

AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO: INFLUÊNCIA DO CLIMA NA UNIFORMIDADE E EFICIÊNCIA*

JOSÉ MAURO RIBEIRO **
FRANCISCO DE SOUZA ***

Estuda os padrões de distribuição de 4 aspersores disponíveis no mercado, bem como, os fatores que influenciam na eficiência e na uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão. Foram realizados 64 testes de uniformidade, em dois turnos distintos. Os resultados mostraram que: - para as condições estudadas (Vale do Curu-CE), obtem-se melhor qualidade da irrigação por aspersão (maior eficiência de aplicação e armazenamento e maior uniformidade), quando o espaçamento da lateral é 50% do diâmetro molhado do aspersor; -na análise da qualidade da irrigação por aspersão devem ser consideradas a direção e a velocidade do vento; - do ponto de vista da adequabilidade e eficiência, seria vantajoso que a irrigação por aspersão fosse realizada antes das 8:00 horas da manhã, no local em estudo, devido ao menor efeito dos fatores climáticos sobre a distribuição e perdas d'água.

INTRODUÇÃO

A eficiência e a uniformidade de aplicação da água na irrigação por aspersão dependem de vários fatores: pressão de serviço; uniformidade de rotação do aspersor; altura da haste, diâmetro e tipo do bocal; espaçamento; e fatores climáticos. Dentre os fatores climáticos, a velocidade e direção do vento são de importância capital.

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

Tendo em vista os aspectos acima considerados e a necessidades de obtenção de informações para o planejamento, operação e manejo do sistema de irrigação por aspersão foi realizado o presente estudo, que teve dois objetivos básicos:

* O presente trabalho foi extraído da Dissertação do primeiro autor, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, na UFC.

** Engenheiro Agrônomo, MS em Engenharia Agrícola — atualmente na EMATER — GO/PROFIR.

*** Professor Adjunto IV, do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola da UFC — Pesquisador III. b do CNPq — MS, Ph.D.

A ser apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 18-21/07/83, Rio de Janeiro.

(1) aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão (trabalho a ser publicado na revista ITEM da ABID, e apresentado no XIII CBEA); (2) estudar o padrão de distribuição de 4 aspersores disponíveis no mercado, bem como os fatores que influenciam a eficiência e uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão. O presente trabalho apresenta os resultados relativos ao objetivo 2.

REVISÃO DE LITERATURA

Os aspersores distribuem água em áreas circulares, não sendo possível obter uma aplicação com absoluta uniformidade. Uma grande uniformidade, segundo Christiansen (1942), depende do tipo de distribuição, que é função do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação dos aspersores, altura da haste, diâmetro e tipo do bocal. A uniformidade depende, também, do espaçamento entre aspersores, sendo a distribuição triangular, a que produz melhor uniformidade de distribuição.

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

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

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

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

Christiansen (1942), baseado no resultado de vários testes, realizados em diferentes condições climáticas, afirmou que as perdas por evaporação são desprezíveis, quando a umidade relativa é alta e a temperatura do ar é baixa. Nos testes realizados, quando a umidade relativa excedia 75%, a perda por evaporação variou de 0,85 a 8,9%. Já nos testes, onde a umidade relativa estava em torno de 15% e a temperatura média em 40,5° C, a perda variou de 10 a 42%.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

— Procedimento de Campo

Foram realizados sessenta e quatro (64) testes de uniformidade, usando-se quatro (4) diferentes marcas de aspersores, sendo dezesseis (16) testes para cada aspersor, em dois turnos distintos; um iniciando entre 6: 00 e 6: 30 h., horário de menor velocidade do vento, menor evaporação, menor temperatura e maior umidade relativa; outro, com início entre 7: 30 e 8: 30 h., horário de maior velocidade do vento, maior evaporação, maior temperatura e umidade relativa mais baixa. Em cada um destes turnos foram realizados oito (8) testes para cada tipo de aspersor, na pressão de serviço de 2,5 Kg/cm² e com uma (1) hora de duração.

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

cedimento, o local de realização dos testes foi dividido em subáreas de 9m² (3m x 3m), no centro das quais foram instalados os coletores, FIGURA 1.

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

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

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

Os aspersores testados foram:

— Top A — aspersor metálico, fabricado pelo KONI Ind. e Comércio Ltda., São Paulo, com bocais de 4,4 e 5,0 mm de diâmetro e ângulo do jato de 30°.

— Samoto — modelo AJS setorial, metálico, fabricado pela Santo Amaro Motores Agrícolas Ltda., São Paulo, com bocal único de 4,3 mm de diâmetro e ângulo do jato de 30°.

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

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

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

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

Os dados de média diária de velocidade e direção do vento, temperatura média diária, umidade relativa, precipitação, evaporação e insolação foram fornecidos pela Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, distante dois (2) km da área de realização dos testes.

Em resumo, na realização dos testes fazia-se a checagem da posição dos coletores, do horário e da velocidade do vento. Colocava-se 50ml de água do recipiente medidor de evaporação e acionava-se o sistema.

Durante a realização, regulava-se a pressão através do manômetro colocado na linha de tubulação a cada 10 minutos, mantendo-a em 2,5 kgf/cm² e cronometrava-se o tempo de rotação do aspersor (total e nos quadrantes), fazendo 3 repetições, 20 minutos após acionamento do sistema.

No final, checava-se a velocidade do vento, da água existente no medidor de evaporação, verificava-se a pressão de serviço no bocal do aspersor (1 h após o início do teste) desligava-se o sistema e anotava-se o volume precipitado dos coletores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo da distribuição e eficiência

O bom funcionamento de um sistema de irrigação por aspersão, requer aplicação uniforme de água sobre a superfície do terreno. Keller (1978), considera que valores de coeficientes de uniformidade (CU) abaixo de 79%, são considerados baixos, apesar de conceito de "baixo" ser relativo.

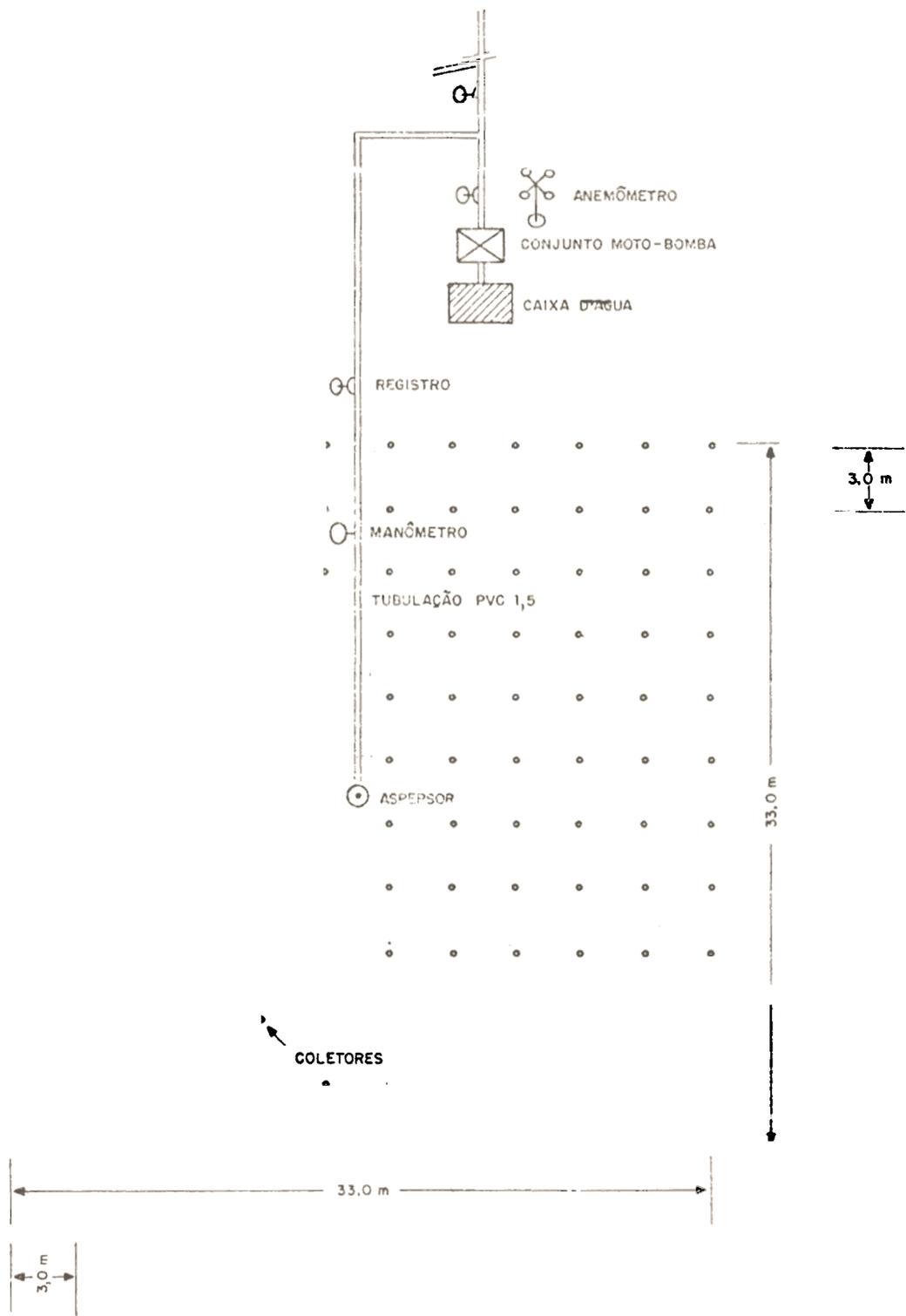


Figura 1 – Diagrama esquemático do campo experimental.

Para cada aspersor estudado, obteve-se diferentes coeficientes de uniformidade (CUC e CUH), média de aplicação, (\bar{y}), coeficiente de variação (s/\bar{y}), eficiências (Ea e Es) e perdas por percolação profunda (Dp), mostrados através das TABELAS 1 a 3 (Ea, Es e Dp foram obtidos para $Y_r = 1,0$)*.

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

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

Nas TABELAS 1 a 3, pode-se também verificar a relação entre coeficientes de uniformidade, eficiências e perdas. Quanto melhor a distribuição da água sobre a superfície do terreno, melhores são as eficiências e menores as perdas por percolação.

Fatores que afetam a uniformidade e a eficiência

— Efeito da velocidade do vento

Segundo o Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, citado por Olitta (1978) os ventos podem ser classificados de acordo com a sua velocidade (TABELA 4). Para cada uma destas velocidades deve-se usar um percentual do diâmetro molhado no cálculo do espaçamento da lateral.

* Sobre o conceito de Y_r ver referência do primeiro autor.

TABELA 01

Parâmetros do modelo linear pelo aspersor ZED-30.

Espaçamento (m)	N.º teste	\bar{y}	s	s/\bar{y}	Diâmetro bocais (mm)		Vel. vento (km/h)		R ²	Dir. vento		
					CUH (%)	CUC (%)	a	b		E _a **	E _s **	D _p **
12 x 12	65	73,3	6,7	0,09	4,4 x 5,4	92,9	0,86	2,5	0,92	0,96	0,96	0,04
12 x 18		50,9	8,7	0,17		85,3	0,72		0,98	0,93	0,93	0,07
12 x 24		38,2	8,2	0,21		83,0	0,65		0,96	0,91	0,91	0,08
12 x 30		30,5	15,4	0,50		57,0	0,18		0,95	0,79	0,79	0,21
18 x 18		33,9	7,4	0,22		82,9	0,65	1,64	0,92	0,91	0,91	0,09
18 x 24		25,4	6,8	0,27		79,5	0,57	0,69	0,92	0,89	0,89	0,11
18 x 30		20,4	10,9	0,53		55,7	1,11	0,78	0,97	0,78	0,78	0,22
24 x 24		19,1	6,5	0,34		72,9	1,45	1,10	0,91	0,86	0,86	0,14

** Os valores de Ea, Es e Dp correspondem

TABELA 2

Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor ZED-30

Espaçamento (m)	N.º testes 68		Diâmetro bocais (mm) 4,4 x 5,4			Vel. vento (Km/h) 13,9		Dir. vento NE-SW			
	\bar{y}	s	s/ \bar{y}	CUH (%)	CUC (%)	a	b	R ²	E _a **	E _s **	D _p **
12 x 12	61,5	23,2	0,38	69,9	72,2	0,44	1,12	0,89	0,86	0,86	0,14
12 x 18	41,0	15,3	0,37	70,1	71,1	0,42	1,16	0,90	0,86	0,86	0,14
12 x 24	30,7	20,1	0,65	47,8	47,7	-0,05	2,11	0,96	0,74	0,74	0,26
12 x 30	24,6	21,8	0,88	29,2	24,3	-0,43	2,86	0,94	0,64	0,64	0,36
18 x 18	27,3	19,6	0,72	42,5	40,9	-0,15	2,30	0,93	0,71	0,71	0,29
18 x 24	20,5	19,3	0,94	24,9	22,9	-0,47	2,95	0,87	0,63	0,63	0,37
18 x 30	16,4	19,0	1,16	7,1	4,8	-0,77	3,54	0,81	0,56	0,56	0,44
24 x 24	15,4	18,8	1,22	2,4	1,5	-0,83	3,66	0,78	0,54	0,54	0,46

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

TABELA 3

Parâmetros do modelo linear obtidos pelo aspersor Top A.

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

* Valores muito baixos de uniformidade.

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

TABELA 4

Influência da velocidade do vento no espaçamento da lateral.

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

(após SCS-USA, citado por Olitta, 1978)

TABELA 5a

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

vel. do vento ocorrido	Aspersor testado			
	ZED-30	Top A	Agropolo	Samoto
3 Km				
3 - 9 Km				
9 - 16 Km				
16 Km				

Considerando vento calmo àquele com velocidade inferior a 3 km/h, fez-se um estudo, com os 64 testes de campo realizados, TABELAS 5a e 5b, onde verificou-se que pequeno percentual dos ventos, medidos durante os testes, classificam-se como calmo (20,31%). Uma comparação entre os testes iniciados entre 6: 00 e 7: 30 e entre 7: 30 e 8: 30 h, demonstra que o 1.º horário possui maior frequência de ventos calmos. Isto indica que se pode encontrar durante o decorrer do dia, horários em que é maior a frequência de ventos de baixa velocidade, portanto, mais propícios ao manejo da irrigação por aspersão.

Comparando as TABELAS 1 e 2 referentes ao aspersor ZED-30, é também possível verificar a maior influência da velocidade do vento sobre maiores espaçamentos. Quando a velocidade do vento é baixa (2,5 km/h, TABELA 1), o maior coeficiente de uniformidade é 92,9% (CUC) no espaçamento de 12 x 12 m e o menor coeficiente de uniformidade é 55,5% no espaçamento de 18 x 30m, o que corresponde a uma diferença percentual de 37,2%.

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

Outros dados de velocidade e direção do vento são mostrados na TABELA 6, onde se verifica que nos meses de maior uso de irrigação (agosto a fevereiro) a velocidade média dos ventos é superior a 9 km/h. Isto parece indicar que os projetos de irrigação por aspersão da região da Fazenda Experimental Vale do Curu, devem considerar um baixo percentual do diâmetro molhado no cálculo do espaçamento, ou seja, no máximo 50% do diâmetro molhado (se o critério do SCS for adotado). Por exemplo, não seria recomendável utilizar um aspersor cujo diâmetro molhado é 28 m (como o aspersor Top A) no espaçamento de 18 x 18 m (65% do diâmetro), no período entre agosto e fevereiro, pois isto acarretaria irrigação de baixa qualidade, a menos que se considere irrigar em horá-

TABELA 5b

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

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

rios com baixa velocidade de vento.

A TABELA 7 mostra o efeito da velocidade do vento sobre os coeficientes de uniformidade (CUC e CUH), eficiências, perdas por percolação profunda e coeficiente de variação (para o aspersor Agropolo no espaçamento de 12 x 12 m). Os dados mostram um decréscimo dos coeficientes de uniformidade e eficiência e eficiências e um aumento das perdas por percolação e coeficiente de variação, à medida que os ventos vão atingindo maior velocidade. Quando os ventos atingem 9 km/h, os valores dos coeficientes de uniformidade e eficiências já apresentam grande diferença dos valores encontrados para ventos de até 3 km/h.

TABELA 6

Velocidade média dos ventos obtida de 1964 a 1970 na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu.

Meses	Velocidade média (km/h)
Janeiro	10,80
Fevereiro	10,44
Março	6,84
Abril	5,76
Mai	6,12
Junho	7,20
Julho	8,28
Agosto	10,44
Setembro	12,96
Outubro	12,96
Novembro	12,60
Dezembro	11,52

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

— Efeito da direção do vento

O vento influi consideravelmente nos índices de uniformidade quando se observa sua direção dominante. Na TABELA 7, pode-se verificar que o teste 35 tem maior coeficiente que o teste 23, apesar de apresentar maior velocidade de vento. Os autores acreditam que fatos como este podem ser atribuídos à direção do vento, e que esta deve ser considerada na análise da qualidade da irrigação por aspersão, juntamente, com dados sobre sua velocidade.

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

Com os dados da distribuição ocorrida no teste n.º 1 (aspersor Top A, velocidade do vento 13,9 km/h ou 3,86 m/s. FIGURA 2), efetuou-se a superposição para o espaçamento 12 x 18m, considerando a direção do vento paralela ao menor espaçamento (FIGURA 3) e obteve-se o padrão de distribuição (FIGURA 4). Para o padrão obtido calculou-se: desvio padrão (s); coeficiente de variação (s/\bar{y}); coeficiente de uniformidade de

TABELA 7.

Efeito da velocidade de vento sobre os parâmetros de qualidade, CV, CUC, CUH, Ea, Es, Dp, no espaçamento 12 x 12 m e usando os dados colhidos dos testes com o aspersor Agropolo.

Vel. do vento	3 - 9 km/h										9 km/h					
	25	31	33	29	23	35	27	34	21	28	30	24	36	32	26	22
N.º dos testes	0,8	1,0	1,6	2,7	4,0	4,7	4,9	5,1	6,7	7,3	7,6	8,1	9,0	10,9	13,1	13,4
Vel. vento (km/h)	0,13	0,151	0,152	0,178	0,227	0,166	0,199	0,211	0,250	0,219	0,268	0,268	0,300	0,321	0,337	0,383
CV	89,48	87,81	87,44	86,06	81,91	87,47	83,62	83,02	78,77	82,98	80,22	76,84	74,58	73,12	71,36	68,94
CUC(%)	88,99	87,96	87,87	85,83	81,85	86,79	84,10	83,14	80,03	82,55	81,57	78,59	76,10	74,36	73,12	69,47
CUH (%)	94,57	93,94	94,09	93,08	91,15	93,71	92,36	91,62	91,53	90,76	90,76	89,92	88,00	87,05	86,46	84,77
Ea (%)	94,57	93,94	93,09	93,08	91,15	93,71	92,36	91,61	90,01	91,53	90,76	89,92	88,00	87,05	86,46	84,77
Es (%)	5,43	0,06	5,91	6,92	8,85	6,29	7,64	8,38	9,99	8,47	9,24	10,78	12,00	12,95	13,54	15,23

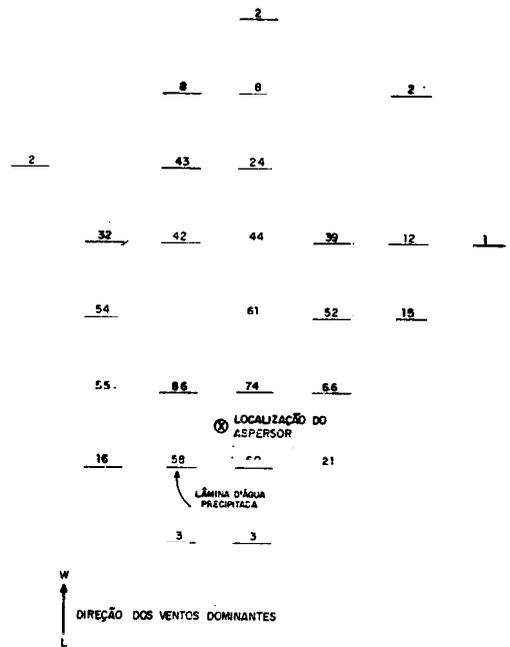


Figura 2 - Padrão do Aspersor TOP A no teste n.º 1 com velocidade do vento de 13.9 Km/ha.

Hart (CUH); coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Com procedimento idêntico obteve-se o padrão de distribuição para direção do vento paralela ao maior espaçamento (FIGURA 5) e também calculou-se os parâmetros já referidos (s , s/\bar{y} , CUH e CUC).

A TABELA 8 mostra o efeito da direção do vento sobre a uniformidade, onde fica constatado que os maiores espaçamentos resultam em irrigação mais adequada e eficiente, quando colocados no sentido da direção dos ventos dominantes.

- Efeito das perdas por evaporação e carreamento

Quando os fatores climáticos propiciam grandes perdas, ou seja, grande evaporação e carreamento, antes que as gotas d'água atinjam o solo, devido, principalmente, à baixa umidade relativa, alta temperatura e elevada velocidade do vento, o padrão de distribuição pode ficar bastante deformado, influenciando, marcadamente, na uniformidade de distribuição. A ação destes fatores faz-se

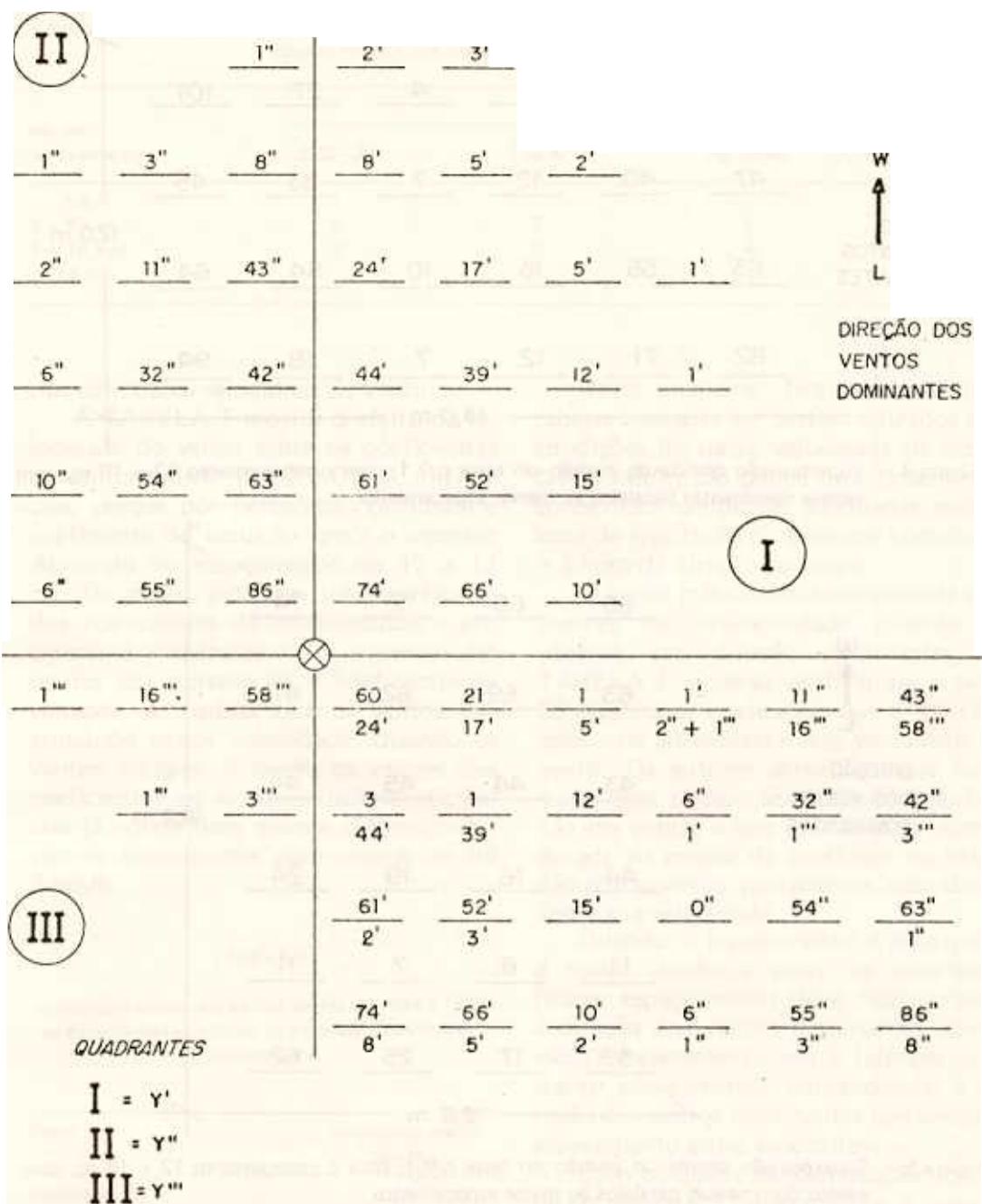


Figura 3 — Processo de superposição, para o espaçamento de 12 x 18 m com direção do vento paralelo ao menor espaçamento.

sentir com maior intensidade nas partículas d'água de menor diâmetro, que são mais susceptíveis a carreamento e evaporação (Frost & Schuwalen, 1955).

As perdas também provocam diminuição do diâmetro molhado, causando portanto, influência negativa na unifor-

midade de distribuição e diminuem, consideravelmente, a lâmina média de água que chega ao solo.

Para demonstrar tais afirmações fez-se um estudo com os 16 testes realizados com o aspersor Top A. Como os ensaios foram realizados em dois horários distin-

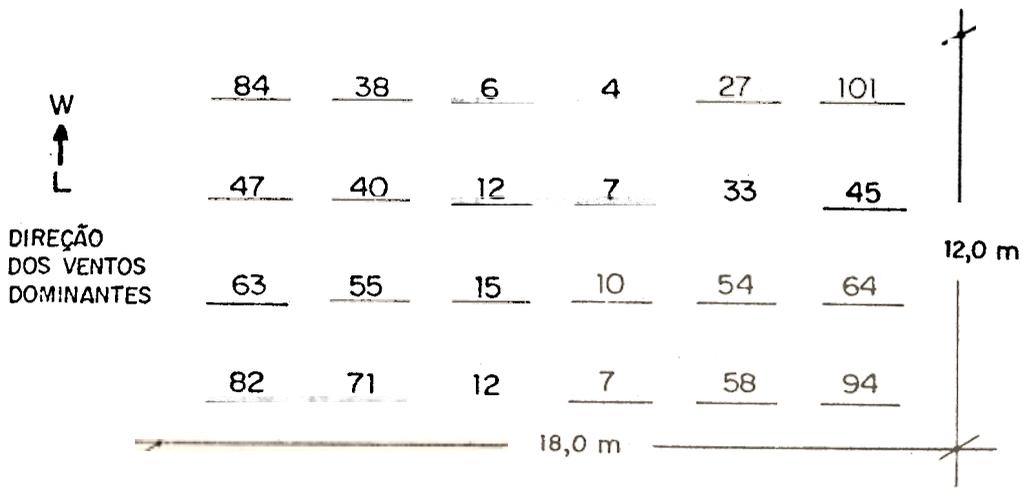


Figura 4 – Superposição obtida do padrão do teste n.º 1, para o espaçamento 12 x 18 m, com ventos dominantes paralelos ao menor espaçamento.

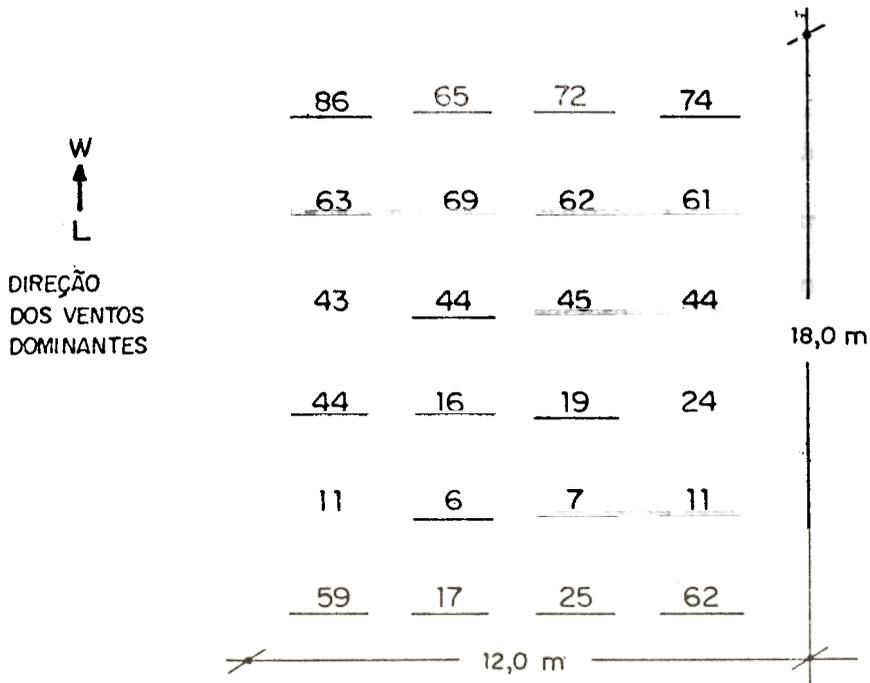


Figura 5 – Superposição obtida do padrão do teste n.º 1, para o espaçamento 12 x 18 m, com ventos dominantes paralelos ao maior espaçamento.

TABELA 8

Efeito da direção do vento na distribuição da água:

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

tos, um deles iniciando entre 6: 00 e 7: 30 h (geralmente menor velocidade do vento, menor temperatura e maior umidade relativa) e outro horário iniciando entre 7: 30 e 8: 30 h (geralmente menor umidade relativa, maior temperatura e maior velocidade do vento), formaram-se dois grupos de resultados que podem ser comparados na TABELA 9 (espaçamento 12 x 12 m).

A TABELA 9 mostra que as médias de precipitação obtidas no segundo horário (7: 30 às 8: 30 h). Considerando que o aspersor utilizado foi o mesmo e a pressão de serviço foi mantida constante (2,5 kgf/cm²), nos dois horários, os menores valores de precipitações médias coletados no segundo horário (7: 30 às 8: 30 h), devem ser atribuídos às maiores perdas por evaporação e carreamento.

Os resultados parecem demonstrar, que seria bastante vantajoso do ponto de vista da adequacidade e eficiência, que a irrigação por aspersão, no local em estudo, fosse realizada antes da 8: 30 h da manhã, horário em que as condições climáticas não são muito adversas.

CONCLUSÕES

- Para as condições estudadas (Vale do Curu), obtém-se melhor qualidade da irrigação por aspersão, quando se considera espaçamento da lateral como sendo 50% do diâmetro molhado do aspersor.
- Todos os aspersores testados apresentaram uniformidade elevada no espaçamento de 12 x 12 m, quando as condições climáticas o permitem. Todos eles diminuem o coeficiente de uniformidade quando aumenta o espaçamento e/ou a velocidade do vento. O aspersor de maior diâmetro molhado apresenta melhor coeficiente de uniformidade, para condições semelhantes.
- A direção e a velocidade do vento devem ser consideradas na análise da qualidade da irrigação por aspersão. As tabelas elaboradas com base em

TABELA 9

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

Data	Horário das 06: 00 — 07: 30 h					Horário das 07: 30 — 08: 30 h				
	Precipitação Média (\bar{y})	Coeficiente de Variação (s/\bar{y})	Velocidade do Vento (km/h)	Ea(%)	CUC(%)	Precipitação Média (\bar{y})	Coeficiente de Variação (s/\bar{y})	Velocidade do vento (km/h)	Ea(%)	CUC(%)
07/12/81			13,9	87,85	74,83	56,063	0,346	17,5	86,94	72,49
08/12/81			4,8	91,50	81,61	57,000	0,243	11,6	90,49	79,17
09/12/81			9,9	91,55	82,29	55,750	0,295	16,7	88,49	74,44
10/12/81			12,6	88,47	74,61	56,313	0,322	16,7	87,37	73,18
11/12/81			1,5	97,37	94,80	58,625	0,267	15,5	89,63	77,69
14/12/81			11,5	93,09	85,63	53,125	0,370	17,7	85,96	70,79
15/12/81			4,5	97,10	73,71	63,125	0,244	11,4	90,50	78,42
16/12/81			18,0	87,58	74,52	60,688	0,291	16,2	89,01	77,10

testes de baixa velocidade do vento (até 3 km/h), são pouco funcionais e não apresentam condições adequadas para o local do presente estudo. Os efeitos destes fatores devem ser estudados com maiores detalhes.

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

Os valores de CUC, CUH e CUL, podem ser usados, indistintamente.

Seria recomendável, para confirmação dos resultados, que fossem realizados estudos considerando outros aspersores, diferentes pressões de serviço e alturas de haste.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao Convênio "Dessalinização" — CNPq/UFC/FCPC, pelo financiamento dos trabalhos de campo.

SUMMARY

The objective of this work was to study the water distribution pattern of 4 different sprinklers, as well as, to assess the main factors affecting the efficiency and uniformity of water distribution in sprinkler irrigation. The results of 64 field trials showed that: — better irrigation quality is obtained when lateral spacing is 50% of the diameter of throw; —

wind speed and direction must be taken into account in the analysis of sprinkler irrigation quality; — in order to get good efficiency and adequacy, sprinklers should be run before 8:00 AM, for the conditions of Vale do Curu, CE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE. *Procedure for sprinkler distribution testing for mearch purpose*. Agricultural Engineers Year-book, 1975. p. 564-9.
- AGARWAL, M.C. & AGARWAL, S. *Effect of wind velocity on Distribution Efficiency from twin Nozzle sprinklers*. Department of Soil, Haryana Agricultural University Hissar, 1977. p. 11 - 3.
- BATPISTELLA, J. R. *et alii*. Uniformidade de Aspersão — Avaliação da Eficiência de Aplicação e de Armazenamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 5, São Paulo, 1981. *Anais*. . . São Paulo, 1981. p. 354-91.
- CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by Sprinkling*. Berkeley, University of California Experiment Station. 1942. 124 p. (Bull., 670).
- , *The Uniformity of Application of water by sprinkler Systems*. Agricultural Engineering, 1941. p. 89-92.
- FROST., K. R. & SCHWALEN. *Evaporation During Sprinkler Irrigation*. Transactions of the ASAE, 1960. p. 18 - 24.
- GOMIDE, Reinaldo Lúcio. *Determinação e Análise da Uniformidade de Distribuição da Água no Sistema de Irrigação por Aspersão*. Viçosa, UFC, M.G. Imprensa Universitária, 1978. 87p.
- OLITTA, Antonio Fernando Lordelo. *Os Métodos de Irrigação*. São Paulo, Nobel, 1978, 26 p.
- RIBEIRO, J. Mauro. *Avaliação do Sistema de Irrigação por Aspersão Através do Modelo Linear*. Dissertação como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola - UFC. Fortaleza, 1982. 89p.
- SHULL, H. & DYLLA, A. S. *Wind effects on water application patterns from a large single nozzle sprinkler*. Transactions of the ASAE, 1976. 4 p.