipitação pluvial tem um valor significativo durante a estação de cultivo, ou se os sistemas são suficientemente reduzidos, compensando a diminuição do lucro devido a redução na produção da cultura.

Utilizando o desvio padrão (s) como medida de dispersão, WILCOX & SWAILES (1947) propuseram outro coeficiente de uniformidade, denominado Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).

Um valor de CUE igual a 70% foi inicialmente sugerido como o mínimo aceitável, sendo depois aumentado para 75 a 80%.

HART (1961) e HART & REYNOLDS (1965) deram um tratamento estatístico mais apurado ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) através do estudo da função de distribuição normal, dando assim um significado físico à uniformidade. O coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) simbolizado também por HSPA em alusão a Hawaiian Sugar Planter's Association.

HART (1961) estendeu a análise ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CRIDDLE, 1956) - UDH, o qual representa a relação entre a média dos menores valores de lâmina precipitada em 25% da área irrigada e a lâmina média geral. Este coeficiente diz que 75% da área recebe no mínimo a média das menores lâminas.

Scaloppi apud D'ASSUMPCÃO (1990) mostra que outra forma de se avaliar a uniformidade é através do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) atribuído a CRIDDLE et al. (1969), definido como a relação entre a quarta parte (25%) menos irrigada da área e a média da quantidade de água coletada em toda área.

A uniformidade de distribuição de água é uma medida freqüentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição da irrigação. Um baixo valor de UD indica perda excessiva de água por percolação profunda, se a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina necessária.

MAREK et al. (1986) criticam o coeficiente de Christiansen ao afirmar que o uso do desvio médio anula o efeito das lâminas muito dispersas em relação à média, no valor final do Coeficiente de Uniformidade (CUC).

Sugerem então, o uso do desvio padrão, conforme o fizeram WILCOX & SWAILES (1947).

Segundo estes autores, o uso do desvio padrão, o qual enfatiza os desvios maiores em relação à média, aumenta a sensibilidade do CU, sendo útil especialmente para a avaliação de equipamentos de irrigação pivô-central que apresentam obstruções ou danos nos emissores, os quais podem ser perfeitamente detectados e o equipamento reparado.

Deve-se considerar no entanto, que embora altos valores de uniformidade impliquem em maiores produtividades esperadas, os custos envolvidos também aumentam. Portanto, na escolha de um valor de coeficiente de uniformidade deve-se considerar também o aspecto econômico associado.

2.4. Eficiência de irrigação

Os métodos de estimativas de uniformidade sugeridos por CHRISTIANSEN (1942), WILCOX & SWAILLES (1947), consideram apenas o grau de dispersão com que a água é aplicada pelo sistema em relação a um valor médio, não estando incluída qualquer conotação física.

Como foi visto, CRIDDLE (1956), HART (1961) e HART & REYNOLDS (1965) trazem em seus estudos interpretações físicas da distribuição de água. Um trabalho mais consistente a cerca da performance do sistema deve incorporá-las, tornando possível, inclusive, a simulação do desempenho do sistema para diversas situações operacionais.

Nesta ótica estão inseridos os conceitos de eficiência e modelos de função de distribuição de probabilidade estudados por HOWELL (1964), HART & REYNOLDS (1965), NORUM (1966), KARMELI (1978), FAZAL (1978) e WALKER (1979). Estas medidas de eficiência dependem tanto da uniformidade, como da forma com que o sistema de irrigação é operado (FRIZZONE, 1992).

De acordo com PAIR (1970), a eficiência total de aplicação de água em sistemas por aspersão varia de 70% em regiões quentes e áridas, a 85% em regiões úmidas e frias.

2.5. Eficiência de aplicação em potencial ou razão efetiva de aplicação

Representa a fração de água aplicada que é absorvida pelo solo através da infiltração. Mede, portanto, as perdas de água por evaporação.

RIBEIRO & SOUZA (1984) afirmam que este parâmetro é um indicador da água aplicada em excesso no campo durante a irrigação, sem dar idéia da adequação quanto ao abastecimento da zona de raízes.

2.6. Efetividade da irrigação

A efetividade da irrigação é um termo que descreve qualitativamente a eficiência de aplicação, a uniformidade e a adequabilidade da irrigação. Uma combinação adequada desses índices que definem a efetividade da irrigação, pode maximizar a renda da atividade agrícola. Irrigação com altos valores de uniformidade, eficiência de aplicação e adequabilidade nem sempre

é desejável, uma vez que a renda pode não ser máxima. É necessário a compreensão da relação entre esses índices para identificar os sistemas e as estratégias de irrigação que otimizam o índice de performance da atividade, no caso o lucro (FRIZZONE, 1992).

2.7. Relação entre uniformidade e eficiência de aplicação

Maximizar a eficiência nem sempre significa otimizar o lucro, pois o aumento dos custos iniciais e operacionais estão, normalmente, associados ao aumento na uniformidade da irrigação. Os benefícios econômicos esperados com alta eficiência de aplicação devem, portanto, ser cuidadosamente avaliados em relação aos custos associados aos altos índices de uniformidade. Máximo lucro pode ser obtido com menor uniformidade, principalmente quando água, energia e fertilizantes não são fatores restritivos quanto à disponibilidade, qualidade e custo, descreve FRIZZONE (1992).

2.8. Modelo linear de Karmeli

KARMELI (1978) estudou os modelos de distribuição da água pelos aspersores usando o método da regressão linear. Operando os aspersores em condições variáveis de pressão e velocidade do vento, concluiu que:

- a regressão linear é um método que descreve com boa precisão o perfil de distribuição de água dos aspersores;

- para boas uniformidade de distribuição a regressão linear descreve o perfil de distribuição tão bem quanto o modelo normal, no entanto, para baixas uniformidades (coeficiente de uniformidade de Christiansen inferior a 55%), a regressão descreveu melhor o perfil do que o modelo normal;

- ALI & BAREFOO (1981) estudando as perdas por evaporação na aspersão, em diferentes condições de funcionamento, estabeleceram vários modelos de regressão, em função da pressão de serviço, da altura do aspensor, da velocidade do vento, da temperatura e da umidade relativa do ar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área do experimento

Os trabalhos de campo do presente estudo foram conduzidos numa área contígua ao Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias (C.C.A) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - Ce no período de outubro a dezembro de 1995, localizada sob as coordenadas geográficas de 3° 44' de latitude Sul e 38° 33' de longitude Oeste de Greenwich a uma altitude de 19,5 m.

O clima da região é tropical chuvoso com precipitação de verão-outono e temperatura média, em todos os meses, superior a 18 °C e segundo a classificação de Koeppen, é do tipo AW'. A precipitação média anual é de 1350 mm, a temperatura média anual do ar é de 26,5 °C e a umidade relativa média anual do ar é de 80%, segundo dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, situada contígua à área onde foi realizado o experimento.

A topografia da área estudada se insere na classe de declive de 0 - 2,5 % que define o relevo como sendo tipicamente plano.

O solo é classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo, segundo os critérios da Legenda Brasileira de Classificação de Solos, sendo de bastante expressão em termos de área no Estado do Ceará e de elevada importância econômica (MOTA & SILVA, 1978).

A análise física e química de amostras de solo coletadas na área do experimento realizada pelo Laboratório de Análises de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, apresentada por GOMES FILHO (1990), mostram ser um solo de textura franco-argilo-arenosa (TABELA 06 e 06/A). A análise química da água de irrigação, também foi realizada no mesmo laboratório (TABELA 07).

3.2. Descrição do sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado é do tipo aspersão convencional, composto de uma linha principal e uma linha lateral com um único aspersor funcionando durante 60 minutos.

As linhas principal e lateral foram compostas por tubos de PVC rígido de 2,0 polegadas de diâmetro e 6 m de comprimento. A conexão do aspersor ao tubo de PVC rígido, de 2" foi feita através de tubo de PVC rosqueado, com 3/4" de diâmetro e 0,80 m. de comprimento.

O aspersor utilizado é da marca FABRIMAR, modelo A1823M, de dois bocais com diâmetro de 4,0 x 4,8 mm e ângulo de inclinação do jato de 30 graus, com pressão de serviço de 20 a 40 mca. Utilizou-se 05 (cinco) aspersores no estudo. As especificações técnicas do aspersor encontram-se na Tabela 08, conforme catálogo do fabricante.

A água era bombeada por um conjunto eletrobomba e as especificações técnicas do sistema de captação d'água, encontram-se detalhadas na Tabela 09.

3.3. Procedimento de campo

A área de teste foi submetida a uma gradagem cruzada, seguida de um levantamento expedito simples com o objetivo de facilitar o piqueteamento onde seriam instalados os coletores.

Na montagem do campo experimental, bem como na realização dos ensaios, seguiram-se as normas estabelecidas pela NBR 8988 "ASPERSORES PARA IRRIGAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS-Método de Ensaio" e o projeto de norma nº 12:02.08-003 "SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL-CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO/Método de Ensaio" da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O conhecimento da performance de um sistema de irrigação é obtido quando o padrão de aplicação de água (distribuição) é estabelecido para dadas condições específicas. Quando o padrão de distribuição de água de um único aspersor é conhecido para determinadas condições de clima, critérios adotados no projeto e condições operacionais, pode-se, através de superposições, obter o padrão relativo ao conjunto de aspersores em funcionamento simultâneo, e simular analiticamente padrões de distribuição para qualquer espaçamento. Assim sendo, considera-se que todos os aspersores do conjunto de irrigação produzem padrão de distribuição semelhante. Para possibilitar tal procedimento, no local de realização dos testes foram instalados 100 coletores pluviométricos divididos em subáreas de $9,0 \text{ m}^2$ ($3,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$),

no centro dos quais foram instalados os coletores, conforme mostra a Figura 01.

Para facilitar o trabalho de coleta da precipitação, os recipientes pluviométricos (latas de óleo lubrificante pintadas de branco de 1,0 litro e em média com 0,0985 m de diâmetro) foram numerados com pincel azul no fundo de acordo com a quantidade por quadrante e em seguida, fixados em suportes de ferro a 0,30 m de altura do solo, sempre posicionados de modo que a área de coleta permanecia em posição horizontal, Figura 02.

Utilizaram-se provetas graduadas de 25 e 100 ml para aferir a precipitação coletada nos pluviômetros.

Usou-se um recipiente igual aos coletores como medidor da evaporação, em cada quadrante, no qual, colocava-se 100 ml de água, no início de cada teste. Com base no volume de água de cada recipiente após o término de coleta de cada quadrante, quantificava-se a água evaporada no quadrante. Considerava-se como volume final evaporado em cada teste, a média aritmética dos volumes evaporados dos quadrantes para o período de duração do teste, com 04 (quatro) repetições.

Para medir e ajustar a pressão de serviço foram utilizados três (03) manômetros de Bourdon graduados em kgf.cm^{-2} , com aproximação de $0,5 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e um registro de gaveta. Na saída da bomba foi instalado o registro e um manômetro, outro na tubulação principal, para possibilitar o controle da pressão de serviço durante a realização dos testes. O terceiro manômetro, foi conectado a um tubo pitot, o qual era posicionado a $1/8$ de polegada do bocal do aspersor, com a ponta no centro do jato, com a finalidade de medir-se a componente de pressão e não a de velocidade.

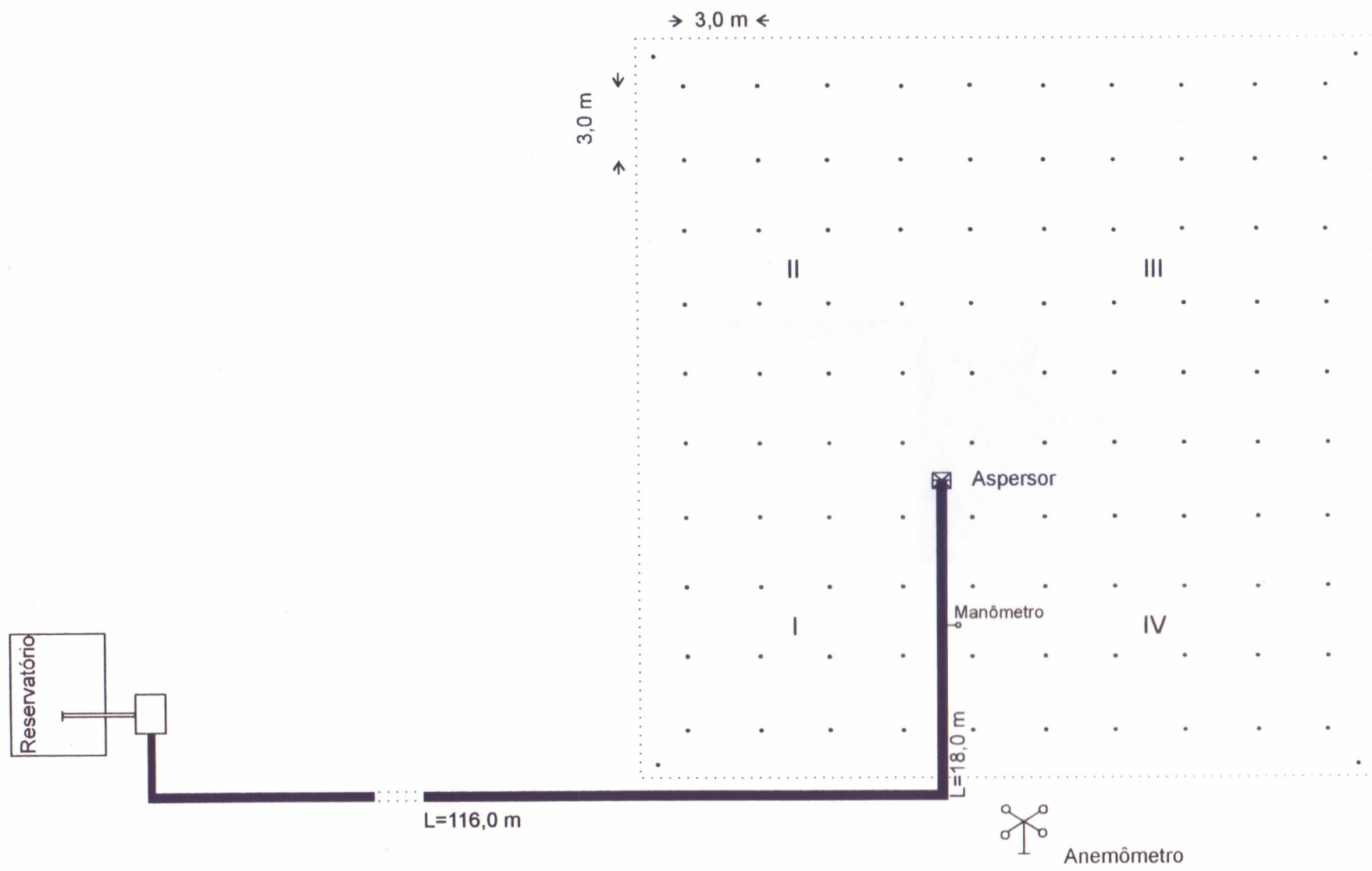
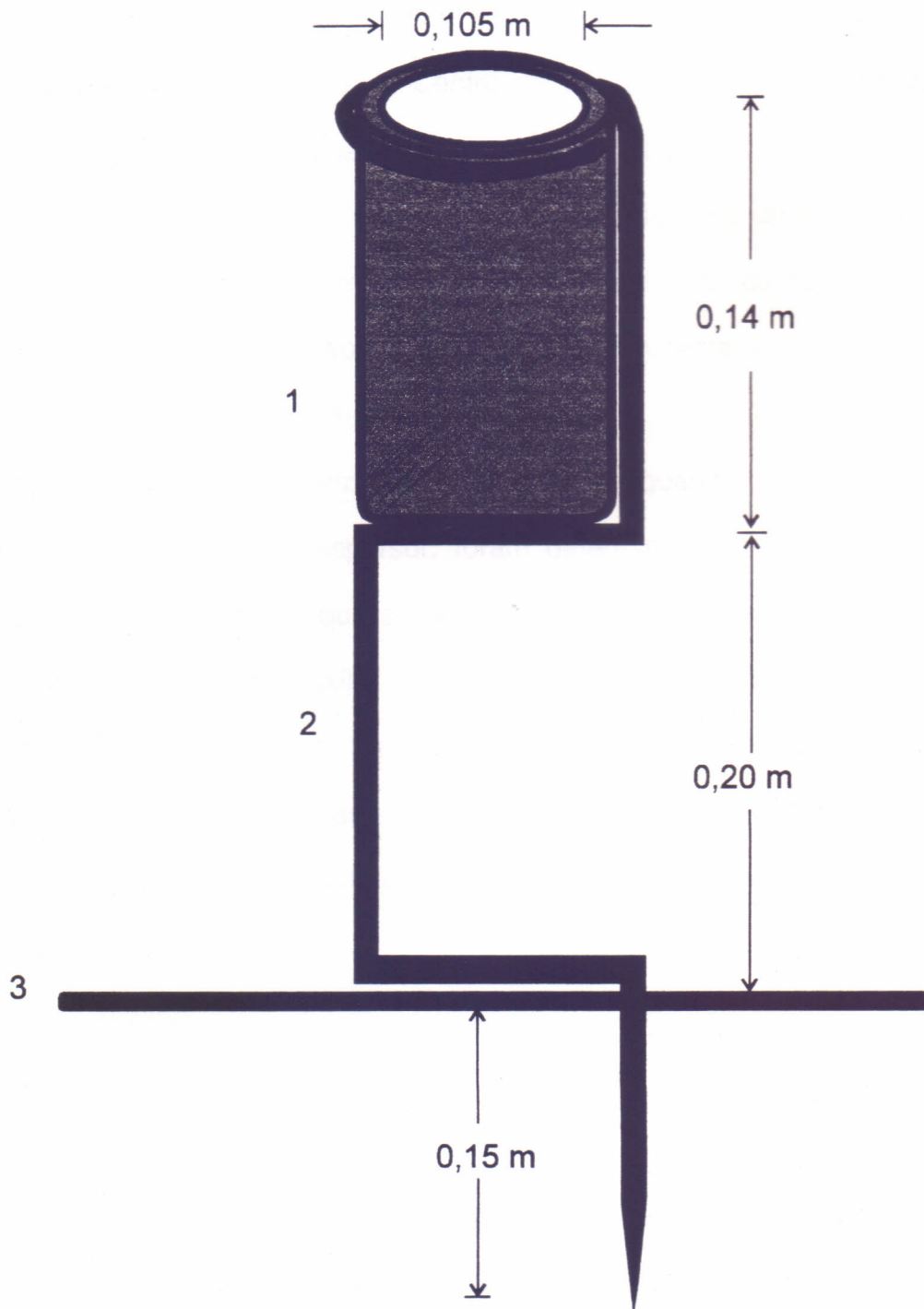


Figura 01 - Disposição dos pluviômetros em relação ao aspensor, na área em que foram realizados os testes de distribuição d'água.



1. Coletor (Lata de óleo lubrificante)
2. Haste de ferro
3. Superfície do solo

Figura 02 - Ilustração do suporte de fixação dos coletores puvimétricos utilizados em campo.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos na Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada próxima a área de testes.

A velocidade do vento, medida pela diferença de leitura do início e final do teste, foi obtida com um anemômetro totalizador de canecas, instalado a 1,5 m da superfície do solo e a direção predominante do vento, com auxílio de uma biruta tipo rosa-dos-ventos.

Durante a realização dos testes e quando da estabilização da pressão de serviço do aspersor, foram determinados, através de três (03) repetições, o tempo em que o aspersor percorria cada setor e completava o seu giro total, com auxílio de um cronômetro digital com precisão de centésimos de segundos. Deve-se observar que os diâmetros internos dos bocais citados referem-se àqueles efetivamente medidos. Outros equipamentos usados foram: trena, paquímetro, balde e mangueira (para determinação da vazão pelo processo direto).

3.4. Parâmetros usados na análise dos dados

Um programa de computador CATCH-3D (ALLEN, 1991) foi utilizado para efetuar os cálculos relativos a Eficiência de Aplicação (EA), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de água (CUD), com base nos dos dados de lâmina média aplicada e lâmina média coletada, observando-se as condições de funcionamento do sistema. Possibilitou-se com isso verificar as perdas por

evaporação e por arrastamento pelo vento em função dos elementos do clima (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) e da pressão de serviço. Este programa foi desenvolvido pela Universidade do Estado de Utah, Logan, Utah, em linguagem Pascal.

Foi analisado o efeito do espaçamento dos aspersores e da velocidade média do vento sobre a uniformidade de distribuição de água, utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de água (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), Coeficiente de Wilcox & Swailes (CUE) e a Eficiência Padrão da HSPA. (UDH).

Os resultados relativos à superposição e à determinação da uniformidade de distribuição de água pelo aspersor foram baseados nos dados de precipitação, sendo simulados diversos espaçamentos (12,0 m x 12,0 m; 12,0 m x 18,0 m; 18,0 m x 18,0 m) entre aspersores e entre linhas laterais, baseados no raio de alcance do aspersor, em torno de 14 m.

Foram ajustadas equações de regressão linear, utilizando-se o programa para análise estatística da planilha EXCEL 5.0, para estimar as funções exponencial, linear e potencial.

3.4.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

A uniformidade pode ser expressa através de diferentes índices, dos quais, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC (1942), o primeiro

a ser introduzido, apresenta-se como o mais difundido para casos de distribuição normal, sendo calculado pela expressão:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{N \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (01)$$

onde o numerador do termo fracionário representa o somatório dos valores absolutos dos ensaios observados entre as quantidades individuais de água coletada (X_i) e o denominador o produto do número de observações (N) pela quantidade média de água coletada (\bar{X}).

3.4.2. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Outra forma de se avaliar a uniformidade é através do índice de Uniformidade de Distribuição (CUD) atribuído a CRIDDLE et al. (1956), conhecido também como Eficiência Padrão de Criddle, ou ainda Eficiência Padrão do USDA, definido pela relação entre a quantidade média de água coletada na quarta parte (25%) menos irrigada da área (Y) e a quantidade média de água coletada em toda a área (\bar{X}).

$$CUD = \frac{Y}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (02)$$

3.4.3 Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH)

HART (1961) desenvolveu um coeficiente de uniformidade, considerando que a precipitação dos aspersores comumente usados sob espaçamento padrão é normalmente distribuída e, conseqüentemente, seu padrão pode ser descrito por uma distribuição normal.

O coeficiente obtido, chamado de Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), é obtido pela seguinte expressão:

$$CUH = 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (03)$$

sendo:

S: desvio padrão da amostra (mm)

3.4.4 Coeficiente de Uniformidade de Wilcox & Swailes (CUE)

Utilizando também o desvio padrão (S), como medida de dispersão, esses dois autores propuseram em 1947 outro componente de uniformidade, denominado de Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), que é obtido pela expressão matemática:

$$CUE = 1 - \frac{S}{\bar{X}} \quad (04)$$

3.4.5 Eficiência Padrão da HSPA (UDH)

A Eficiência Padrão da HSPA é definida por:

$$UDH = \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}}\right) \cdot 100 \quad (05)$$

sendo:

S: desvio padrão da amostra;

\bar{X} : precipitação média de água coletada (mm).

3.4.6. Eficiência de Irrigação (EI)

Para determinar a efetividade com que o sistema de aspersão pode utilizar o suprimento de água e o percentual de perdas totais que está ocorrendo, foi determinada a Eficiência de Irrigação (EI). Este parâmetro é obtido pela seguinte expressão:

$$EI = \frac{Y}{\bar{L}} \cdot 100 \quad (06)$$

sendo:

\bar{L} : lâmina média aplicada (mm).

As Perdas de Água por Aplicação (PDA) do sistema de aspersão, foram determinadas pela expressão:

$$PDA = 100 - EI \quad (07)$$

3.4.7. Eficiência de Aplicação Potencial (EAP)

Este parâmetro é a Eficiência de Aplicação em Potencial do menor quartil, e indica uma medida atingível da performance de um sistema de irrigação, sob boas condições de manejo e quando a irrigação projetada está sendo aplicada. Contribui na determinação das perdas por evaporação sendo determinada pela expressão:

$$EAP = \frac{Y}{(\bar{X} + Ev)} \cdot 100 \quad (08)$$

sendo:

Ev: lâmina evaporada durante os testes (mm).

3.4.8. Perdas D'água por Evaporação (PDE) e por Carreamento ou Arraste pelo vento (PDC)

Os dados empregados para análise das perdas de água por evaporação e por carreamento ou arraste pelo vento foram obtidos pelas seguintes expressões:

$$PDE = 100 - EAP \quad (09)$$

$$PDC = PDA - PDE \quad (10)$$

3.4.9. Velocidades Angulares Setoriais (V_s)

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

$$V_s = \frac{15}{t} \quad (11)$$

sendo:

t: tempo gasto para o aspersor percorrer cada setor, s

Três repetições foram realizadas para a obtenção do valor médio de V_s .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características operacionais

Estudou-se o aspersor na pressão média de serviço de 30 mca nos espaçamentos de 12 m x 12 m, 12 m x 18 m e 18 m x 18 m, seguindo as recomendações do fabricante. Observa-se na Tabela 01 que a rotação do aspersor permaneceu dentro do eixo de rotação, ou seja, entre 0,5 e 4,0 rpm, conforme BERNARDO (1989) e CHRISTIANSEN (1942). A velocidade média do vento variou de 2,0 a 5,0 m.s⁻¹, para todos os testes efetuados.

4.2. Comparação entre coeficientes para avaliar a uniformidade

Nas Tabelas 02, 03 e 04 encontram-se os valores dos Coeficientes de Uniformidade e das Eficiência de Irrigação, nos espaçamentos e velocidades do vento estudados. Verifica-se que para todos os espaçamentos testados no intervalo de velocidade do vento de 2,0 a 3,0 m.s⁻¹, os valores dos Coeficientes de Uniformidade indicam que o sistema funcionou com alta uniformidade de distribuição de água. Estes resultados estão de acordo com RAMOS et al. (1992), quando citam que a maior uniformidade de distribuição de água pelo sistema pode ser obtido através de melhor superposição dos perfis de precipitação dos aspersores.

TABELA 01 - Tempo de rotação e velocidade média de rotação do aspersor (FABRIMAR).

Teste	Leitura	Tempo de Rotação (s)					Vel. de Rotação (rpm)	
		1° Q	2° Q	3° Q	4° Q	Circ.	Valores	Média
1	1	7.36	7.85	8.85	8.93	32.99	1.82	1.77
	2	9.10	8.10	9.10	8.40	34.70	1.73	
2	1	9.33	9.00	11.00	9.00	38.33	1.57	1.66
	2	9.33	9.33	8.00	7.50	34.16	1.76	
	3	8.67	8.67	10.00	8.67	36.01	1.67	
3	1	7.33	8.00	9.33	8.33	32.99	1.82	1.75
	2	9.00	8.67	10.67	8.00	36.34	1.65	
	3	8.00	8.33	9.00	8.33	33.66	1.78	
4	1	8.62	9.07	10.09	9.43	37.21	1.61	1.64
	2	8.16	8.64	9.73	9.98	36.51	1.64	
	3	8.70	8.66	8.35	10.57	36.28	1.65	
5	1	9.60	9.52	10.13	10.02	39.27	1.53	1.50
	2	10.29	10.05	10.15	10.14	40.63	1.48	
	3	10.12	9.78	10.07	10.10	40.07	1.50	
6	1	10.36	9.55	10.15	9.93	39.99	1.50	1.52
	2	9.30	9.77	9.33	10.36	38.76	1.55	
	3	10.18	9.70	9.91	10.07	39.86	1.51	
7	1	7.30	7.13	8.63	7.25	30.31	1.98	1.90
	2	7.94	7.73	8.50	7.76	31.93	1.88	
	3	8.68	7.70	7.85	8.35	32.58	1.84	
8	1	9.81	9.12	9.87	9.76	38.56	1.56	1.59
	2	9.47	8.77	9.24	9.39	36.87	1.63	
	3	9.44	9.15	9.44	9.57	37.60	1.60	
9	1	9.30	9.00	8.53	5.26	32.09	1.87	1.99
	2	9.50	5.92	8.89	4.86	29.17	2.06	
	3	9.10	6.41	8.87	5.03	29.41	2.04	
10	1	6.00	5.26	5.63	5.31	22.20	2.70	2.60
	2	6.03	5.69	6.01	5.55	23.28	2.58	
	3	6.00	5.75	6.30	5.84	23.89	2.51	
11	1	7.78	7.60	6.67	8.42	30.47	1.97	2.01
	2	7.41	7.43	6.75	8.44	30.03	2.00	
	3	6.86	7.04	6.86	8.45	29.21	2.05	
12	1	7.92	7.41	7.41	8.87	31.61	1.90	1.90
	2	8.23	7.97	7.08	8.48	31.76	1.89	
	3	7.53	8.11	7.52	8.40	31.56	1.90	
13	1	8.73	7.74	8.09	7.84	32.40	1.85	1.87
	2	7.57	7.53	8.46	7.72	31.28	1.92	
	3	8.98	7.71	8.13	7.98	32.80	1.83	

TABELA 02 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da vel. do vento de 2.0 a 3.0 m.s⁻¹.

Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Espaçamento		Parâmetros de avaliação (%)									
	E ₁	E ₂	CUH	CUC	CUE	CUD	UDH	EI	PDA	EAP	PDE	PDC
2 a 3	12	12	95.60	94.87	94.55	90.40	93.05	79.97	20.03	86.92	13.09	6.94
	12	18	92.20	90.88	90.25	86.38	87.62	76.05	23.95	81.10	18.90	5.05
	18	18	88.05	85.95	85.05	79.33	81.03	70.00	30.00	72.48	27.53	2.47
\bar{X}			91.95	90.57	89.95	85.37	87.23	75.34	24.66	80.17	19.84	4.82
S			3.78	4.47	4.76	5.60	6.02	5.02	5.02	7.27	7.27	2.24
Cv			4.11	4.93	5.29	6.56	6.90	6.67	20.37	9.06	36.62	46.55

TABELA 03 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da vel. do vento de 3.0 a 4.0 m.s⁻¹.

Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Espaçamento		Parâmetros de avaliação (%)									
	E ₁	E ₂	CUH	CUC	CUE	CUD	UDH	EI	PDA	EAP	PDE	PDC
3 a 4	12	12	93.35	92.28	91.63	87.88	89.45	73.20	26.80	83.86	16.14	10.66
	12	18	88.25	86.34	85.28	82.38	81.32	67.85	32.15	76.94	23.06	9.09
	18	18	82.12	79.09	77.57	75.75	71.61	60.63	39.37	67.74	32.21	7.16
\bar{X}			87.91	85.90	84.83	82.00	80.79	67.23	32.77	76.18	23.80	8.97
S			5.62	6.61	7.04	6.07	8.93	6.31	6.31	8.09	8.06	1.75
Cv			6.40	7.69	8.30	7.41	11.05	9.38	19.25	10.62	33.86	19.54

TABELA 04 - Valores percentuais dos parâmetros de avaliação do desempenho em função da vel. do vento de 4.0 a 5.0 m.s⁻¹.

Velocidade do vento	Espaçamento		Parâmetros de avaliação (%)									
	E ₁	E ₂	CUH	CUC	CUE	CUD	UDH	EI	PDA	EAP	PDE	PDC
4 a 5	12	12	91.48	90.01	89.34	85.57	86.48	64.76	35.24	80.73	19.27	15.97
	12	18	85.28	82.39	80.94	78.40	75.81	60.17	39.83	73.32	26.68	13.15
	18	18	77.18	73.86	71.42	69.62	63.72	54.39	45.61	63.71	36.29	9.32
\bar{X}			84.65	82.09	80.57	77.86	75.34	59.77	40.23	72.59	27.41	12.81
S			7.17	8.08	8.97	7.99	11.39	5.20	5.20	8.53	8.53	3.34
Cv			8.47	9.84	11.13	10.26	15.12	8.69	12.92	11.76	31.13	26.05

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no intervalo de velocidade do vento de 2,0 a 3,0 m.s⁻¹ nos três espaçamentos testados (94,87%, 90,88% e 85,95%), e nos intervalos de 3,0 a 4,0 m.s⁻¹ e 4,0 a 5 m.s⁻¹ (92,28%, 86,34% e 90,01%, 82,39%), apenas para os dois primeiros espaçamentos (12 m x 12 m e 12 m x 18 m), foram superiores ao valor mínimo aceitável (> 80%). No entanto, no espaçamento máximo de 18 m x 18 m, para os dois últimos intervalos de velocidade do vento (3,0 a 4,0 m.s⁻¹ e 4,0 a 5,0 m.s⁻¹), seus valores 79,09% e 73,86% foram inferiores ao valor mínimo aceitável para o desenvolvimento normal do sistema de aspersão, segundo BERNARDO (1989).

De acordo com RAMOS (1992), o maior espaçamento estudado (18 m x 18 m) para os maiores intervalos de velocidade do vento, apresentou valores de CUC inferiores ao mínimo aceitável, devido a distância entre linhas laterais ter sido muito grande, originando uma inadequada sobreposição dos jatos de água, além da velocidade do vento ter provocado distorções na distribuição de água pelo aspersor.

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

Observa-se que os valores do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) no intervalo de velocidade do vento de 2,0 a 3,0 m.s⁻¹ (94,55%; 90,25%; 88,05%) e de 3,0 a 4,0 m.s⁻¹ (91,63%; 85,28%; 77,57%) nos três espaçamentos, bem como de 4,0 a 5,0 m.s⁻¹ (89,34%; 80,94%), apenas para os dois primeiros espaçamentos (12 m x 12 m e 12 m x 18 m) são

superiores ao valor mínimo aceitável (75 a 80%), de acordo com WILCOX & SWAILES (1947).

Analisando-se o intervalo de velocidade do vento que apresentou os melhores resultados (2,0 a 3,0 m.s⁻¹), e com base nas recomendações de FRIZZONE (1992), verifica-se que os espaçamentos de 12 m x 12 m e 12 m x 18 m poderiam ser utilizados com culturas de alto valor econômico, especialmente aquelas de sistema radicular pouco profundo (CUC > 88% ou CUD > 80%), para se obter o mais econômico sistema de irrigação. Já para culturas de sistema radicular médio, árvores frutíferas e culturas com sistema radicular profundo, poderia ser utilizado o espaçamento máximo recomendado pelo fabricante de 18 m x 18 m, visto que a uniformidade mais econômica pode variar de 70% a 80% e 82% a 88%, respectivamente, segundo MERRIAM et al. (1993).

4.3. Efeito da velocidade do vento sobre a uniformidade

As Figuras 03, 04 e 05, expressam o comportamento dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água em função das diferentes velocidades do vento. Pode-se observar, que entre a uniformidade de distribuição de água e a velocidade do vento existe uma correlação inversa, ou seja, para valores crescentes de velocidade do vento a uniformidade de distribuição decresce. No espaçamento de 12 m x 12 m, todos os valores obtidos estão acima do valor mínimo aceitável em todas as velocidades

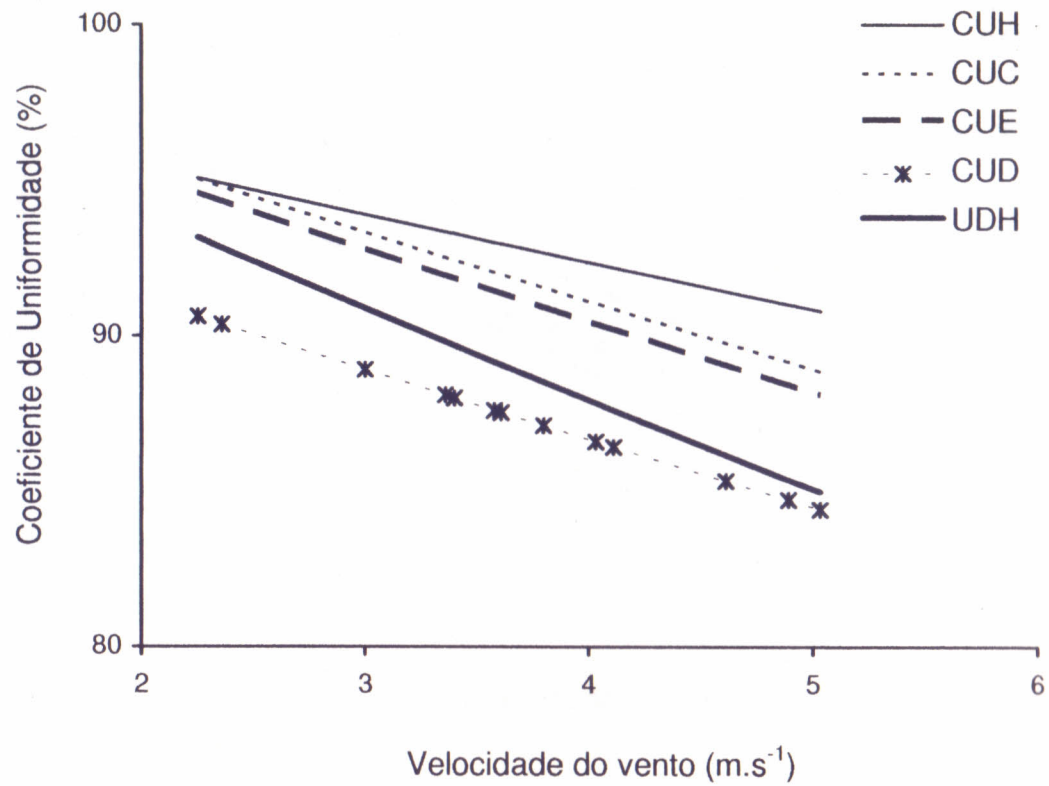


Figura 03 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 12 m x 12 m.

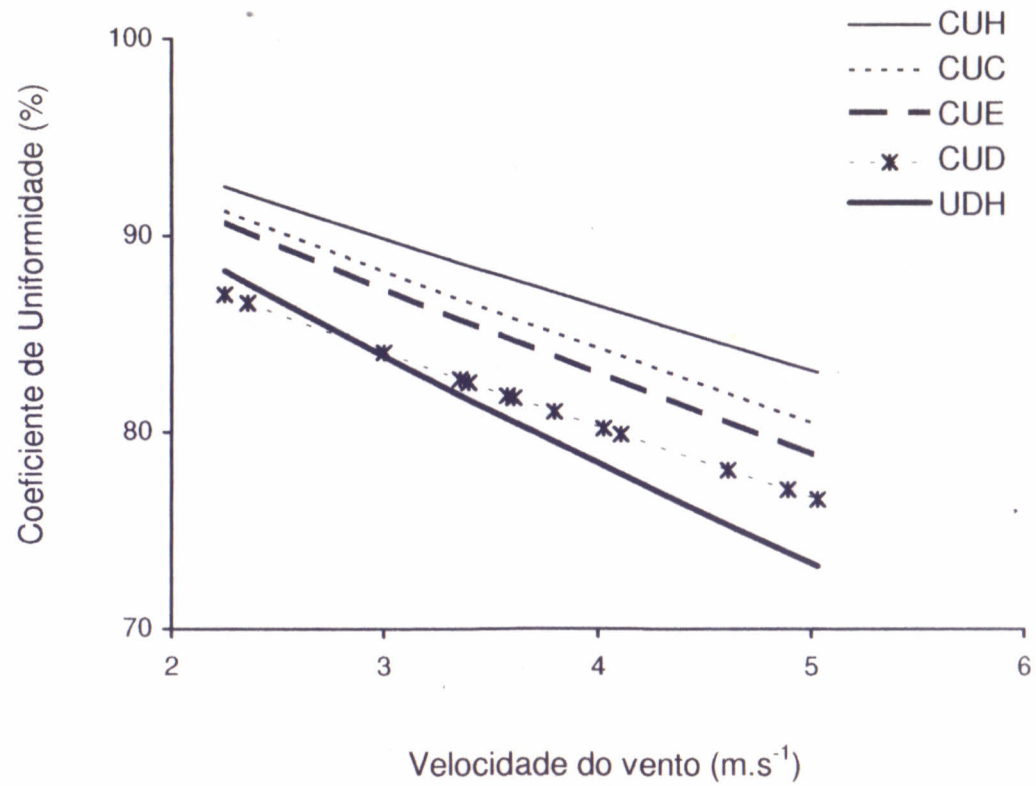


Figura 04 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 12 m x 18 m.

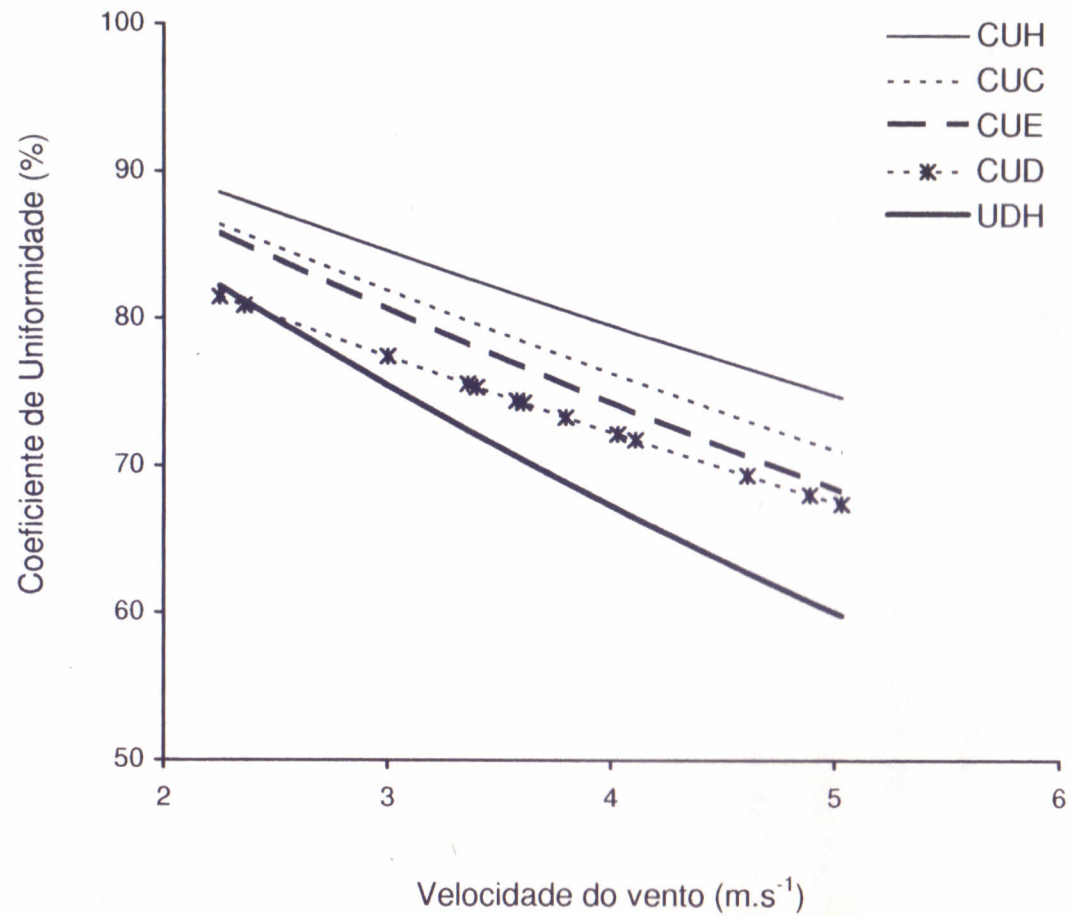


Figura 05 - Coeficiente de uniformidade em função da velocidade do vento, para o espaçamento de 18 m x 18 m.

do vento estudadas. Já para o espaçamento de 12 m x 18 m, apenas UDH apresenta valores inferiores à velocidade do vento acima de $4,0 \text{ m.s}^{-1}$. No entanto, quando o espaçamento é de 18 m x 18 m, valores inferiores ao mínimo aceitável já se verifica no intervalo de velocidade entre $3,0$ e $4,0 \text{ m.s}^{-1}$. Observa-se uma correlação inversa entre o espaçamento e os coeficientes de uniformidade de distribuição de água estudados. Durante a realização dos testes observou-se que a distribuição de água do aspersor foi visivelmente influenciada pelo vento, com arrastamento das gotas de água para pontos afastados do aspersor e, aumento do raio molhado no sentido predominante do vento. Esta ocorrência está de acordo com a afirmativa de MARQUELLI (1989), quando cita que a aplicação de água por um aspersor, que na ausência de vento seria de forma circular, poderá adquirir as mais variadas formas, em especial a elíptica, quando este fator se faz presente.

4.4. Eficiência de irrigação (EI)

A eficiência de aplicação não dá, por si só, idéia da adequação da irrigação. O conceito de eficiência deve ser combinado pelo menos com medidas de uniformidade e perdas de água. Os resultados são mostrados nas Tabelas 02, 03 e 04.

Constatou-se que, para todos os espaçamentos simulados e intervalo de velocidade do vento de $2,0$ a $3,0 \text{ m.s}^{-1}$, além do espaçamento de $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ para o intervalo de velocidade do vento de $3,0$ a $4,0 \text{ m.s}^{-1}$, o sistema apresentou resultados aceitáveis para regiões quentes e áridas.

Para as demais condições simuladas todos os valores estão abaixo do valor mínimo recomendável na literatura, de acordo com PAIR (1970).

4.5. Efeito da velocidade do vento sobre a eficiência de irrigação

A Figura 06 mostra o comportamento da eficiência de irrigação em função da velocidade média do vento nos diferentes espaçamentos estudados. Verifica-se uma correlação inversa entre eficiência de irrigação e velocidade do vento, em cada um dos espaçamentos estudados, bem como entre eficiência e espaçamento, para uma determinada velocidade do vento.

É observado ainda que valores de eficiência de irrigação abaixo de 60% só começam a ser observados para o espaçamento de 18 m x 18 m a uma velocidade média do vento superior a $4,0 \text{ m.s}^{-1}$.

4.6. Eficiência de Aplicação em Potencial (EAP), Perdas D'água por Aplicação (PDA), Evaporação (PDE) e por Carreamento ou Arraste pelo vento (PDC)

Observa-se nas Tabelas 02, 03 e 04 que os três (03) espaçamentos simulados nos intervalos de velocidade do vento estudados, há aumento simultâneo das Perdas D'água por Aplicação (PDA) e Evaporação (PDE), enquanto que a Eficiência de Aplicação em Potencial (EAP) e as Perdas D'água por Carreamento ou Arraste pelo vento (PDC), decrescem.

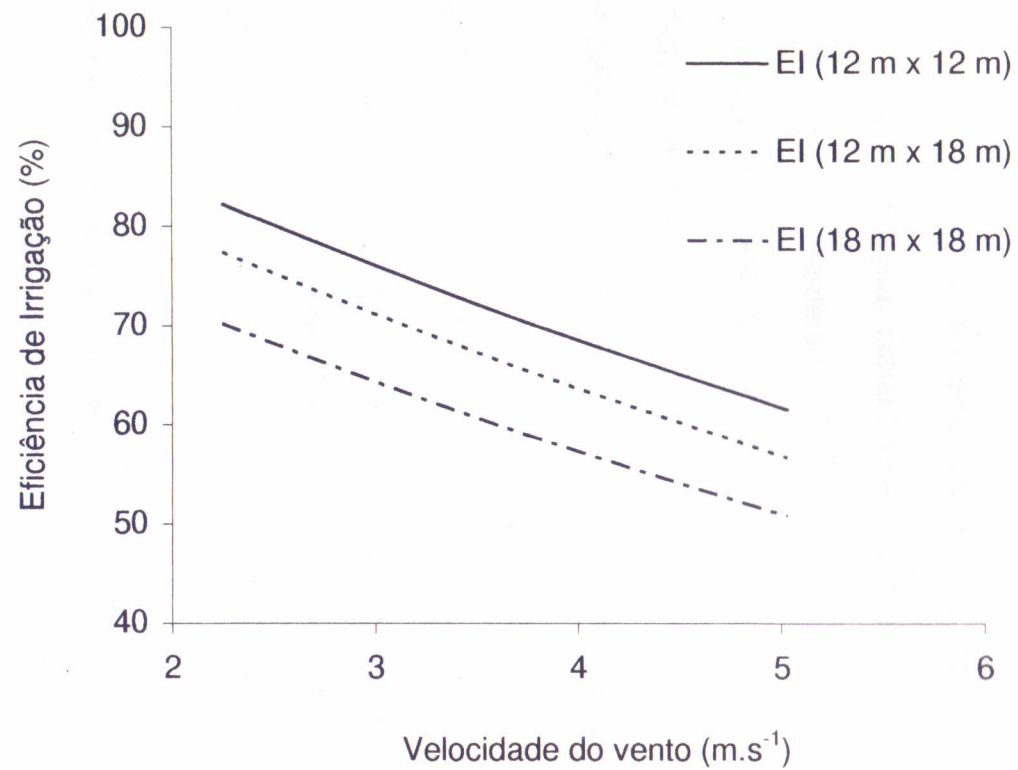


Figura 06 - Eficiência de irrigação em função da velocidade do vento para os diferentes espaçamentos.

É observado também que PDE e PDC cresceram com o aumento da velocidade média do vento, e que a magnitude do incremento das perdas de água por evaporação (PDE) foi maior que o decremento das perdas por carreamento ou arraste pelo vento (PDC) com o aumento do espaçamento. Este comportamento é explicado em virtude dos testes terem sido realizados nos meses de maior poder evaporativo.

Com o objetivo de melhor visualizar o efeito da velocidade do vento sobre as perdas de água, plotaram-se gráficos que mostram as perdas por evaporação e por carreamento ou arraste pelo vento em função dos diferentes espaçamentos (FIGURA 07). Observa-se uma correlação direta entre a velocidade do vento e as perdas de água por evaporação e por carreamento ou arraste pelo vento, bem como entre espaçamento e as perdas de água por evaporação e correlação inversa entre espaçamento e as perdas por carreamento ou arraste pelo vento.

Merece destaque observar, que as maiores velocidades do vento corresponderam às temperaturas mais elevadas durante o dia, embora essa variável não tenha sido analisada.

4.7. Estimativa do melhor ajuste

Com os dados dos 13 testes de campo obtiveram-se 39 observações as quais foram utilizadas para ajustar um modelo de regressão linear, que permitisse estimar o coeficiente de uniformidade de distribuição de água que

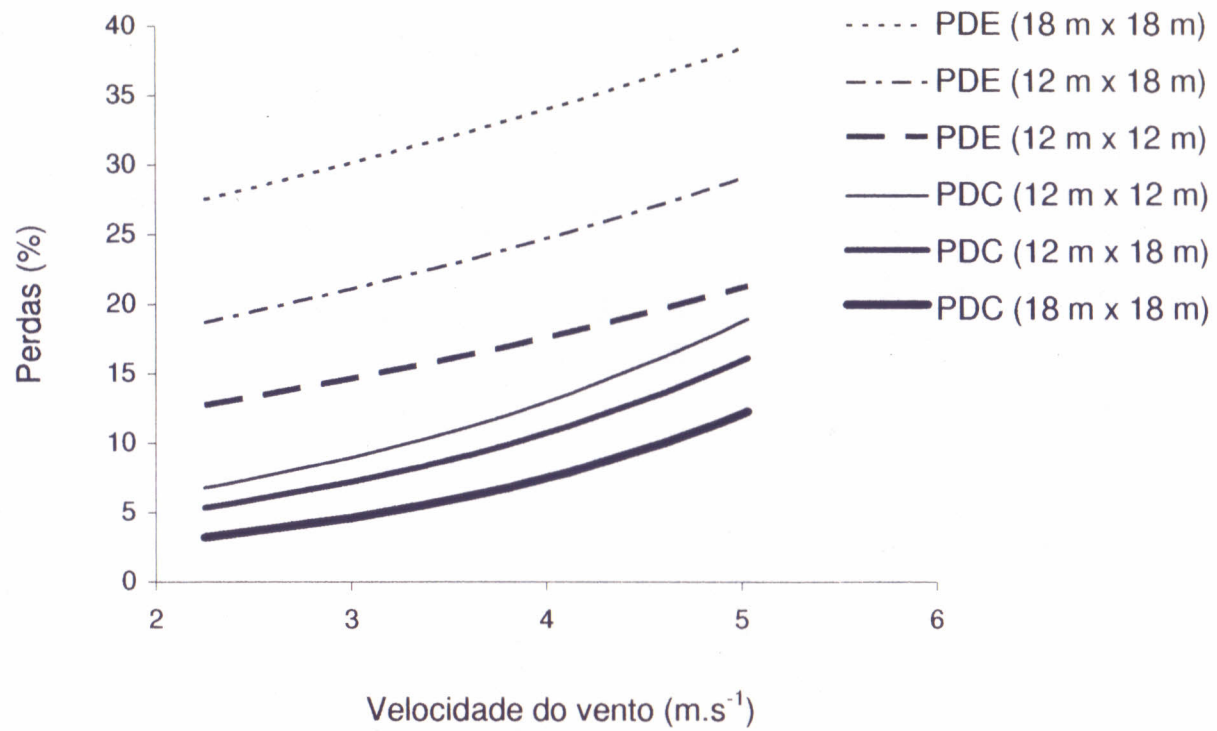


Figura 07 - Perdas de água por evaporação e carreamento ou arraste pelo vento, em função da velocidade do vento para os diferentes espaçamentos.

melhor se ajustasse as condições estudadas. As estimativas dos parâmetros de regressão e a análise de variância da equação de CUC no espaçamento de 12 m x 12 m estão apresentadas na Tabelas 05 e 05/A.

Comparando os coeficientes para estimativa da uniformidade de distribuição de água, verifica-se que para todas as combinações de espaçamentos utilizados, nas equações ajustadas, a função exponencial foi a que forneceu melhor ajuste .

Observa-se que para os três espaçamentos simulados, o coeficiente de determinação (r^2), que mede a relação dos dados com a curva ajustada, e como este índice deve estar o mais próximo possível de um (01), seus valores demonstram o quanto efetivo foi a regressão, apresentando um bom ajuste.

De acordo com o valor do nível crítico do teste (P) e em relação aos valores obtidos de r^2 dos coeficientes ajustados através de regressão linear, os testes realizados em campo foram significativos e todos os coeficientes de uniformidade podem ser utilizados indistintamente na determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão convencional, nas condições estudadas.

TABELA 05 - Equações de regressão dos parâmetros de avaliação

Equação exponencial					
12 m x 12 m		12 m x 18 m		18 m x 18 m	
F(x)	r ²	F(x)	r ²	F(x)	r ²
$CUH = 98,695e^{-0,0166 v}$	0,95	$CUH = 100,94e^{-0,0388 v}$	0,99	$CUH = 101,71e^{-0,0615 v}$	0,99
$CUC = 100,37e^{-0,0242 v}$	0,99	$CUC = 101,14e^{-0,0456 v}$	0,99	$CUC = 101,37e^{-0,071 v}$	0,97
$Cws = 100,17e^{-0,0255 v}$	0,99	$Cws = 101,51e^{-0,0503 v}$	0,99	$Cws = 103,18e^{-0,0821 v}$	0,99
$CUD = 95,971e^{-0,0255 v}$	0,99	$CUD = 96,466e^{-0,0459 v}$	0,99	$CUD = 95,015e^{-0,0683 v}$	0,96
$UDH = 100,37e^{-0,0331 v}$	0,99	$UDH = 102,58e^{-0,0671 v}$	0,99	$UDH = 106,32e^{-0,1143 v}$	0,99

TABELA 05/A - Análise estatística da equação $CUC = 100,37e^{-0,0242v}$

FV	GL	SQ	QM	F	* P
Regressão	1	44,1009	44,1009	88572,4391	7,738E-23
Resíduo	11	0,0055	0,0005		
Total	12	44,1064			

* Nível crítico do teste.

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados obtidos no presente trabalho e segundo as condições em que este estudo foi realizado, pode-se concluir que :

1. A medição dos tempos de giro dos aspersores nos quadrantes indicou que a água foi lançada com distribuição regular em todas as direções. As variações da taxa de rotação devem-se à variação da fricção no ponto de apoio quando o aspersor está em diferentes posições e pela velocidade do vento no quadrante;

2. Os aspersores testados seguem as especificações técnicas do fabricante, visto que apresenta uniformidade elevada para os espaçamentos 12 m x 12 m, 12 m x 18 m e no espaçamento de 18 m x 18 m seus valores são baixos, apesar de ser o espaçamento máximo recomendado para uso. Convém salientar, no entanto, que nem sempre o melhor espaçamento é o mais econômico. Pode ser que haja espaçamento maior que forneça um coeficiente aceitável, o que seria bem mais conveniente, pois seriam gastos menos tubulações, registros, aspersores, válvulas, etc;

3. Os melhores resultados conseguidos com os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, foram obtidos nos menores intervalos de velocidade do vento e espaçamento;

4. As perdas por evaporação (PDE) foram superiores as perdas por carreamento ou arraste pelo vento, em virtude dos testes terem sido realizados nos meses de maior demanda evaporativa e a existência de quebra-ventos no local do experimento;

5. A metodologia utilizada para avaliação dos parâmetros da qualidade da irrigação nas condições em estudo mostrou ser adequada e, todos os coeficientes avaliados podem ser usados indistintamente na determinação da performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional. Dessa forma, a distribuição de água através do sistema de irrigação em estudo foi adequada e reforçada pelos resultados obtidos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tendo em vista algumas limitações encontradas no trabalho, e a continuidade da presente linha de pesquisa, tem-se a considerar:

- É preciso que haja uma conscientização técnica no sentido de se trabalhar com dados reais obtidos na nossa região e, em particular "in loco", e desta maneira nos desprendermos de valores extrapolados que muitas vezes fogem à nossa realidade.

- Ressalte-se que é altamente recomendável que trabalhos sejam direcionados no sentido de avaliar a efetividade da irrigação para diferentes culturas, pois, como este termo expressa a relação existente entre uniformidade, eficiência de aplicação e adequabilidade, e como é de costume trabalhar com valores altos para estes índices estudados, é necessário conhecermos e compreendermos tal relação existente, e com os conhecimentos adquiridos definir que índices deverão ser utilizados em função de cada cultura e solo, e que o produtor, objetivo intrínseco para o qual deveria ser direcionado o fruto de nossa pesquisa, faça usufruto dos resultados da mesma e, dela obtenha o máximo lucro, otimizando os custos.

- Para fins de estudo mais apurado sobre os parâmetros de desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional, torna-se necessária a utilização de metodologias que estude também alguns desses parâmetros na subsuperfície, bem como nas diversas fases fenológicas de culturas de valor econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S.A.; BAREFOO, A.D. **Low trajectory sprinkler patterns and evaporation losses.** St. Joseph. Michigan: ASAE, 1981. (Paper nº 81-2085).

ALLEN, R.G. **Sprinkler irrigation overlap program-Version 4.5.** Logan, Utah State University, 1991. 15p.

ASSIS, L.L DE. Avaliação de sistemas de irrigação por pivô central de baixa pressão. Fortaleza (Mestrado - Universidade Federal do Ceará), 1990. 93p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aspersores para irrigação e avaliação de características operacionais - método de ensaio NBR 8988.** Rio de Janeiro, Ago. 1985.

----- **Sistema de irrigação por aspersão convencional-
caracterização do desempenho/método de ensaio.**
1ª Projeto de norma 12:02. 08 - 003. Rio de Janeiro, 1983.

BAGLEY, J.M. & CRIDDLE, W.D. **Sprinkler irrigation systes in northern Utah.** Utah State Agriculture College. 1995. 30p. (Bull. 387).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5ª ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.

CHARMELO, L.C.L. Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido, sob diferentes condições operacionais. Viçosa, (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa), 1990. 50p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling.** Agricultural Engineering. St. Joseph, Michigan, **18**(12): 535-8, 1937.

-----, **Irrigation by sprinkling.** Berkeley, California Agricultural Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).

COSTA, S.C. Efeito da largura da faixa irrigada e da velocidade do vento no sistema de irrigação autopropelido. Fortaleza (Mestrado - Universidade Federal do Ceará), 1994. 84p.

CRIDDLE, W.D., DAVIS, S.PAIR, C.H. SHOCKLEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems.** Soil Conservation Service - USDA, Washington, D.C., Agricultural Handbook 82, 1956, 24p.

----- **Methods for evaluating irrigation systems.** Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook 82, 1969, 24p.

D'ASSUMPÇÃO, A.L.G. Efeito do espaçamento entre coletores e da velocidade de operação na avaliação de um sistema pivô - central. Fortaleza, (Mestrado - Universidade Federal do Ceará), 1990. 133p.

FAZAL, H.C. Nonuniform sprinkler irrigation application efficiency, **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, 105 (IR2): 165-78, June 1978.

FIETZ, C.R.; OLIVEIRA, C.S.G. DE; GAMA, A.A.; NOGUEIRA, L.C.; SILVA, W.L. DE C. & MIRANDA, N. DE O. **Desempenho de pivô central nos tabuleiros litorâneos do Piauí.** Parnaíba, EMBRAPA-CNPAL. Pesquisa em andamento, n.2, 1989. 10p.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: Uniformidade e eficiência.** Piracicaba, ESALQ/Engenharia Rural, 1992. Série Didática # 3.

GOMES FILHO, R.R. Distribuição de umidade num solo podzólico vermelho amarelo irrigado por gotejamento em condições de campo. Fortaleza, (Mestrado - Universidade Federal do Ceará), 1990. 78p.

- GOMIDE, R.L.. **Análise de uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão.** Revista Ceres, Viçosa, **27**(153): 457-70, Set/Out. 1980.
- HART, W.E. Overhead irrigation patters parameters, **Transations of the ASAE**, St. Joseph, **42**(7): 354-5, July 1961.
- . Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. **Transations of the ASAE**, St. Joseph, **15**(3): 656-61, 666, 1972.
- HART, W.E.; HEERMANN, D.F. **Evaluating water distributions of sprinkler irrigation systems.** For Collins, Colorado State University, 1976. 42p. (Colorado Experimental Station Bulletin, 128).
- HART, W.E.; REYNOLDS, W.N. Analitical design of sprinkler system, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **8**(1): 83-5, 89, Jan/Fev. 1965.
- IDE, M.R.P. Perfil da taxa de aplicação de água de duas instalações com pivô-central. Piracicaba, (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP), 1989. 80p.
- ITABORAHY, C.R. Influência da altura, inclinação, espaçamento e diâmetro do bocal de um aspensor fixo nas características de sistemas de irrigação. Viçosa, (Dissertação - Universidade Federal de Viçosa), 1993. 83p.

JAMES, L.G.; BLAIR, S.K. Performance of low pressure center -pivô systems.

Transactions of the ASAE, St. Joseph, Michigan, **27(6)**: 1753-7, 1762, 1984.

HOWELL, D.T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency, **Journal of the**

Irrigation and Drainage Division, New York, **90(IR3)**: 41-53, Sept. 1964.

KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression,

Transation of the ASAE, St. Joseph, **21(4)**: 682-6, 1978.

-----, Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression,

Transation of the ASAE, St. Joseph, **87(2)**: 682-6, 1978.

KELLER, J. **Sprinkler irrigation**. 2. ed. Washington, SCS, National

Engineering Handbook, 1979 . Sec. 15, cap. 11, 302p.

MAREK, T.H.; UNDERSANDER, D.J.; EBELING, L.L. An arealweighted

uniformity coefficient for center - pivô irrigation system. **Transactions of the**

ASAE, St. Joseph, **29(6)**: 1665-7, Nov/Dec. 1986.

MARQUELLI, W. A. Escolha de aspersores e manejo de sistemas

convencionais sob condições de vento. **ITEM - Irrigação e tecnologia**

moderna, (39): 19-21, 1989.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. 2ª. ed. Logan, Utah State University, 1978, 271p.

-----; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. Evaluating irrigation system and practices. In: JENSEN, M.E., ed. **Design and operation on farm irrigation system**. St. Joseph, ASAE, 1983. Cap. 17, p.721-60.

MIRANDA, F.R. Influência da altura de instalação, do diâmetro do bocal e do tipo de placa defletora de um aspersor fixo sobre suas características de operação. Viçosa, (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa), 1993. 67p.

MOTA, F.O.B, Silva, p.s.L. Regime hídrico e térmico de solos do estado do Ceará I - Pódizólico Vermelho-Amarelo, equivalente eutrófico, do município de Fortaleza, Ciên. Agron., Fortaleza, v.8, n.1-2, p.3-8, 1978.

NORUM, E.M. A method of evaluating adequacy and efficiency of overhead irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **26(2)**: 218-20, Mar/Apr. 1996.

OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1987. 267p.

PAIR, C.H. Water distribution under sprinkler irrigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, **14(5)**: 648-51, 1968.

- Sprinkler Irrigation. **Soil and Water Conservation Research Division.**
Washington, 1970. 9p. (Bull 476).
- PAZ, V.P.S. Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão. Viçosa, (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa), 1990. 59p.
- RAMOS, M.M.; OLIVEIRA, R.A.; DENÍCULI, W.; SOARES, A.A. Perfil de precipitação de um aspersor fixo. **Engenharia na Agricultura: Irrigação e Drenagem**, Viçosa, MG, 1(11): 1-12, 1992.
- RIBEIRO, J. M.; SOUZA, F. DE. Aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, (16): 7-10, 1984.
- ROSA, J.A; BERNADO, S.; LOUREIRO, B.T.; DENÍCULI, W. Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação microautopropelido em diferentes condições de operação. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM.8.** FLORIANOPOLIS, 1988. Anais... Florianopolis, 1988, v.1. p.217-35.
- SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistema de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, nº 139, p.54-63, 1986.

von BERNUTH, R.D.V.; GILLEY, J.R. **Evaluation of center-pivô application packages considering droplet induced infiltration reduction.** St. Joseph, (Paper, 83-2516): ASAE, 1985.

WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: Efficiency model. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 105(IR): 129-36, June 1979.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, 27(11): 565-83, Nov. 1947.

UFC-CCA-DENA
CURSO DE MESTRADO EM
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

APÊNDICE

TABELA 06 - Parâmetros físicos do solo da área do experimento.

Amostra	Prof. (cm)	Densidade do solo	Composição granulométrica (%)				Classe textural
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
90-133	0-20	1.43	46	36	7	11	Areia- franca
90-134	20-40	1.60	42	30	9	19	Franco- arenoso
90-135	40-60	1.50	27	22	14	37	Argila- arenosa
90-136	60-80	1.43	22	18	20	40	Franco- argiloso

Dados de análise realizadas no Laboratório de Solos do DCS/CCA/UFC
 Fonte: Gomes Filho (05/12/90)

TABELA 06/A - Análise química do solo da área do experimento.

Amostra	Prof.	pH		CE a 25°C Ext. Sat.	CaCO ₃ ⁻ Equiv.	Complexo Sortivo (mE/100 g de solo)							
		(cm)	Água			KCl	(dS/m)	(%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺
94-793	0-20	5,1	-	0,50		1,0	0,4	0,1	0,05	1,5	0,2	1,5	3,0
Saturação de bases	m	PST	Carbono	Nitrogênio	C/N	Matéria orgânica	Fósforo disponível						
(%)	(%)		(%)	(%)		(%)	(ppm)						
50,00	12	2	0,25	0,02	12	0,43	2						

* Análise realizada pelo Laboratório de Solos do DCS/CCA/UFC.

TABELA 07 - Análise química da água de irrigação.

Cátions					Ânions					CE
(meq/l)					(meq/l)					(mmhos/cm)
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Soma	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Soma	
0,80	0,95	1,38	0,14	3,27	2,6		0,82		3,42	0,35
RAS		pH			Sólidos dissolvidos		Classificação			
					mg/l					
1,47		7,7			220		C ₂ S ₁			

*Análise realizada no Laboratório de Solos do DCS/CCA/UFC.

TABELA 08 - Especificações técnicas do aspersor.

ASPERSOR	ESPECIFICAÇÕES
Marca	FABRIMAR
Modelo	A1823M
Diâmetro dos Bocais	4,0 mm x 4,8 mm
Pressão de Serviço	2,0 a 4,0 mca
Vazão Teórica	2,36 m ³ .h ⁻¹ a 2,99 m ³ .h ⁻¹
Espaç. Máx. Rec.	18 m x 18 m

Fonte: Catálogo do fabricante.

TABELA 09 - Especificações técnicas do conjunto eletro-bomba.

MOTOR ELÉTRICO	
Marca	WEG
Modelo	112M 388
Potência Nominal	7,5 Cv
Número de Fases	3
Frequência	60 Hz
Rotação	3940 rpm
BOMBA CENTRÍFUGA	
Marca	KING
Modelo	K - 50 - 40 - 179
Número de Estágios	1
Diâmetro do Rotor	179 mm
Vazão Nominal	28 m ³ .h ⁻¹
Rotação	3500 rpm
Diâmetro de Sucção	50 mm
Diâmetro de Recalque	40 mm
Peso	28 kg
Rendimento	84%

Fonte: catálogo técnico - Bombas KING