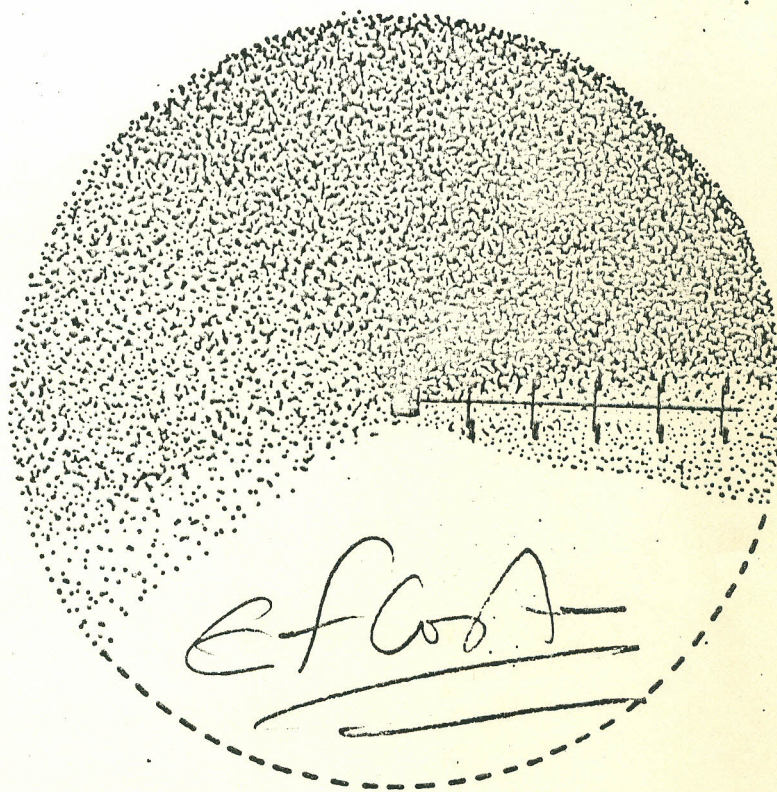
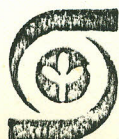


# VI Curso de Uso e Manejo de Irrigação



00731



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Vinculada ao Ministério da Agricultura  
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS  
35700 Sete Lagoas - MG

# IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Enio Fernandes da Costa  
Ricardo A.L. Brito  
Pesquisadores da EMBRAPA

## 1. CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA

A irrigação por aspersão caracteriza-se basicamente como um método pressurizado, onde a aplicação de água se dá por meio de dispositivo denominado aspensor, o qual consiste, em princípio, de um orifício dotado de bocal, por onde a água é lançada, sob pressão, ao ar livre, indo atingir a superfície do solo ou planta. A água deixa o aspensor na forma de um jato, que se desfaz em gotas ao sofrer a resistência do ar.

O tamanho das gotas reveste-se de importância por dois motivos principais. Primeiro, porque a presença de gotas grandes (>2,0 mm) pode causar quebra da estrutura da superfície do solo, reduzindo ou até impedindo a infiltração. Segundo, porque essas mesmas gotas, em alguns casos, podem danificar as plantas, derubando flores ou rasgando folhas. O tamanho das gotas depende da pressão no aspensor.

O aspensor pode ser fixo ou giratório, sendo este último mais comum. Pode ser também estacionário, ou dotado de movimento, tanto intermitente como contínuo, caracterizando os vários sistemas existentes.

A relativa flexibilidade do método, adaptável para vários tipos de solos e culturas, associada ao interesse comercial, tem impulsionado a sua difusão em todos os países onde a agricultura irrigada é expressiva, havendo poucas exceções. Essa tendência é observada também no Brasil, onde os programas de irrigação atuais (PRONI e PROINE principalmente), com meta global de 3.000.000 ha irrigados, preveem a ocupação de cerca de 75% dessa área com sistemas de aspersão. Na região Sudeste, de um total estimado, até 1986, de 477.000 ha irrigados, aproximadamente 58%,

ou 278.000 ha usam a aspersão.

Os sistemas mais comuns são o sistema com laterais portáteis, o autopropelido e o pivô central.

### 1.1. Sistema com Laterais Portáteis

Este sistema, frequentemente denominado "Convencional", caracteriza-se pela presença de uma ou mais linhas, compostas de tubos que se acoplam mediante conexões de fácil manejo ("engate rápido"), contendo vários aspersores a intervalos iguais. Essas linhas, chamadas Laterais, são deslocadas manualmente, em períodos de tempo pré-estabelecidos, ocupando posições sucessivas, para promover a irrigação de uma faixa de terreno, cuja área depende do comprimento da lateral e do número de posições ocupadas dentro do intervalo entre irrigações ("turno de rega").

Por serem usualmente transportadas, pela mão do homem, são geralmente leves, com diâmetro de até 75 ou 100 mm, no máximo, dependendo do material (PVC rígido, alumínio, ou aço zincado). Por isso são linhas portáteis. É talvez o sistema mais usado, sendo mais encontrado com aspersores pequenos e médios, embora não necessariamente.

### 1.2. Sistema Autopropelido

Como insinua o próprio nome, trata-se de um sistema móvel, cujo deslocamento é contínuo e linear, impulsionado por mecanismo de propulsão geralmente hidráulico, acoplado à própria unidade de aspersão. Esta unidade de aspersão consiste de um aspersor tipo "canhão", o qual é deslocado por meio de um cabo, preso a um ponto de fixação, cuja outra extremidade é gradualmente enrolada em um guincho, anexo à unidade móvel, acionado pelo mecanismo de propulsão. A velocidade de deslocamento é regulável.

A alimentação do aspersor se dá através de mangueira flexível, ligada à rede de distribuição por uma extremidade, sendo a outra conectada à unidade móvel, que a arrasta, na medida em que se movimenta. Tal dispositivo propicia a irrigação de uma faixa do terreno, com largura proporcional ao alcance do aspersor e comprimento variando de acordo com a velocidade de deslocamento e o número de horas trabalhadas por dia.

### 1.3. Sistema Pivô Central

A exemplo do autopropelido, este também é um sistema móvel contínuo. Entretanto, trata-se de uma linha lateral móvel (ao invés de apenas um aspersor), com deslocamento angular (circular). Esta lateral contém vários aspersores e tem uma extremidade presa a um ponto central, em torno do qual gira. A sustentação e movimento da tubulação é feita mediante estruturas metálicas, chamadas "torres", dotadas de rodas e mecanismo de propulsão, localizadas a intervalos fixos (geralmente em torno de 45 m) do comprimento da linha. A velocidade também é regulável.

Este sistema tem a peculiaridade de usar uma linha lateral para irrigar em círculo, o que significa que um aumento linear no comprimento implica em aumento exponencial (quadrático) da área irrigada. Tal característica requer critérios especiais quanto à distribuição e vazão dos aspersores, para atender as exigências de uniformidade na aplicação da água.

## 2. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ASPERSÃO

A característica operacional do aspersor, emitindo um jato que se atomiza, resulta na aplicação de uma quantidade de água ao solo/planta que varia na medida em que aumenta a distância a partir do aspersor. Isso gera a necessidade de sobreposição entre aspersores vizinhos, ou posições adjacentes, para propiciar a aplicação de uma lâmina mais uniforme (Ver Figura ).

Outro aspecto relevante é o fato de a água ter de atravessar um espaço aéreo antes de atingir seu alvo, ficando portanto exposta às condições de ventos e evaporação, ambos causadores de perdas de água. A evaporação é diretamente afetada pela umidade relativa e temperatura do ar.

Além disso, a água que se infiltra no solo não será na mesma quantidade em todos os pontos, uma vez que a distribuição espacial não é perfeitamente uniforme. Conseqüentemente o volume armazenado na zona radicular deverá diferir do volume total infiltrado, pois nos pontos que receberam maiores lâminas haverá perdas por percolação profunda.

Todos esses fatores contribuem para uma melhor ou pior performance do sistema de irrigação utilizado, afetando assim a eficiência global da irrigação.

No manejo de um sistema de irrigação é necessário o conhecimento do desempenho através dos parâmetros de eficiência, em que o mesmo está operando, tais como: eficiência de aplicação ( $E_a$ ), uniformidade de distribuição ( $UD$ ), eficiência de armazenamento ( $E_s$ ), perdas por percolação profunda ( $D_p$ ) e eficiência de irrigação ( $E_i$ ). A tendência atual na pesquisa é ajustar a distribuição de água obtida no teste de uniformidade de um aspersor a uma função matemática e desenvolver um modelo matemático que venha estabelecer os parâmetros que determinam o desempenho do sistema. As etapas geralmente seguidas na avaliação são:

- . Desenvolvimento, no campo, de um teste de uniformidade de aplicação d'água por aspersão.

- . Cálculo da uniformidade de aplicação,  $UD$  e  $CU$

- . Eficiência de aplicação,  $E_a$

## 2.1. Parâmetros de Avaliação

O termo Eficiência exprime qual proporção da água aplicada ou conduzida que é efetivamente aproveitada pela planta, ou seja, descontadas as perdas (evaporação, efeito de ventos, percolação profunda), que fração da água ficará armazenada na zona radicular.

A Uniformidade, por sua vez, expressa a "homogeneidade" havida na aplicação da água, isto é, até que grau as quantidades (lâminas) d'água aplicadas nos vários pontos da área irrigada diferem da média. No caso da aspersão, a medida da Uniformidade reflete a distorção ocorrida no momento da aplicação, geralmente ocasionada por ventos, pelas características do aspersor e condições de operação.

### 2.1.1. Eficiência de Aplicação

A água aplicada pelo aspersor não atinge, na sua totalidade, o solo. Uma parte é perdida por evaporação e pela ação dos ventos. Da lâmina que atinge o solo, se a irrigação não for bem dimensionada e conduzida, pode-se perder mais uma fração por per

colação profunda, ou até mesmo por escoamento superficial.

As perdas por evaporação e efeito de ventos podem ser facilmente estimadas por meio de testes de campo, enquanto as outras são mais difíceis de determinar.

A eficiência de aplicação, tradicionalmente, estima portanto a fração porcentual da água aplicada pelo aspersor que efetivamente atinge o solo, ou as plantas, não computando as outras perdas mencionadas. A estimativa é obtida pela fórmula:

$$E_a = \frac{\bar{H}_{col}}{\bar{H}_{ap}} 100 \quad [1]$$

onde:

$E_a$  = eficiência de aplicação (%)

$\bar{H}_{col}$  = lâmina média coletada, após sobreposição (mm ou  $cm^3$ )

$\bar{H}_{ap}$  = lâmina média aplicada pelo aspersor, considerando-se a sobreposição (mm ou  $cm^3$ )

A lâmina média coletada é obtida após o teste de campo, enquanto a lâmina média aplicada pelo aspersor é estimada a partir de:

$$*\bar{H}_{ap} = \frac{1000 Q}{E_1 \times E_2} \quad [2]$$

sendo:  $*\bar{H}_{ap}$  = precipitação média do aspersor, mm/h

$Q$  = vazão do aspersor ( $m^3/h$ )

$E_1$  = espaçamento entre aspersores, na lateral (m)

$E_2$  = espaçamento entre laterais (m)

### 2.1.2. Uniformidade de Distribuição

A equação mais difundida para estimar a uniformidade na distribuição de água pelos aspersores é a de Christiansen (1942), que se baseia nos desvios das lâminas nos vários pontos em relação à lâmina média, ou seja:

$$\text{Coeficiente de Uniformidade, CU} = \left(1 - \frac{\text{desvio médio da lâmina média}}{\text{lâmina média}}\right) 100$$

Cuja representação matemática é:

$$CU = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right] 100 \quad [3]$$

onde:

CU = coef. de Uniformidade, em %

$X_i$  = lâmina coletada em cada ponto, mm ou ml

$\bar{X}$  = lâmina média obtida de todos os pontos, mm ou ml

n = número de pontos coletados.

O valor mínimo recomendável para CU é de 80%.

O Serviço de Conservação de Solos dos EUA propôs outra fórmula, onde maior ênfase é dada aos pontos da área que recebem lâmina inferior à média. Neste método, seleciona-se as menores lâminas coletadas que representem 1/4 (25%) de todas as leituras, para entrar na fórmula:

$$\text{Uniformidade de Distribuição, UD} = \frac{\text{Média das 25\% menores lâminas}}{\text{lâmina média coletada}} 100$$

também representada como:

$$UD = \frac{\bar{X}_m}{\bar{X}} 100 \quad [4]$$

onde:

UD = uniformidade de distribuição, em %

$\bar{X}_m$  = média das 25% menores lâminas, em mm ou ml

$\bar{X}$  = lâmina média coletada, mm ou ml

Wilcox e Swailes propuseram a determinação de um coeficiente de Uniformidade considerando que a variação das lâminas ao redor da média obedece a uma distribuição normal, ou de Gauss. A fórmula resultante assemelha-se à de Christiansen, porém baseada no desvio padrão, sendo portanto um coeficiente estatístico:

$$CUE = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1) \bar{X}^2}} \right] = 100 \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) = 100 - CV \quad [5]$$

onde S é o desvio padrão das observações e CV o coeficiente de variação.

Hart (1961) chegou a uma equação semelhante à eq. [3], usando a fórmula:

$$CUH = \left[ 1 - \sqrt{\frac{2}{1} \frac{S}{\bar{X}}} \right] 100 \quad [6]$$

que resulta numericamente em:

$$CUH = \left[ 1 - 0,798 \frac{S}{\bar{X}} \right] 100 \quad [6a]$$

O manejo das laterais, na prática, é geralmente feito conectando-se os ramais nos mesmos pontos da linha principal, em cada passagem. Entretanto, uma alternativa para melhorar a uniformidade seria alternar a posição das laterais, conectando-as numa posição intermediária na irrigação seguinte, na tentativa de compensar as distorções que ocorrem na distribuição. Caso essa alternativa seja adotada, o coeficiente de uniformidade poderá ser corrigido a partir do Coeficiente de Christiansen, de acordo com a fórmula:

$$CU_{alt} = 10 \sqrt{CU} \quad [7]$$

Ainda utilizando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, pode-se obter algumas estimativas com respeito às lâminas máxima e mínima que ocorrerão. Estima-se, por exemplo, que cerca de 79% da área irrigada (após sobreposição) receberão uma lâmina igual ou maior que Y, sendo:

$$Y = P \cdot t_i \cdot \frac{CU}{100} \quad [8]$$

onde:

Y = lâmina igualada ou superada em 79% da área

P = intensidade média de precipitação

t<sub>i</sub> = tempo de irrigação, por posição



Pode-se também estimar as lâminas máxima ( $Y_{max}$ ) e mínima ( $Y_{min}$ ) que, em média, serão aplicadas, através das equações:

$$Y_{max} = P \cdot t_i \cdot \left( 3 - 2 \frac{CU}{100} \right) \quad [9]$$

$$Y_{min} = P \cdot t_i \cdot \left( 2 \frac{CU}{100} - 1 \right) \quad [10]$$

## 2.2. Teste de Campo

O método de avaliação aqui apresentado é para ser usado em teste de campo com aspersores rotativos, com padrão de distribuição "cônico", que depende de superposição para se obter uma boa uniformidade de distribuição. A idéia é coletar dados de um aspersor individual, representativo do tipo a ser empregado na irrigação, procedendo-se posteriormente às sobreposições para o(s) espaçamento(s) desejado(s).

As seguintes determinações devem ser feitas:

- a) Pressão no(s) bocal(is) do(s) aspersor(es), no local do teste
- b) Vazão do(s) aspersor(es) testado(s)
- c) Lâmina coletada em cada coletor
- d) Duração do teste.

De posse dessas medições, serão calculados os seguintes parâmetros de avaliação:

- a) Eficiência de aplicação
- b) Uniformidade de distribuição (coeficientes de uniformidade)
- c) Perdas por evaporação e efeito de ventos.

O equipamento geralmente utilizado consiste de:

- . Manômetro (0 - 10 atm) com tubo de pitot
- . Cronômetro, ou relógio com marcação de segundos
- . Balde (10 litros)
- . Cilindro graduado, ou proveta (1000 ml)
- . Dois pedaços de mangueira, diâmetro de 3/4" (18 mm), com 1,50 m de comprimento cada.

- . Trena de 10 m, com divisões
- . Coletores (número conforme alcance do aspersor)
- . Formulários para anotações.

### 2.2.1. Procedimento no Campo

a) Escolha do local do teste - O terreno deve ser plano e aberto o suficiente para não conter obstáculos à trajetória do jato, em todo o seu alcance. Preferencialmente, a área deve estar livre ou protegida contra ventos, porém, algum vento costuma ocorrer, desde que não seja forte.

b) Colocação dos coletores - Deve obedecer um padrão simétrico, com espaçamento de 3 m x 3 m entre coletores, formando "quadrículas", em cujo centro se encontra cada coletor. Os coletores, ou pluviômetros devem cobrir toda a área molhada pelo aspersor em estudo, tendo suas bordas superiores paralelas à superfície do solo.

c) Correção da evaporação - Deve-se colocar um volume conhecido de água em um coletor à parte, e deixá-lo nas proximidades da área em teste, para medir a evaporação ocorrida durante o teste.

d) Caracterização do aspersor - Deve-se conferir e anotar as especificações do aspersor a ser testado: modelo, diâmetro do bocal, pressão de serviço, velocidade de rotação, altura do tubo de subida, diâmetro da lateral.

e) Operação do aspersor - A válvula da linha lateral, deve ser aberta vagarosamente, proporcionando uma elevação gradual da pressão (e vazão) na linha. Antes da abertura da válvula, é recomendável que a mangueira esteja encaixada no(s) bocal(is) do aspersor, devidamente mantida nessa posição, para evitar que alguma quantidade d'água seja lançada aos pluviômetros antes do início do teste.

f) Medição de vazão no aspersor - Deve-se medir a vazão no(s) bocal(is) do aspersor, utilizando-se as mangueiras e os baldes, aplicando-se determinado volume e conferindo o intervalo de tempo com o cronômetro. Antes de medir a vazão, deve-se

ler a pressão no aspersor, através do manômetro.

g) Duração do teste - Anotar precisamente o momento do início do teste (hora e minutos) e o momento do término. De preferência, o término do teste deveria ocorrer com o aspersor na mesma posição em que se encontrava no início do teste. A duração do teste não deve ser inferior a uma hora.

h) Observações complementares - Deve-se registrar as condições climáticas predominantes durante o teste: velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa.

i) Coleta da água - Coletar e medir, com precisão, os volumes de água depositados em cada coletor, anotando-os.

Após conduzido o teste, são feitas as sobreposições das leituras, para o(s) espaçamento(s) desejado(s). Para o trabalho de campo é comum utilizar-se um formulário e esquema, mostrados no Quadro 1.

A seguir, apresenta-se um Exemplo de Teste de Campo, com os respectivos cálculos.



2.3. Exemplo de Teste de Campo

Os dados apresentados abaixo são provenientes de um teste conduzido no campo, com os seguintes resultados:

Local: EMBRAPA, Sete Lagoas-MG


Data: 23.09.86

Aspersor: XPTO. Modelo: YZ Bocal: 4,0 x 5,0 mm

Pressão: 3,5 atm Vazão: 3,85 m<sup>3</sup>/h Duração: 1,5 h

As leituras obtidas, em volume (cm<sup>3</sup>), foram as seguintes:

	A B		C D		E F		G H		I J		K L		M N		O P	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	5	8	13	8	4	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	6	21	35	42	35	23	11	0	0	0
7	0	0	0	0	0	4	23	45	64	76	69	48	26	7	1	0
8	0	0	0	0	0	10	36	56	62	68	73	56	38	10	2	0
9	0	0	0	0	0	13	46	69	66	68	72	63	47	15	0	0
10	0	0	0	0	0	5	40	80	90	76	66	62	41	11	0	0
11	0	0	0	0	0	0	19	50	66	63	56	38	29	7	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	15	32	35	32	26	11	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	3	7	12	10	7	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

G6 

Após as sobreposições, para um espaçamento de 18 m x 18 m, os valores foram:

	P	B	C	D	E	F
1	66	68	72	76	93	84
2	90	76	66	67	81	91
3	74	76	64	42	48	62
4	67	77	67	49	29	36
5	71	88	79	59	49	55
6	62	68	73	66	74	66

Os valores acima foram obtidos seguindo-se a sequência dos quadrantes para fazer a acumulação em cada ponto.

Antes de determinar os parâmetros de avaliação, é conveniente dispor os dados conforme o Quadro 1, onde se determina os desvios e a média, além dos quadrados dos desvios.

QUADRO 1. Tabulação dos dados.

Precipitação $x_1$ a $x_n$	Média $\bar{X}$	Desvio $(x-\bar{X})$	Desvio 2 $(x-\bar{X})^2$
66		1,53	2,34
90		22,47	504,90
74		6,47	41,86
67		0,53	0,28
71		3,47	12,04
62		5,53	30,58
68		0,47	0,22
76		8,47	71,74
76		8,47	71,74
77		9,47	89,68
88		20,47	419,02
68		0,47	0,22
72		4,47	19,98
66		1,53	2,34
64		3,53	12,46
67		0,53	0,28
79		11,47	131,56
73		5,47	29,92
76	67,53	8,47	71,74
67		0,53	0,28
42		25,53	651,78
49		18,53	343,36
59		8,53	72,76
66		1,53	2,34
93		25,47	648,72
81		13,47	181,44
48		19,53	381,42
29		38,53	1484,56
49		18,53	343,36
74		6,47	41,86
84		16,47	271,26
91		23,47	550,84
62		5,53	30,58
36		31,53	994,14
55		12,53	157,00
66		1,53	2,34
Soma 2431		391,0	7670,94

A média geral é 67,53.

Os 25% (9 valores) menores são:

29, 36, 42, 48, 49, 49, 55, 59, 62, cuja média é 47,57.

Os parâmetros de avaliação calculados são:

a) Eficiência de Aplicação

$$\bar{H}_{ap} = \frac{1000 \times 3,85}{18 \times 18} = 11,88 \text{ mm/h ou } 17,32 \text{ mm em } 1,5 \text{ h}$$

Para determinar-se a lâmina média coletada, é necessário saber o diâmetro médio do coletor e então transformar o volume médio (67,78 cm<sup>3</sup>) em lâmina. Sendo o referido diâmetro igual a 8,6cm, a lâmina média coletada será:

$$\bar{H}_{col} = \frac{4 (67,53)}{\pi (8,6)^2} = 1,163 \text{ cm ou } 11,63 \text{ mm}$$

Assim, a eficiência de aplicação é:

$$E_a = \frac{11,63}{17,82} \cdot 100 = 65,26\%$$

b) Coefficientes de Uniformidade

. Christiansen:

$$CU = 100 \left[ 1 - \frac{391}{36 \times 67,53} \right] = 83,92\%$$

. Serviço de Conservação de Solos, EUA:

$$\bar{X} = 429/9 = 47,67$$

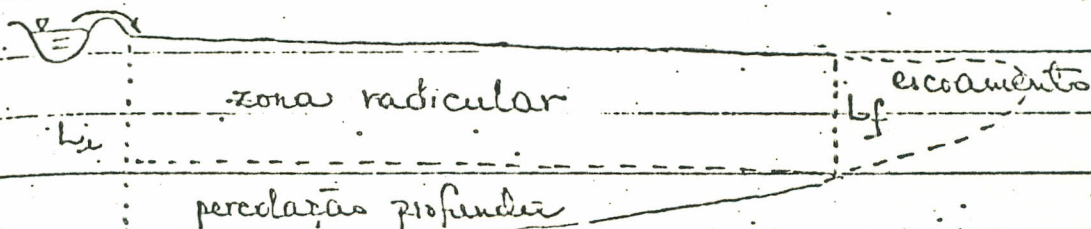
$$UD = \frac{47,67}{67,53} \cdot 100 = 70,60\%$$



# EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

## MÉTODO GRAVITACIONAL (SUPERFICIAL)

### SULCOS



Eficiência de Condução: relacionada a perda entre captação e chegada na parcela de irrigação. Importante quando a distância entre captação e parcela é grande.

Eficiência de Distribuição: uniformidade de infiltração ao longo do sulco. Espera-se  $E_d > 70\%$ .

$$E_d = \frac{L_f}{(L_r + L_f)/2} \cdot 100$$

Eficiência de Aplicação ( $E_a$ ): % da água aplicada na parcela que é utilizada por a cultura (zona radicular). É a mais importante do ponto de vista do manejo e deve ser superior a 60%.

$$E_a = \frac{L_f}{L_m} \cdot 100$$

$L_m$  = lam. média aplic

$$L_m = \frac{q \cdot t_i}{L \cdot E}$$

$q$  = vazão

$t_i$  = tempo total de irrigação

$L$  = comprimento sulco

$E$  = faixa úmida (ou espaçament.)

Qdo.  $q = l/s$  e  $t_i = hrs.$  :

$L$  e  $E$  em metros.

$$L_{ii} = \frac{q \cdot t_i}{L \times E} \times 3600 \text{ (mm)}$$

Qdo.  $q = l/s$  e  $t_i = min$  :

$$L_{ii} = \frac{q \cdot t_i}{L \times E} \times 60 \text{ (mm)}$$

Qdo. há redução de vazão :

$$L_{ii} = \frac{q_i \cdot t_0 + (t_i - t_0) q_r}{L \times E}$$

$t_0$  = tempo em que houve a redução  
 $q_r$  = vazão reduzida.

Perdas : - Percolações,  $P_p$   
- Esvaziamento,  $P_{esc}$

$$P_p = \frac{L_p}{L_{ii}} \cdot 100$$

$$L_p = \frac{L_i - L_f}{2}$$

$$P_{esc} = \frac{L_r}{L_{ii}}$$

$L_r$  = difícil de determinar.

$$P_{esc} = 100 - E_a - P_p$$

Willardson & Bishop (1967) :

$$P_p = \frac{(R+1)^n - R^n}{(R+1)^n + R^n} \cdot 100$$

$n$  = expoente das equações de  $I = kt^n$  (no caso,  $n = 0,6$ )

$$R = \frac{t_f}{t_a} \text{ (Bishop, 1961)}$$

$$P_{esc} = \left( \frac{t_f}{t_f + t_a} \right) \frac{q_{esc}}{q_i} \cdot 100 \text{ (difícil de determinar)}$$

$$E_a = \left[ 1 - \left( \frac{t_f}{t_f + t_a} \right) \frac{q_{esc}}{q_i} - \frac{(R+1)^n - R^n}{(R+1)^n + R^n} \right] \cdot 100$$

## EXEMPLO: Irrigação por Sulcos

$$I = 1,34 \cdot t^{0,6} \quad I \text{ (mm)} \text{ e } t \text{ (minutos)}$$

Comp. sulco,  $L = 100 \text{ m}$  Tempo de avanço,  $t_a = 35 \text{ min}$

Lâmina líquida necessária,  $L_f = 40 \text{ mm}$

Faixa unedecida (ou espaçamento),  $E = 0,90 \text{ m}$

Vazão inicial no sulco,  $q_i = 1,0 \text{ l/s}$

Tempo necessário p/ aplicação da lâmina no final,  $t_f$

$$t_f = \left( \frac{I}{1,34} \right)^{1/0,6} = \left( \frac{40}{1,34} \right)^{1/0,6} = 287 \text{ min}$$

Tempo total de irrigação,  $t_i = t_f + t_a = 287 + 35 = 322 \text{ min}$   
 $= 5 \text{ h } 20 \text{ min}$

Lâmina média aplicada,  $L_m$

$$L_m = \frac{q \times t_i \cdot 60}{L \times E} = \frac{1,0 \text{ l/s} \times 322 \text{ min} \cdot 60}{100 \text{ m} \times 0,9 \text{ m}} = 215 \text{ mm}$$

$$\text{Eficiência de Aplicação, } E_a = \frac{L_f}{L_m} \cdot 100 = \frac{40}{215} \cdot 100 = 18,6\%$$

(Muito baixa)

Ⓐ c/ redução de vazão p/  $0,5 \text{ l/s}$ , 10 minutos após a água atingir o final do sulco:

vazão inicial ( $1,0 \text{ l/s}$ ) durante  $35 + 10 = 45 \text{ min}$

vazão reduzida ( $0,5 \text{ l/s}$ ) durante  $322 - 45 = 277 \text{ min}$

$$L_m = \frac{1,0 \times 45 + (322 - 45) \times 0,5}{100 \times 0,9} \times 60 = 122 \text{ mm}$$

$$E_a = \frac{40}{122} \cdot 100 = 32,8\% \quad (\text{aumento } 76\%) \quad \text{Baixa}$$

(B) c/ redução p/ 0,4 l/s, quando a água atinge o final do sulco:

Vazão inicial durante 35 min ( $t_a$ )

Vazão reduzida (0,4 l/s) durante 287 min

$$L_m = \frac{1,0 \times 35 + (322 - 35) \times 0,4}{100 \times 0,9} \times 60 = 100 \text{ mm}$$

$$E_a = \frac{40}{100} = 40\% \text{ (aumentou 115\%)} \quad \text{Baixa}$$

OBS.: A eficiência continua baixa. Outras alternativas poderiam ser uso de mais reduções ou "spiles", ou aumento de comprimento do sulco. Ou uma combinação de ambos.

Pêda por Percolação,  $P_p$

$$P_p = \frac{L_p}{L_m} \cdot 100 \quad L_p = \frac{L_i - L_f}{2} \quad (\text{padrão triangular})$$

$$L_i (t = 322 \text{ min}) \rightarrow I = 1,34 (322)^{0,6} = 42,8 \text{ mm}$$

$$L_p = \frac{42,8 - 40}{2} = 1,4 \text{ mm} \quad P_p = \frac{1,4}{100} \cdot 100 = 1,4\%$$

$$P_{esc} = 100 - E_a - P_p = 57,2\% \text{ (Excesso)}$$

(C) Aumento no comprimento do sulco p/  $L = 200 \text{ m}$

$t_a = 90 \text{ min}$        $t_i = 287 + 90 = 377 \text{ min}$

Redução da vazão p/ 0,5 l/s aos 90 min:

$$L_m = \frac{1,0 \times 90 + (377 - 90) \times 0,5}{200 \times 0,9} \times 60 = 77,8 \text{ mm}$$

$$E_{\alpha} = \frac{40}{77,8} \cdot 100 = 51,4\%$$

$$L_i(t=377 \text{ min}) \rightarrow I = 1,34(377)^{0,6} = 47,1 \text{ mm}$$

$$L_p = \frac{47,1 - 40}{2} = 3,5 \text{ mm}$$

$$P_p = \frac{3,5}{77,8} \cdot 100 = 4,5\%$$

$$P_{\text{res}} = 100 - 51,4 - 4,5 = 44,1\%$$

## AVALIACÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM PIVOT CENTRAL

- a) Local: Fazenda Tabuões da FUJIMINAS S/A, AGROPASTORIL, município de Patrocínio (MG); conjunto nº 2 denominado Pivot da "EMA".
- b) Data, Horário e Teste: 26/2/81 ; 11 horas ; 2º teste
- c) Observadores: Juscelino Antonio de Azevedo e Euzébio Medrado da Silva (CPAC/EMBRAPA).
- d) Equipamento:
- Marca: VALMATIC
  - Modelo: 4071 VL-863
  - Comprimento: 589,6 m
  - Nº torres: 15
  - Diâmetro da tubulação: 6 pol.
  - Alcance total: 611,8 m
  - Propulsão: elétrico
- e) Regulagem de velocidade: 100%
- f) Velocidade média de ventos: 14 mph = 6,3 m/s = 22,7 km/h
- g) Temperatura média: 25°C 1 milha = 1,6 km
- h) Pressão:
- No Pivot: 6 kgf/cm<sup>2</sup>
  - No bocal final: 4 kgf/cm<sup>2</sup>
- i) Diâmetro do maior bocal: mm
- j) Cultura: Feijão
- Variedade: Roxinho
  - Condição: campo bem germinado, folhas saudas, ausência de sintomas de deficiência hídrica.
  - Altura média: 10 cm
  - Profundidade de raízes: 10 cm
  - Objetivo: produção de sementes
- k) Solo:
- Classe: Massapê-salmorão
  - Textura: Muito argiloso

- Preparo: bom
- Umidade disponível: 0,96 mm/cm
- Declividade média: %
- Infiltração: 12 mm/h
- Déficit de umidade:
  - próximo ao pivô: mm
  - a 3/4 do pivô: 8,28 mm
  - no final da linha: mm

l) Escorrimento superficial de água:

- a 3/4 do Pivô: não observado
- no final da linha: não observado

m) Velocidade de deslocamento da última torre

$$v = \frac{e}{t} = \frac{20 \text{ m}}{9 \text{ min}} = 2,22 \text{ m/min}$$

n) Espaçamento entre torres

- 1º vão: 40 m
- Vãos intermediários: 38,5 m
- Último vão: 38,6 m

o) Raio até a última torre

$$40 + 13 \times 38,5 + 38,6 = 579,1 \text{ m}$$

p) Tempo para 1 giro completo:

$$t = \frac{e}{v} = \frac{2 \pi R}{v} = \frac{2 \times 3,14 \times 579,1}{2,22} = 1638,2 \text{ min} = 27,3 \text{ horas}$$

q) Largura de molhamento: 25,2 m

r) Tempo de molhamento: 11 min

s) Fluxo de água no sistema:  $270 \text{ m}^3/\text{h} = 75 \text{ l/s}$

t) Área irrigada:

$$S = \pi R^2 = \frac{3,14 \times (611,85)^2}{10.000} = 117,55 \text{ ha}$$

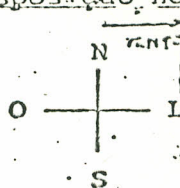
u) Evaporação

- Inicial: 250 ml ; 250 ml
- Final: 248 ml ; 247 ml
- Perda: 2 ml ; 3 ml Média: 2,5 ml = 0,332 mm

v) Coletores:

- unidade de volume: ml
- espaçamento: 5,5 m
- diâmetro: 9,8 cm
- tipo: latas de óleo de 1 litro
- área de captação: 75,391 cm<sup>2</sup>

x) Disposição no campo: (marcar posição da linha lateral, direção de trabalho, diferenças de elevação, manchas secas ou úmidas e direção do vento.)



v) Cálculos:

1) Precipitação média ponderada do sistema (mm)

$$P = \frac{\text{soma de todos os volumes ponderados (ml)}}{\text{soma de todos os números de ordem usados}} = \frac{198340 \text{ ml}}{5836} = 33,98 \text{ ml} = 4,51 \text{ mm}$$

*47.583*

2) Precipitação média ponderada 1/4 menor (mm)

$$p = \frac{\text{soma dos menores volumes ponderados até 1/4 da soma total (ml)}}{\text{soma dos números de ordem correspondentes aos volumes ponderados 1/4 menores}} = \frac{43259 \text{ ml}}{1461} = 29,61 \text{ ml} = 3,93 \text{ mm}$$

3) Uniformidade de distribuição de água (%)

$$U_d = \frac{\text{precipitação média 1/4 menor (mm)}}{\text{precipitação média geral (mm)}} \times 100$$

$$U_d = \frac{p \text{ (mm)}}{P \text{ (mm)}} \times 100 = \frac{3,93}{4,51} \times 100 = 87,1\%$$

4) Precipitação mínima diária (mm/dia)

$$P_{md} = \frac{\text{tempo de operação/dia (horas)} \times p \text{ (mm)}}{\text{tempo de 1 giro completo (horas)}}$$

$$P_{md} = \frac{24 \times 3,93}{27,3} = 3,45 \text{ mm/dia}$$

5) Precipitação média aplicada (mm/giro)

$$P_a = \frac{\text{tempo de 1 giro (horas)} \times \text{vazão medida do sistema (m}^3\text{/h)}}{24 \times \text{área irrigada (ha)}}$$



$$p_a = \frac{27,3 \times 270}{10 \times 117,55} = 6,27 \text{ mm/giro}$$

6) Eficiência de aplicação potencial (%)

$$E_a = \frac{\text{precipitação média 1/4 menor (mm)}}{\text{precipitação média aplicada (mm)}} \times 100$$

$$E_a = \frac{p \text{ (mm)}}{p_a \text{ (mm)}} \times 100 = \frac{3,93}{6,27} \times 100 = 62,7\%$$

7) Precipitação total aplicada (mm/giro)

$P_t = \text{precipitação média do sistema (mm)} + \text{evaporação estimada (mm)}$

$$P_t = P \text{ (mm)} + ev \text{ (mm)}$$

$$P_t = 4,51 + 0,33 = 4,84 \text{ mm/giro}$$

8) Vazão estimada do sistema ( $m^3/h$ )

$$v = \frac{10 \times \text{área irrigada (ha)} \times \text{taxa aplicação total (mm/giro)}}{\text{tempo de 1 giro (horas)}}$$

$$v = \frac{10 \times 117,55 \times 4,84}{27,3} = 208 \text{ m}^3/h$$

9) Eficiência de aplicação potencial estimada (%)

$$E_{a_e} = \frac{\text{precipitação média 1/4 menor (mm)}}{\text{precipitação total aplicada (mm)}} \times 100$$

$$E_{a_e} = \frac{p \text{ (mm)}}{P_t \text{ (mm)}} \times 100 = \frac{3,93}{4,84} \times 100 = 81,2\%$$

10) Precipitação máxima aplicada (mm/h)

$$P_{max} = \frac{75 \times \text{precipitação média geral (mm)}}{\text{tempo de molhamento (min)}}$$

$$P_{max} = \frac{75 \times 4,51}{11} = 30,7 \text{ mm/h}$$

d) Distribuição de água ao longo da lateral (2º teste)

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO (ml)	VOLUME PONDERADO (ml)	VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO (ml)	VOLUME PONDERADO (ml)
1	1			6	36	38	1368
1	2			6	37	36	1332
1	3			6	38	38	1444
1	4			6	39	38	1482
1	5			6	40	37	1480
1	6			6	41	37	1517
1	7			6	42	36	1512
2	8			7	43	35	1505
2	9			7	44	35	1496
2	10			7	45	28	1260
2	11			7	46	32	1472
2	12			7	47	30	1410
2	13			7	48	35	1680
2	14			7	49	33	1617
3	15	24	360	8	50	35	1750
3	16	23	368	8	51	34	1734
3	17	13*	omitido	8	52	32	1664
3	18	17*	omitido	8	53	33	1749
3	19	14*	omitido	8	54	32	1728
3	20	27	540	8	55	38	2090
3	21	40	840	8	56	32	1792
4	22	37	814	9	57	34	1938
4	23	36	828	9	58	33	1914
4	24	32	768	9	59	32	1888
4	25	28	700	9	60	36	2160
4	26	28	728	9	61	33	2013
4	27	30	810	9	62	37	2294
4	28	31	868	9	63	37	2331
5	29	29	841	10	64	37	2368
5	30	29	870	10	65	32	2080
5	31	29	899	10	66	32	2112
5	32	33	1056	10	67	36	2412
5	33	38	1254	10	68	35	2380
5	34	39	1326	10	69	38	2622
5	35	39	1365	10	70	34	2380

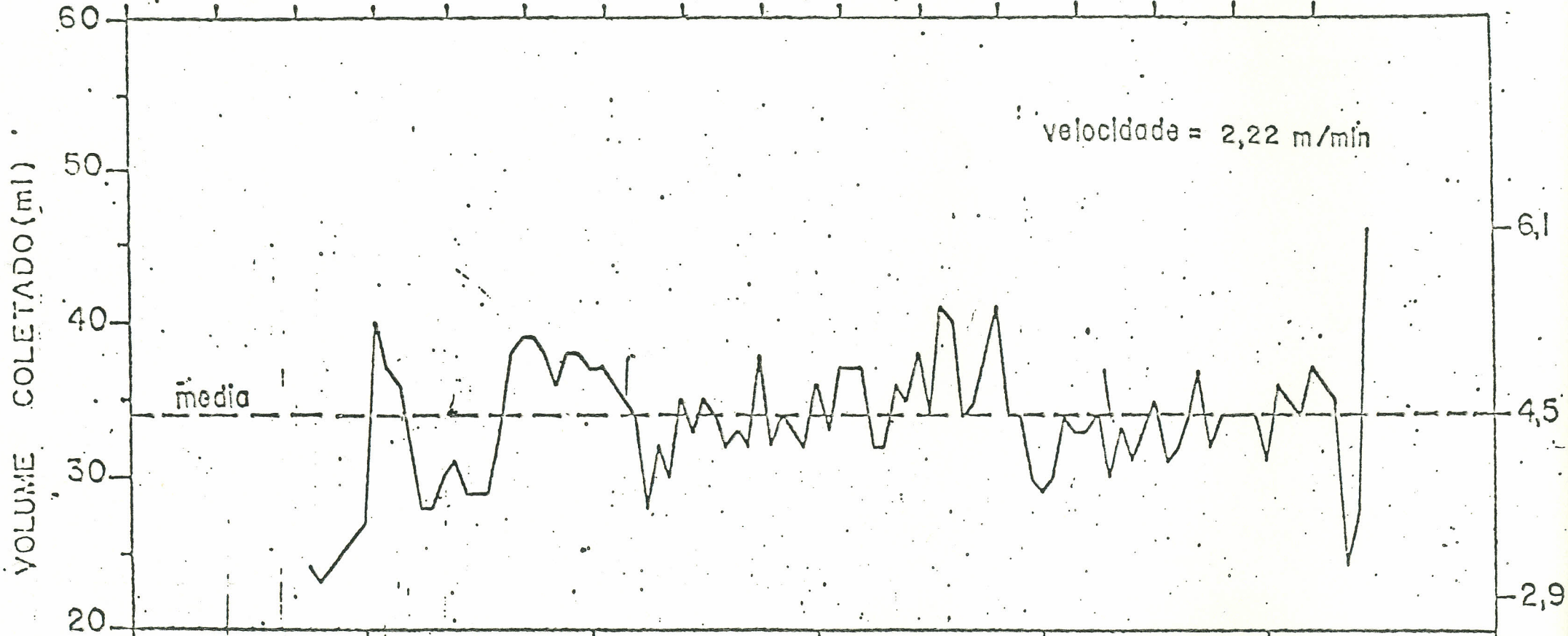
Observações: \*: apesar de não girando.

## .) Distribuição de água ao longo da lateral (Cont.) (2º teste)

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO (ml)	VOLUME PONDERADO (ml)	VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO (ml)	VOLUME PONDERADO (ml)
11	71	41	2911	16	106	35	3710
11	72	40	2880	16	107	24	2568
11	73	34	2482	16	108	28	3024
11	74	35	2590	16	109	46	5014
11	75	38	2850	16	110	19	omitido.
11	76	41	3116	16	111		
11	77	34	2618	16	112		
12	78	34	2652				
12	79	30	2370				
12	80	29	2320				
12	81	30	2430				
12	82	34	2788				
12	83	33	2739				
12	84	33	2772				
13	85	34	2890				
13	86	30	2580				
13	87	33	2871				
13	88	31	2728				
13	89	33	2937				
13	90	35	3150				
13	91	31	2821				
14	92	32	2944				
14	93	34	3162				
14	94	37	3478				
14	95	32	3040				
14	96	34	3264				
14	97	34	3298				
14	98	34	3332				
15	99	34	3366				
15	100	31	3100				
15	101	36	3636				
15	102	35	3570				
15	103	34	3502				
15	104	37	3648				
15	105	36	2780				

VAO ENTRE TORRES

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15



Nº DE ORDEM DO COLETOR  
DISTANCIA DO PIVOT (m)

TABELA 1. Características físico-hídricas (textura, densidade aparente e umidade) de um solo Massapê-Salmorão de Patrocínio (MG) à várias profundidades.

Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia grossa (%)	Classificação textural	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade do solo (% em peso)	
							Área seca	Área umida
0-15	83	08	07	03	Muito argiloso	1,04	29,44	33,04
15-30	82	08	07	03	Muito argiloso	0,89	32,06	34,05
30-45	85	07	07	01	Muito argiloso	-	32,11	-
45-60	83	09	07	01	Muito argiloso	-	-	-

TABELA 2. Teor de unidade do solo (% em peso) retido à diferentes tensões em Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso de Cerrados à várias profundidades (CPAC - dados não publicados).

Tensão (atm)	Profundidade (cm)				
	0-15	15-30	30-45	45-60	0-30
0,06	33,97	34,45	35,58	37,11	34,21
0,08	33,13	31,83	31,03	33,60	32,48
0,10	31,19	30,57	30,28	32,91	30,88
0,33	28,37	27,50	27,71	29,03	27,94
0,70	27,32	26,57	27,01	28,00	26,90
1,00	26,32	25,62	26,14	26,72	25,97
3,00	26,30	25,32	25,02	25,54	25,81
8,00	24,31	23,49	24,67	24,92	23,90
15,00	23,24	23,32	23,49	23,07	23,24

TABELA 3. Parâmetros de avaliação de desempenho de um sistema de irrigação por aspersão com pivot central.

Parâmetros de avaliação	Primeiro teste (50% da velocidade)	Segundo teste (100% da velocidade)
a) Precipitação média geral (mm)	9,29	4,51
b) Precipitação média 1/4 menor (mm)	7,53	3,93
c) Uniformidade de distribuição de água (%)	81,10	87,10
d) Precipitação mínima diária (mm/dia)	3,46	3,45
e) Precipitação média aplicada (mm/giro)	12,00	6,27
f) Eficiência de aplicação potencial (%)	62,80	62,70
g) Precipitação total aplicada (mm/giro)	10,09	4,84
h) Vazão estimada do sistema (m <sup>3</sup> /h)	227,00	208,00
i) Precipitação máxima aplicada (mm/h)	25,80	30,70
j) Eficiência de aplicação potencial estimada (%)	74,60	81,20

Este estudo de avaliação do sistema é uma técnica para avaliar as condições atuais de operação e manejo, podendo indicar em muitos dos casos, operações mais econômicas e eficientes. A avaliação parece indicar que o manejo atual (velocidade de 50%) está próximo do que se considera o melhor mesmo sabendo da possibilidade de regulagens de velocidades ao longo do ciclo da cultura mas que este estudo não contempla.

#### 1) Uniformidade de distribuição de água (Ud)

Valores da uniformidade de distribuição de água acima de 80% são considerados bons por grande número de autores.

Merrian e Keller (1978) afirmam que para culturas com sistema radicular raso o sistema de aspersão deve apresentar altas eficiências, traduzidas por valores de uniformidade de distribuição acima de 80%. Em culturas com sistema radicular médio a uniformidade econômica pode variar de 70 a 80%.

Pela Tabela 3 verifica-se que os valores de 81 e 87% encontrados indicam que o sistema de irrigação está funcionando com uma boa uniformidade de distribuição de água, dentro dos padrões esperados que condicionam elevada eficiência. Valores menores que 66% são normalmente inaceitáveis mesmo considerando relativo o conceito de baixa uniformidade de distribuição segundo Merrian e Keller (1978).

Embora tenham sido determinados para 2 regulagens de velocidade os valores da uniformidade de distribuição independem da velocidade de rotação.

Perdas por percolação abaixo dos 30 cm de profundidade possivelmente não estão ocorrendo porque a precipitação média 1/4 menor (7,53 mm) não ultrapassa o déficit de água do solo no manejo atual (8,15 mm).

#### 2) Eficiência de aplicação potencial (Ea)

Nos dois testes os valores se igualaram em 62,7% valor este considerado baixo desde que não se verifique perdas acentuadas de água por



percolação profunda, evaporação da água superficial e aspergida, e escoamento superficial.

Como mostrado anteriormente a perda por percolação é pouco provável e escoamento superficial não foi observado. Desta forma as diferenças encontradas entre a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação e iguais a 18,3 e 24,4% nos dois testes representariam as perdas totais por evaporação.

Christiansen citado por Scardua (1974) determinou que as perdas por evaporação da água aspergida são menores que 2% enquanto que pela evaporação da superfície umida podiam atingir de 10 a 15%. Mesmo considerando a pequena proteção da cultura na época do teste e a relativamente elevada frequência de irrigação, acredita-se que as cifras de até 24%, representando unicamente a evaporação de água, sejam elevadas. Dois fatos concorrem para esta suspeita: a) Boa parte da irrigação é feita à noite quando as perdas por evaporação são seguramente pequenas; b) A impossibilidade de medir o fluxo no sistema (informado ser de  $270 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e as diminuições de pressão verificadas durante os testes indicaram que na realidade o sistema estava funcionando com uma vazão abaixo daquela indicada pelo projeto original. Assim procedeu-se a uma estimativa da nova vazão em cada teste a partir dos dados de precipitação total, tempo de 1 revolução e área irrigada. Os resultados da vazão estimada foram significativamente menores que  $270 \text{ m}^3/\text{h}$  como pode ser comprovado pela Tabela 3.

Daí recalculou-se a nova eficiência de aplicação com base nos novos valores de fluxo. As eficiências de aplicação recalculadas atingiram valores esperados de 75% e 81% nos dois testes. As diferenças em torno de 6 a 6,5% entre os valores de uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação são agora representativos das perdas por evaporação e estão segundo Merriam e Keller (1978) dentro dos limites de acurácia das medidas.

### 3) Deficit de umidade do solo (Dus)

No manejo atual, irrigando 24 horas/dia a 50% da velocidade máxima o deficit de umidade do solo na profundidade de 30 cm, (profundida

radicular atual) calculado abaixo, a partir dos dados da Tabela 1 é:

8,28 mm.

$$\text{Dus (mm)}_{0-15} = \frac{33,04 - 29,44}{100} \times 1,04 \times 150 = 5,62 \text{ mm}$$

$$\text{Dus (mm)}_{15-30} = \frac{34,05 - 32,06}{100} \times 0,89 \times 150 = 2,66 \text{ mm}$$

Total 8,28 mm

Com a precipitação mínima aplicada de 3,46 mm/dia nos dois testes (Tabela 3) é preciso 57,43 horas ( $\frac{8,28}{3,46} \times 24$ ) para repor o déficit sob forma de irrigação. Na velocidade, portanto, de 50% poderia ser permitido uma interrupção da irrigação por 5,18 horas (57,43-52,25) após 1 giro completo. A precipitação mínima diária aplicada com interrupção de 5,18 horas após 1 revolução seria de 3,15 mm/dia ( $3,46 \times \frac{52,25}{57,43}$ ). Entretanto este valor é menor que a evapotranspiração média diária de 3,20 mm na fase de floração do feijão, cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo de Cerrados, segundo Silveira e Stone (1979). Para garantir um mínimo diário de precipitação superficial para suprir as exigências da cultura na sua fase mais crítica pode-se permitir um tempo de revolução do sistema de aproximadamente 56,50 horas ( $3,46 \times \frac{52,25}{x} = 3,20$ ). Isto significa parar o equipamento de irrigação por 4 h e 15 minutos (56,50-52,25) após 1 giro completo com 50% da velocidade.

Este manejo deve ser experimentado, observando se a cultura não apresenta sintomas visuais de déficit hídrico e/ou os tensiômetros, na profundidade de 15 cm não indicam elevado déficit de água no solo, o que para irrigações frequentes representa possivelmente leituras maiores que 400 mm na régua (aproximadamente 0,5 atm) dos tensiômetros de mercúrio. A irrigação com déficit, de aplicação mais recente, principalmente em áreas sujeitas a secas prolongadas e com pequenos suprimentos de água, é muitas vezes a irrigação econômica, desde que não induza diferenças significativas nos índices de produção.

O tempo de 1 giro completo, estimado ser de 52,25 horas na velocidade de 50% deve ser comparado com o tempo atualmente requerido, para avaliar a uniformidade de rotação, parâmetro este determinante do manejo eficiente.

#### 4) Melhoramentos

Pelas Figuras 1 e 2 verifica-se que de maneira geral os aspersores estão funcionando bem com precipitações variando pouco em torno da média. Entretanto, nos dois testes (Figuras 1 e 2) os aspersores localizados entre o 4º e 5º vãos mostraram precipitação abaixo da média. Este fato entretanto não chega a alterar significativamente o desempenho do sistema, mas para contornar o problema pode-se trocar os bocais dos aspersores correspondentes, para diâmetro imediatamente superior.

#### 5) Resumo

Tanto a uniformidade de distribuição acima de 80% quanto as eficiências de aplicação de 75 e 81% concorrem para conferir ao sistema um excelente desempenho.

Da não observação de escoamento superficial na área irrigada deduz-se que não está havendo irrigação em excesso, pelo menos em níveis significativos. Visando entretanto, possibilitar economia de energia na operação do sistema recomenda-se experimentar a interrupção do sistema por 4 horas após 1 giro completo com 50% da velocidade máxima.

#### Literatura Citada

- MERRIAM, J.L. & KELLER, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, 271p.
- SCARDUA, R. (1974). Irrigação (1ª parte). Centro Academico Luiz de Queiroz (CALQ), 3ª ed., ESALQ, Piracicaba, 296p. (Mimeografado).
- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. (1979). Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho Amarelo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 14(2):111-115.

### UNIFORMIDADE DE EMISSÃO/APLICAÇÃO

A irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação da água em pequenos volumes e com alta frequência, nas proximidades ou diretamente sobre a região radicular. Isso permite certa economia de água, porém aumenta a vulnerabilidade da planta a eventuais oscilações na quantidade de água recebida, principalmente em casos de deficit.

Portanto, torna-se crítica a importância da uniformidade com que a saída de água em cada emissor ocorre. Daí o conceito de Uniformidade da emissão.

Várias fórmulas foram propostas para avaliar a uniformidade dos emissores. A primeira fórmula foi proposta por Christiansen (1942), para aspersão, a qual procura quantificar a homogeneidade com que a água se distribui na superfície do solo, a partir de pontos de emissão ao longo de uma linha. Christiansen considerou igualmente os desvios para mais e para menos, ao redor da lâmina média, sem enfatizar qualquer dos extremos.

No caso da irrigação localizada, alguns autores revelaram preocupação maior com os desvios de vazão para menos, argumentando que uma deficiência na lâmina aplicada é mais crítica que um excesso, pela vulnerabilidade a que está sujeita a planta. Portanto, algumas fórmulas foram propostas, dando maior ênfase aos emissores cuja vazão está abaixo da média da lateral.

O conceito de Uniformidade de Distribuição, adotado pelo serviço de Conservação de Solos, dos EUA, é expresso por:

$$UD = \frac{q^{1/4}}{\bar{q}} \cdot 100$$

onde:

UD = uniformidade de distribuição, %

$q^{1/4}$  = média de vazão dos 25% emissores com as menores vazões coletadas.

$\bar{q}$  = vazão média dos emissores

Keller e Karmeli (1975) propuseram um coeficiente, originário do conceito de  $q^{1/4}$ , mostrado acima, mas considerando o coeficiente de variação de confecção dos emissores, dentro de uma distribuição normal, levando-se em conta ainda o número de emissores que irrigam cada planta e a relação entre a menor vazão e a vazão média.

O coeficiente de variação de confecção do emissor é obtido a partir de uma amostragem, onde se mede a vazão e determina-se o valor médio e o desvio padrão, cuja fórmula é:

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma (q_i - \bar{q})^2}{n - 1}}$$

onde:

- $S_d$  = desvio padrão
- $q_i$  = vazão de cada emissor da amostra
- $\bar{q}$  = vazão média dos emissores
- $n$  = nº de emissores da amostragem

O coeficiente de variação de confecção do emissor,  $C_v$ , é dado por:

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{q}}$$

Keller e Karmeli (1975) propuseram uma fórmula para cálculo da Uniformidade de Emissão, EU, que é atualmente a mais aceita para irrigação localizada:

$$EU = 100 \left( 1,0 - \frac{1,27 C_v}{\sqrt{e}} \right) \frac{qn}{q}$$

onde:

- EU = uniformidade de emissão, %
- $C_v$  = coeficiente de variação
- $e$  = nº de emissores dos quais uma planta recebe água ( $e \geq 1$ )

## IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Problema: - Exemplo.

## Hidráulica de Emissores

Carga ( $h_1$ ) = 10,0 mca  $\rightarrow$  vazão,  $q_1 = 4,9$  l/hCarga ( $h_2$ ) = 20,0 mca  $\rightarrow$  vazão,  $q_2 = 8,4$  l/h

Determinar:

a) Equação característica,  $q = Kh^x$ 

b) Tipo de emissor

SOLUÇÃO

$$a) \frac{q_2}{q_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^x \rightarrow \log\left(\frac{q_2}{q_1}\right) = x \cdot \log\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

$$x = \frac{\log\left(\frac{8,4}{4,9}\right)}{\log\left(\frac{20}{10}\right)} = \frac{0,234}{0,301} = 0,7776 \approx 0,78$$

Trajetória longa ou tortuosa

$$4,9 = K (10)^{0,78} \quad K = 4,9 / (10)^{0,78} \quad \text{ou}$$

$$8,4 = K (20)^{0,78} \quad K = 8,4 / (20)^{0,78} \rightarrow K = 0,818$$

Aproximando:

$$q = 0,82 h^{0,78}$$

Variação de vazão permitida  $\Delta q \leq 1,1$ 

$$\text{Então: } \frac{q_2}{q_1} \leq 1,1 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{0,78}$$

$$\text{Donde: } \frac{h_2}{h_1} \leq (1,1)^{1,3} = 1,077 \approx 1,08 \rightarrow 8\%$$

Variação de 8% na pressão  
13%

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Problema - Exemplo.

1) Hidráulica de Emissores

Carga ( $h_1$ ) = 10,0 mca  $\rightarrow$  vazão,  $q_1 = 4,9$  l/h

Carga ( $h_2$ ) = 20,0 mca  $\rightarrow$  vazão,  $q_2 = 8,4$  l/h

Determinar:

a) Equação característica,  $q = Kh^x$

b) Tipo de emissor

SOLUÇÃO

$$a) \frac{q_2}{q_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^x \rightarrow \log\left(\frac{q_2}{q_1}\right) = x \cdot \log\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

$$x = \frac{\log\left(\frac{8,4}{4,9}\right)}{\log\left(\frac{20}{10}\right)} = \frac{0,234}{0,301} = 0,7776 \approx 0,78$$

Trajetória longa ou tortua

$$4,9 = K (10)^{0,78} \quad K = 4,9 / (10)^{0,78} \quad \text{ou}$$

$$8,4 = K (20)^{0,78} \quad K = 8,4 / (20)^{0,78} \rightarrow K = 0,818$$

Aproximando:

$$q = 0,82 h^{0,78}$$

Variação de vazão permitida  $\Delta q \leq 1,1$

$$\text{Então: } \frac{q_2}{q_1} \leq 1,1 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{0,78}$$

$$\text{Donde: } \frac{h_2}{h_1} \leq (1,1)^{1,28} = 1,077 \approx 1,08 \rightarrow 8\%$$

Variação de 8% na pressão  
13%

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA (Continuação)

Problema - Exemplo

(2) Coeficiente de Variação de Confeccão (CV)

Emissor	Vazão (l/hr)
1 ✓	4,3 ✓
2 ✓	4,0 ✓
3 ✓	3,2 ✓
4 ✓	3,8 ✓
5 ✓	4,1 ✓
6 ✓	4,0 ✓
7 ✓	3,8 ✓
8 ✓	4,2 ✓
9 ✓	3,9 ✓
10 ✓	3,7 ✓

Desvio $(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0,4
2	0,1
3	-0,7
4	-0,1
5	0,2
6	0,1
7	-0,1
8	0,3
9	0,0
10	-0,2

$\Sigma = 39 \rightarrow \bar{x} = 3,9 \text{ l/h}$	
$\Sigma (q_i - \bar{q}_i)^2 = 0,86$	
$n - 1 = 9$	
$S_d = 0,309$	
$CV = 0,079 \approx 0,08$	



EMBRAPA  
CNP-MILHO E SORGO

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Problema - Exemplo

3) Uniformidade de Emissão

Emissor	Vazão (l/h)	25% menor	
1	4,1	<del>3,7</del> 3,2	
2	3,8	3,7	
3	3,7	<del>3,8</del> 3,7	
4	4,2	3,8	
5	4,3	$\Sigma = 15,0$ 14,4	
6	4,0	$9/4 = 3,75$ 3,6 l/h	
7	3,8		3,6 91,1%
8	4,1		U.D. = $\frac{3,75}{4,0} \cdot 100 = 93,7\%$
9	4,2		3,75
10	3,2		
11	4,0	Supondo $e = 2$ (CV=0,08)	
12	4,1		3,2 75,2%
13	3,9	$EU = 100 \left[ 1 - \frac{1,27 CV}{\sqrt{2}} \right]$	<del>3,7</del> = 85,8%
14	3,8		4,0
15	4,1		3,75
16	3,9		

$\Sigma = 63,1$  63,2

$\bar{q} = 3,98 \approx 4,0$  l/h 3,95 l/h