

UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS SISTEMAS  
DE REGA POR ASPERSÃO:  
CANHÃO AUTOMOTOR E BARRA DE ASPERSORES

PAULA MANUELA HILÁRIO BRAZ

Dissertação apresentada na Universidade de  
Évora para satisfação parcial dos requisitos  
para obtenção do grau de Mestre

ÉVORA  
1998

UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS SISTEMAS  
DE REGA POR ASPERSÃO:  
CANHÃO AUTOMOTOR E BARRA DE ASPERSORES

PAULA MANUELA HILÁRIO BRAZ



92 149

Dissertação apresentada na Universidade de  
Évora para satisfação parcial dos requisitos  
para obtenção do grau de Mestre

ÉVORA

1998

631.4  
GMA

Para a elaboração deste trabalho beneficiou-se  
de uma bolsa de Mestrado da Fundação para a  
Ciência e Tecnologia/ Programa Praxis XXI

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Doutor Ricardo Serralheiro, pelo apoio constante, sugestões, críticas e revisão de texto, bem como pela disponibilidade e dedicação, o meu sincero agradecimento.

Ao meu colega e amigo Eng.º Luís Leopoldo Silva, pelas sugestões, colaboração e disponibilidade manifestada.

À Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, na pessoa do seu Sócio-Gerente Sr. Josué Freixa, pela disponibilidade de tempo e equipamento, animo e boa disposição.

Ao Eng.º Carlos Santos, pela disponibilidade e participação nas actividades desenvolvidas.

Aos funcionários do laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, Sra. Beatriz Castor e Srs. Manuel Junça e Custódio Alves, pela boa disposição e ajuda prestada ao longo deste trabalho.

À Associação de Beneficiários do Divor, à sua direcção e ao Eng.º Armando Russell Ferreira, pela cooperação manifestada.

Aos meus colegas e amigos Eng.ª Fátima Baptista, Eng.ª Isabel Brito e Eng.º Miguel Neto, pela amizade e incentivo.

Ao Zé, pelo constante apoio, carinho e inesgotável paciência.

Aos meus pais, avós e restantes amigos que com a sua ajuda contribuiram para a realização deste trabalho.

A todos os meus mais sinceros agradecimentos...

## RESUMO

A água é um recurso cada vez mais escasso, em quantidade e em qualidade, cujo consumo crescente aumenta a necessidade de melhorar constantemente a concepção e o dimensionamento dos sistemas de rega.

No presente trabalho caracterizou-se e avaliou-se o desempenho de um equipamento de rega automotor com canhão e com barra, esta trabalhando com aspersores de impacto de média pressão, observando-se a capacidade de ajustamento destes equipamentos às condições particularmente difíceis de um solo Mediterrâneo.

Os ensaios de campo consistiram na avaliação dos referidos sistemas mediante uma rede de pluviômetros colocados na área dominada pelos aspersores.

Os valores de Uniformidade de Distribuição e do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen obtidos nas diferentes avaliações foram muito variáveis, dependendo fundamentalmente da velocidade do vento durante o ensaio e da pressão de funcionamento dos aspersores. Só se alcançaram níveis aceitáveis quando se considerou 35% de sobreposição entre faixas adjacentes, obtendo-se os melhores resultados nos equipamentos funcionando com menor pressão de serviço.

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento foram consideráveis, o que originou Eficiências Potenciais de Aplicação baixas. Estas perdas foram superiores no equipamento canhão.

Verifica-se a existência potencial de escorramento superficial, junto da linha de passagem do aspersor, uma vez que a intensidade de precipitação excede a infiltrabilidade do solo. Este escorramento verificou-se unicamente para uma velocidade de deslocação do equipamento de 10 m/h.

**Palavras chave:** rega por aspersão; canhão automotor; barra com aspersores; uniformidade; eficiência; avaliação.

## ABSTRACT

As water availability continuously decreases, irrigation systems must be carefully designed and used.

In the present work a hose-drawn travelling sprinkler system was evaluated with two travelling sub-systems: a gun sprinkler and a lateral bar equipped with medium pressure sprinklers.

Field experiments consisted on the evaluation of the referred systems, using a set of catch cans conveniently placed on the area irrigated by the sprinklers.

The values of the Distribution Uniformity (UD) and Coefficient of Uniformity of Christiansen (UC) observed in the different evaluations were quite variable, depending on the wind speed during the evaluation and the sprinkler operational pressure. Acceptable values of UD and UC were obtained only when a 35% overlapping between two paths were considered.

Wind drift and evaporation losses were significant. Thus, low values of Potential Application Efficiency were observed. Such losses were greater with the travelling gun system.

Excess water above soil infiltrability, therefore with a potential for runoff and erosion, was observed only for 10 m/h speed of travelling.

**Key words:** sprinkler irrigation, traveling sprinkler system, uniformity, efficiency, evaluation.

## ÍNDICE GERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE QUADROS.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XVI
 <b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b>	
1.1. Considerações gerais.....	1
1.2. Objectivos do trabalho.....	3
 <b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1. Classificação das instalações de rega por aspersão.....	6
2.2. Elementos da rede de rega por aspersão .....	7
2.2.1. Sistema de bombagem.....	7
2.2.2. Linha principal de distribuição.....	7
2.2.3. Linha secundária de distribuição ou ramal lateral.....	7
2.2.4. Sistema de pulverização.....	7
2.3. Canhões automotores.....	16
2.3.1. Introdução.....	16
2.3.2. Tipos de sistemas.....	17
2.3.2.1. Canhões automotores puxados por cabo.....	17
2.3.2.2. Canhões automotores com enrolador.....	18
2.3.3. Unidades constituintes da máquina de rega.....	20
2.3.3.1. Sistema de pulverização.....	20
2.3.3.2. Mecanismo indutor de movimento de translação.....	22
2.3.3.2.1. Mecanismo de fole hidráulico.....	22
2.3.3.2.2. Mecanismo de turbina.....	24
2.3.3.3. Tubagem de alimentação.....	26
2.3.4. Condições de funcionamento.....	27
2.3.4.1. Pressão de serviço.....	27
2.3.4.2. Ângulo de trajectória do aspersor.....	28
2.3.4.3. Sector molhado.....	29

2.3.4.4. Espaçamento entre faixas.....	30
2.3.4.5. Falta de uniformidade no inicio e fim da parcela.....	34
2.3.4.6. Perdas de carga nos tubos flexíveis de polietileno.....	37
2.3.4.7. Efeito do vento.....	37
2.3.4.8. Perdas de água por evaporação e arrastamento .....	39
2.3.4.9. Perdas por fuga nas tubagens.....	42
2.3.5. Barra de nebulizadores ou aspersores.....	43
2.3.6. Dimensionamento e cálculo da rega com canhões .....	45
2.4. Avaliação do sistema de rega.....	50
2.4.1. Conceitos básicos e terminologia.....	52
2.4.1.1. Conceito de uniformidade.....	53
2.4.1.1.1. Factores que afectam a uniformidade de aplicação e a sua medição.....	56
2.4.1.1.2. Conceito de eficiência.....	56
2.5. Infiltração e precipitação.....	59
2.5.1. Fases do processo de precipitação-infiltração.....	61
2.5.2. Medição da infiltração.....	63

### CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS

<b>3.1. Caracterização do local de ensaio</b>	<b>67</b>
3.1.1. Localização geográfica	67
3.1.2. Caracterização topográfica	67
3.1.3. Caracterização hidropedológica	69
3.1.3.1. Densidade aparente do solo	70
3.1.3.2. Valores de retenção da água no solo	71
<b>3.2. Descrição do equipamento de rega</b>	<b>72</b>
3.2.1. Canhão automotor com enrolador	72
3.2.2. O aspersor	76
3.2.3. Barra com aspersores	77
3.2.4. O sistema de bombagem	78
<b>3.3. Projecto de implantação</b>	<b>79</b>
3.3.1. Necessidades hídricas de ponta	79
3.3.2. Organização do sistema de rega	81

3.4. Avaliação do sistema de rega.....	84
3.4.1. Parâmetros de avaliação.....	85
3.4.2. Dados necessários à avaliação.....	87
3.4.3. Procedimento de campo.....	88
3.5. Infiltração vs. Precipitação.....	91
3.5.1. Infiltrabilidade do solo - o processo de Shockley.....	91
3.5.2. Intensidade de precipitação.....	93

## CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Avaliação do funcionamento do equipamento de rega.....	95
4.1.1. Uniformidade.....	95
4.1.2. Eficiência.....	105
4.1.3. Efeito do vento.....	109
4.2. Infiltrabilidade vs. intensidade de precipitação.....	113
4.2.1. Estudo da infiltrabilidade do solo.....	113
4.2.2. Escorrimento e retenção superficial.....	114
 CAPÍTULO V - CONCLUSÕES.....	117

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

---

121

Anexo I - Dados técnicos do canhão Mizar.....	125
Anexo II - Dados técnicos dos aspersores utilizados na barra.....	126
Anexo III - Curva característica da bomba Tecnidráulica tipo 402 S e da bomba EFACEC NJ/NJM 50-250.....	127
Anexo IV - Dados climáticos da Estação Meteorológica de Évora (média de 28 anos).....	128
Anexo V - Folha de registo dos dados de campo.....	129
Anexo VI - Diagramas pluviométricos obtidos com o canhão bico 16 mm, pressão 300 kPa com uma velocidade de desl. de 10 e 50 m/h e bico 14 mm, pressão 450 e 650 kPa com uma velocidade de desl. de 10, 30 e 50 m/h.....	131

3.4. Avaliação do sistema de rega.....	84
3.4.1. Parâmetros de avaliação.....	85
3.4.2. Dados necessários à avaliação.....	87
3.4.3. Procedimento de campo.....	88
3.5. Infiltração vs. Precipitação.....	91
3.5.1. Infiltrabilidade do solo - o processo de Shockley.....	91
3.5.2. Intensidade de precipitação.....	93

## CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Avaliação do funcionamento do equipamento de rega.....	95
4.1.1. Uniformidade.....	95
4.1.2. Eficiência.....	105
4.1.3. Efeito do vento.....	109
4.2. Infiltrabilidade vs. intensidade de precipitação.....	113
4.2.1. Estudo da infiltrabilidade do solo.....	113
4.2.2. Escorrimento e retenção superficial.....	114
 CAPÍTULO V - CONCLUSÕES.....	117

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

---

Anexo I - Dados técnicos do canhão Mizar.....	125
Anexo II - Dados técnicos dos aspersores utilizados na barra.....	126
Anexo III - Curva característica da bomba Tecnidráulica tipo 402 S e da bomba EFACEC NJ/NJM 50-250.....	127
Anexo IV - Dados climáticos da Estação Meteorológica de Évora (média de 28 anos).....	128
Anexo V - Folha de registo dos dados de campo.....	129
Anexo VI - Diagramas pluviométricos obtidos com o canhão bico 16 mm, pressão 300 kPa com uma velocidade de desl. de 10 e 50 m/h e bico 14 mm, pressão 450 e 650 kPa com uma velocidade de desl. de 10, 30 e 50 m/h.....	131

<b>Anexo VII - Diagramas da precipitação recolhida entre faixas adjacentes, no canhão modalidade bico 14 mm - vel. desl. de 30 m/h, para uma pressão de serviço de 450 kPa (considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição).....</b>	<b>134</b>
<b>Anexo VIII - Diagramas da precipitação recolhida entre faixas adjacentes, no canhão modalidade bico 14 mm - vel. desl. 30 m/h, para uma pressão de serviço de 650 kPa (considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição).....</b>	<b>135</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1. Distribuição do diâmetro de gotas recolhidas em intervalos de 2 m desde o aspersor, com um diâmetro de bico de 3,97mm funcionando com uma pressão de trabalho de 400 kPa.....	10
2.2. Efeito relativo das diferentes pressões no diagrama de distribuição de água de um aspersor de dois orifícios.....	11
2.3. Diagramas pluviométricos de Christiansen e espaçamentos recomendados para disposições em quadrado, em triângulo equilátero e rectângulo.....	12
2.4. Distribuição de diâmetros de gota para três diâmetros de bico funcionando com uma pressão de serviço de 400 kPa.....	13
2.5. Distribuição de diâmetros de gota para um diâmetro de bico 3,97 mm funcionando com 3 pressões de serviço.....	14
2.6. Esquema de funcionamento de um canhão automotor puxado por cabo.....	18
2.7. Esquema de funcionamento de um canhão automotor com enrolador.....	20
2.8. Aspersor de braço oscilante.....	21
2.9. Aspersor de turbina.....	22
2.10. Funcionamento do elevador de fole hidráulico.....	24
2.11. Mecanismo de propulsão com turbina: a) fluxo parcial; b) fluxo total.....	25
2.12. Exemplo do mecanismo guia para enrolamento do tubo.....	26
2.13. Intervalo de pressão recomendado no canhão de acordo com o caudal descarregado.....	28
2.14. Diagramas de altura de água aplicada em sectores circulares de rega compreendidos entre 180° e 330° produzidos por canhões com movimento contínuo.....	30

2.15. Diagrama pluviométrico produzido por um canhão com um ângulo de trajectória de $24^\circ$ , $\alpha = 270^\circ$ e uma $V_d = 40\text{m/h}$ .....	31
2.16. Diagrama pluviométrico de um canhão, obtido entre faixas adjacentes, baseado em ensaios de campo.....	32
2.17. Diagramas que representam o início da rega com um canhão, automotor com enrolador, sem e com temporização no rectângulo inicial.....	35
2.18. Diagramas que representam o fim da rega com um canhão, automotor com enrolador, sem e com temporização no rectângulo final .....	35
2.19. Ábaco de perda de carga em tubos de polietileno.....	37
2.20. Porção efectiva de água aplicada pelo aspersor, $P_e$ , que atinge a superfície do solo, para diferentes condições ambientais.....	41
2.21. Exemplos de barras nebulizadoras ou com aspersores.....	44
2.22. Possível organograma de dimensionamento de um sistema de rega por aspersão.....	46
2.23. Abordagem clássica da problemática da precipitação e infiltração.....	62
2.24. Esquema do teste de infiltração com o infiltrómetro por aspersão.....	65
<b>CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS</b>	
3.1. Esquema do campo de ensaios.....	68
3.2. Canhão automotor com enrolador modelo Irrimotor 70 (63/270) da Valducci.....	73
3.3. Guia do tubo de polietileno mediante um braço com espiras .....	74
3.4. Canhão automotor equipado com sistema de turbina de fluxo parcial .....	75
3.5. Dimensões do canhão automotor com enrolador.....	76
3.6. Aspersor Mizar de braço oscilante .....	77
3.7. Barra com aspersores.....	78

3.8. Esquema de avaliação do equipamento de rega.....	89
3.9. Realização de um teste de avaliação do canhão.....	89
3.10. Esquema de localização e numeração dos pluviômetros.....	90
3.11. Realização de um teste de infiltração.....	93
<b>CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS</b>	
<b>RESULTADOS</b>	
4.1. Variação da uniformidade da dotação em função do espaçamento entre faixas (E), para a modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação de 10 m/h.....	98
4.2. Variação da uniformidade da dotação função do espaçamento entre faixas (E), para a modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação de 30 m/h.....	98
4.3. Diagrama pluviométrico obtido com o canhão a funcionar com o bico de 16 mm-pressão 300 kPa, velocidade de deslocação de 30 m/h.....	99
4.4. Diagrama de precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão com bico de 16 mm velocidade de deslocação de 30 m/h.....	100
4.5. Diagrama de precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão com bico de 16 mm velocidade de deslocação de 30 m/h.....	101
4.6. Diagrama de precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão com bico de 16 mm velocidade de deslocação de 30 m/h.....	101
4.7. Diagrama pluviométrico obtido com o equipamento barra com 3 aspersores de 9 mm- velocidade de deslocação de 30 m/h.....	102
4.8. Diagrama pluviométrico obtido com o equipamento barra com 2 aspersores de 10 mm- velocidade de deslocação 30 m/h.....	103
4.9. Diagrama pluviométrico obtido com o canhão a funcionar com o bico 14 mm velocidade de deslocação de 10 m/h e com uma pressão de serviço de 650 kPa.....	104

4.10. Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para as modalidades testadas com o canhão.....	107
4.11. Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para as modalidades barra com 2 aspersores e com 3 aspersores.....	107
4.12. Diagrama pluviométrico assimétrico, por efeito do vento, na modalidade canhão bico 14 mm-velocidade de deslocação de 50 m/h com uma pressão de serviço de 650 kPa.....	109
4.13. Diagrama pluviométrico na modalidade canhão bico 16 mm velocidade de deslocação de 30 m/h.....	110
4.14. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, no equipamento canhão.....	111
4.15. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, no equipamento barra de aspersores.....	112
4.16. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, nos equipamentos.....	112
4.17 Curvas de infiltrabilidade do solo.....	113
4.18. Curvas de intensidade de precipitação e curva de infiltrabilidade do solo obtida no 3º teste.....	115

## ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1. Classificação das instalações de rega por aspersão.....	6
2.2. Características gerais dos principais tipos de aspersores.....	9
2.3. Espaçamento recomendado segundo o diâmetro do círculo regado e a velocidade do vento.....	33
2.4. Infiltrabilidade do solo em função da textura.....	48
2.5. Largura de faixa regada dependendo da velocidade do vento.....	49
<b>CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS</b>	
3.1. Valores de densidade aparente.....	71
3.2. Valores de retenção da água no solo.....	72
3.3. Parâmetros culturais indicados para a cultura do girassol.....	80
3.4. Necessidades de rega da cultura para um ano médio.....	81
3.5. Modalidades avaliadas nos tipos de equipamento.....	83
<b>CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	
4.1. Valores médios de UD e CU, obtidos nas avaliações realizadas considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15%, 25% e 35%.....	96
4.2. Dotações médias aplicadas e recolhidas no quartil inferior nas avaliações realizadas.....	105
4.3. Valores médios de EPA, obtidos nas avaliações realizadas considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15%, 25% e 35%.....	106
4.4. Perdas por evaporação e arrastamento pelo vento estimadas como a diferença entre a dotação média aplicada pelos asp. e a dotação média recolhida nos pluviômetros.....	108

**LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

a	coeficiente na equação de Kostiakov	LT <sup>-1-n</sup>
A	área	L <sup>2</sup>
B	diâmetro do bico	L
CC	capacidade de campo	—
CE	coeficiente de emurchecimento	—
CU	coeficiente de uniformidade de Christiansen	—
Da	altura média de água aplicada	L
dap	densidade aparente	—
DGP	défice de gestão permitível	—
DHS	défice de humidade do solo	—
Dm	dotação média	L
D <sub>u</sub>	dotação útil	L
D <sub>u<sub>qi</sub></sub>	média de 25% dos valores mais baixos da altura de água infiltrada e armazenada na zona radical	L
D <sub>r</sub>	dotação real	L
Drec <sub>qi</sub>	altura média de água recolhida em 25% dos pluv. que menos recolhem	L
Drec	altura média de água recolhida nos pluv.	L
Drec <sub>0,5</sub>	média da altura de água recolhida em 50% dos pluv. que menos recolhem altura	L
$\sum  d $	soma dos valores absolutos dos desvios de cada pluv. em relação à média	—
E	espaçamento entre posições de rega	L
EA	eficiência de aplicação	—
EPA	eficiência potencial de aplicação	—
ETc	evapotranspiração da cultura	LT <sup>-1</sup>
ETo	evapotranspiração de referência	LT <sup>-1</sup>
Hmin	pressão de funcionamento mínima	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
Hmáx	pressão de funcionamento máxima	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
i	infiltrabilidade do solo	LT <sup>-1</sup>
if	infiltrabilidade final	LT <sup>-1</sup>
IG	índice de pulverização	—
Int	intervalo entre regas	T

<i>ip</i>	intensidade de precipitação	LT <sup>-1</sup>
<i>ip<sub>m</sub></i>	intensidade de precipitação média	LT <sup>-1</sup>
<i>K</i>	condutividade hidráulica	LT <sup>-1</sup>
<i>Ky</i>	coeficiente de rendimento da cultura	—
<i>Kc</i>	coeficiente cultural	—
<i>Li</i>	distância em relação ao início da parcela	L
<i>M</i>	altura média de água recolhida nos pluv.	L
<i>n</i>	expoente na equação de Kostiakov	—
<i>na</i>	número de amostras	—
<i>nt</i>	número total de pluviómetros	—
<i>P<sub>f</sub></i>	pressão de funcionamento do aspersor	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
<i>P<sub>e</sub></i>	porção efectiva de água emitida pelos aspersores que atinge a superfície do solo	—
( <i>P<sub>e</sub></i> ) <sub>c</sub>	valor de <i>P<sub>e</sub></i> retirado da curva de jacto grosso	—
( <i>P<sub>e</sub></i> ) <sub>f</sub>	valor de <i>P<sub>e</sub></i> retirado da curva de jacto fino	—
<i>P<sub>sa</sub></i>	peso seco da amostra	M
<i>Q</i>	caudal	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>
<i>r</i>	raio de alcance do canhão	L
<i>S</i>	espacamento máximo necessário para que seja obtido um CU=85%	L
<i>t</i>	tempo	T
<i>T<sub>d</sub></i>	tempo de rega por dia	T
<i>T<sub>i</sub></i>	tempo de rega no início da faixa	T
<i>T<sub>f</sub></i>	tempo de rega no final da faixa	T
<i>U<sub>3</sub></i>	velocidade média do vento a 4 m de altura acima do solo	L T <sup>-1</sup>
<i>UD</i>	uniformidade de distribuição	—
<i>U<sub>z</sub></i>	capacidade utilizável para uma dada profundidade <i>z</i>	L
<i>V</i>	velocidade do vento	L T <sup>-1</sup>
<i>V<sub>a</sub></i>	volume da amostra	L <sup>3</sup>
<i>V<sub>CU</sub></i>	variação normal do CU	—
<i>V<sub>d</sub></i>	velocidade de deslocação do canhão	L T <sup>-1</sup>
<i>V<sub>UD</sub></i>	variação normal da UD	—
<i>z</i>	profundidade radical efectiva	L
<i>θ</i>	direcção do vento em relação à direcção de desl. do asp.	—
<i>α</i>	ângulo do sector circular regado	—

# CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

## 1.1 - Considerações gerais

A água é um recurso cada vez mais escasso, não só em quantidade como também em qualidade. Perante o consumo crescente dos recursos hídricos disponíveis, aumenta a necessidade de melhorar o manuseamento e a concepção dos sistemas de rega.

Em Portugal, estima-se que o método de rega por aspersão seja empregue em perto de 72 mil hectares, o que corresponde a cerca de 10% do regadio nacional, que é da ordem dos 720 mil hectares. É provável que a área beneficiada por este método de rega venha a aumentar bastante em Portugal a médio prazo, não só devido ao crescente interesse dos agricultores como também porque este método está previsto para ser utilizado prioritariamente na maior parte dos novos aproveitamentos hidroagrícolas estatais (Raposo, 1996), designadamente em 85% da área de regadio do Alqueva.

Nos últimos anos tem-se assistido a uma expansão crescente dos sistemas de rega sob pressão no Alentejo, ocupando zonas onde tradicionalmente não se regava ou se utilizavam sistemas tradicionais de rega por superfície. Dada a particularidade do processo de infiltração dos solos mediterrâneos, que representam mais de 30% dos solos do Alentejo, torna-se essencial a avaliação do funcionamento destes sistemas de rega de modo a adequá-los a este tipo de solos.

A avaliação de um método de rega tem por objectivo conhecer as condições actuais de gestão da água de rega, ou seja, conhecer a eficiência actual de aplicação da água e, a partir desse conhecimento, identificar as alternativas viáveis que possam conduzir ao seu melhoramento.

As técnicas de avaliação e melhoria dos sistemas de rega permitem conhecer os parâmetros implicados na aplicação da água, recorrendo a ensaios de campo. Permitem também determinar as modificações necessárias para melhorar o processo de rega, nomeadamente reduzir os consumos de mão de obra e de energia, os riscos de erosão hídrica provocada pela água de rega e aumentar a produção das culturas.

Esta avaliação realizada num conjunto de sistemas de rega possibilita estabelecer critérios de eleição que nos capacitam para o dimensionamento do sistema adequado para cada situação.

A rega por um único aspersor automotor, surgiu no sentido de tentar diminuir os encargos de mão de obra, abrindo assim caminho à rega por aspersão mecanizada. Os canhões automotores tiveram, na década de 70, grande popularidade no nosso país, em virtude de serem muito práticos e envolverem custos de primeiro investimento relativamente baixos. Os seus principais inconvenientes são a elevada pressão de trabalho e o grande tamanho de gota, além de ser bastante afectado pelo vento, dada a altura da trajectória das gotas. Daí o estarem actualmente a ser preferidos a favor de outras instalações funcionando a menores pressões. No entanto, há ainda, no nosso país, muitas centenas de canhões automotores em funcionamento.

Com o objectivo de diminuir a pressão de funcionamento necessária, substitui-se o canhão móvel por uma tubagem, porta-aspersores apoiada numa estrutura metálica sobre o mesmo carro, constituindo uma pequena torre móvel. O novo equipamento de rega assim constituído tem sido designado por "barra rebocada". Pode receber vários tipos de aspersores, mais vulgarmente os nebulizadores de baixa pressão, mas também aspersores de impacto, funcionando com pressões médias. Convém no

entanto salientar, que necessitam de mais mão de obra, do que os canhões automotores (sobretudo para montá-las e desmontá-las para o transporte) e o custo inicial é mais elevado.

## 1.2. Objectivos do trabalho

O presente trabalho teve como objectivo genérico estudar as condições de funcionamento de um equipamento de rega automotor (velocidade de deslocação, intensidade de aplicação, tipo de aspersores e organização do terreno) com canhão e com uma barra funcionando com aspersores de impacto de média pressão, em substituição dos nebulizadores que produzem uma intensidade pluviométrica elevada, às condições de infiltração particularmente difíceis do solo mediterrâneo, à topografia do terreno e à cultura. Pretendeu-se verificar se a barra com aspersores poderá constituir uma alternativa para o canhão automotor e quais as diferenças que se terá que introduzir no funcionamento e gestão da máquina.

Para se atingir este objectivo genérico teve-se como objectivos específicos:

- Aplicar métodos de estudo da infiltração adequados à rega por aspersão (processo de Shockley (1968));
- Avaliar os efeitos dos diversos tipos de aspersores e as condições de funcionamento sobre o processo de infiltração; determinar para cada tipo de aspersor as condições limite da relação intensidade pluviométrica/velocidade de deslocação, a partir da qual se verifica escorramento;

- Caracterizar e avaliar o desempenho do equipamento de rega automotor com canhão e com a barra com aspersores de impacto, segundo a metodologia utilizada por Merriam (1978, 1983) e as normas para ensaios de campo aconselhadas pela ASAE, ANSI/ASAE S3436 SEP92, para medidas da uniformidade de distribuição da água e eficiência da rega.

## CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1. Classificação das instalações de rega por aspersão

As instalações de rega por aspersão podem dividir-se em dois grandes grupos, em função da mobilidade dos elementos do sistema: os estacionários, que permanecem fixos enquanto regam, e os de movimento contínuo ou semoventes (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Classificação das instalações de rega por aspersão (Raposo, 1996).

ESTACIONÁRIAS (clássicas)	com ramais móveis	móveis	completamente parcialmente
		semifixas	
	fixas (sem ramais móveis)	temporariamente fixas (solid-set) permanentemente fixas	
SEMOVENTES (máquinas de rega)	com movimento de rotação	em torno da parte central (aspersores gigantes) em torno de uma extremidade (rampas rotativas)	
	com movimento de translação	com vários aspersores (rampas laterais) com um só aspersor (canhões automotores)	
mistas (com movimento de rotação e translação)			

## **2.2. Elementos da rede de rega por aspersão**

### **2.2.1 Sistema de bombagem**

A sua finalidade principal consiste em elevar a água desde a fonte de armazenamento, que pode ser uma albufeira, um furo, uma ribeira ou outra, até à origem da rede de distribuição, e garantir a pressão necessária para que os orgãos de distribuição e pulverização da água funcionem nas condições indicadas pelo fabricante.

### **2.2.2. Linha principal de distribuição**

Tem por objectivo transportar a água sob pressão, desde o sistema de bombagem até aos ramais laterais. Pode ser fixa ou móvel, dependendo da concepção do sistema.

### **2.2.3. Linha secundária de distribuição ou ramal lateral**

Tem por finalidade transportar a água desde a linha principal de rega até aos aspersores.

### **2.2.4. Sistema de pulverização**

A sua missão consiste em pulverizar a água e distribuí-la, sob a forma de chuva, às culturas sobre as quais se encontram.

Os aspersores mais utilizados são de dois tipos:

- aspersor rotativo por impacto - são normalmente agrupados em 3 categorias (pequena, média e alta), em função da pressão de funcionamento;
- nebulizador fixo - são fixos e funcionam a baixa pressão.

Os aspersores são classificados de acordo com a sua pressão de funcionamento e com a sua posição em relação às culturas regadas. No quadro 2.2 pode observar-se as diferentes classificações de acordo com as suas características gerais.

O princípio de funcionamento dos aspersores baseia-se no facto de que parte da pressão disponível no, ou nos orifícios de saída, é convertida em aumento de velocidade, o que origina a saída em jacto com um certo alcance, e a restante é perdida por decomposição da corrente em gotas de diferentes dimensões. Tendo em conta que o diâmetro de gota, que se forma quando o jacto de água entra em rotura, é inversamente proporcional à velocidade do ar circundante, na periferia do jacto produzem-se gotas de pequena dimensão, enquanto que no centro do jacto se produzem gotas de maior dimensão. É por esta razão que a dimensão média de gota, produzida próximo do orifício de saída é muito menor do que a produzida em zonas mais afastadas (fig. 2.1). Na figura pode observar-se que a uma determinada distância do bico caem em maior percentagem determinados diâmetros de gota, aumentando a diferença entre eles, tanto mais quanto mais afastado se encontra o ponto considerado.

**Quadro 2.2 - Características gerais dos principais tipos de aspersores**  
**(Adaptado de James, 1983 cit. por Oliveira, 1993).**

Tipo de aspersor	Gama de pressões (kPa)	Caudais (l/min)	Alcance do jacto (m)	Intensidade de aplicação	Dimensão relativa das gotas
<b>IMPACTO</b>					
<b>Baixa pressão</b>					
um orifício de saída	103-207	119-19	18-24	baixa	grande
dois orifícios de saída	103-207	11-38	21-25	média	grande
<b>Média pressão</b>					
um orifício de saída	207-414	15-76	21-43	baixa a média	média
dois orifícios de saída	207-414	15-360	21-61	média	média
<b>Alta pressão</b>					
um orifício de saída	345-690	15-416	27-73	média	pequena
dois orifícios de saída	345-690	15-530	27-73	média a alta	pequena
orifício caudal const.	276-552	8-38	27-37	baixa a média	média
orifício difusor	172-345	8-195	20-40	média	pequena
tipo canhão	276-896	197-4542	61-183	média a alta	pequena
<b>Tipo nebulizador</b>					
Sector de 180°	35-276	1-95	2-11 3-12	muito alta muito alta	fina fina
Sector de 360° com deflector plano e liso	35-276	1-95	3-12 6-17	alta a muito alta alta a muito alta	fina fina
Sector de 360° com deflector plano e serreado	35-276	1-95	4-15 8-21	alta média a alta	pequena pequena

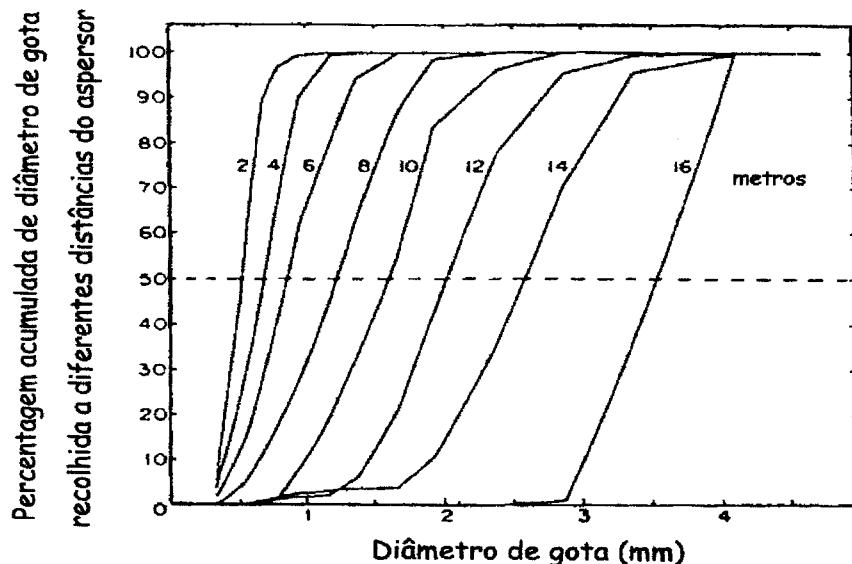


Fig. 2.1 - Distribuição do diâmetro de gotas recolhidas em intervalos de 2 m desde o aspersor, com um bico de diâmetro de 3,97 mm funcionando com uma pressão de serviço de 400 kPa (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

Na escolha do aspersor, o objectivo consiste em encontrar a combinação entre espaçamento, pressão de funcionamento e diâmetro do orifício de saída do aspersor, que possibilite uma altura de água aplicada óptima, com o maior grau de uniformidade de distribuição.

Cada tipo de aspersor possui um diagrama pluviométrico característico, que depende do diâmetro do orifício de saída e da pressão de funcionamento. Quando da selecção do diâmetro do orifício de saída do aspersor, deve ser tido em consideração que a pressão de funcionamento afecta o diagrama do seguinte modo:

- a) se o aspersor funcionar com pressão inferior à recomendada, o jacto de água à saída do aspersor não se fraciona como está previsto, e como tal a produção de gotas de maior diâmetro é muito superior às de pequeno diâmetro. Este facto motiva que

uma maior quantidade de água cai nos pontos mais afastados do círculo regado pelo aspersor.

- b) se o aspersor funcionar com pressão superior à recomendada, ocorre o fraccionamento do jacto em gotas de pequeno diâmetro. Esta situação provoca uma perda de alcance do jacto e aumento do número de batidas, logo o de deflexões do jacto para a proximidade do aspersor, de que resulta um excesso de acumulação de água junto do aspersor.
- c) dentro da gama de pressões recomendadas, o aspersor produz um diagrama semelhante ao da fig. 2.2 B.

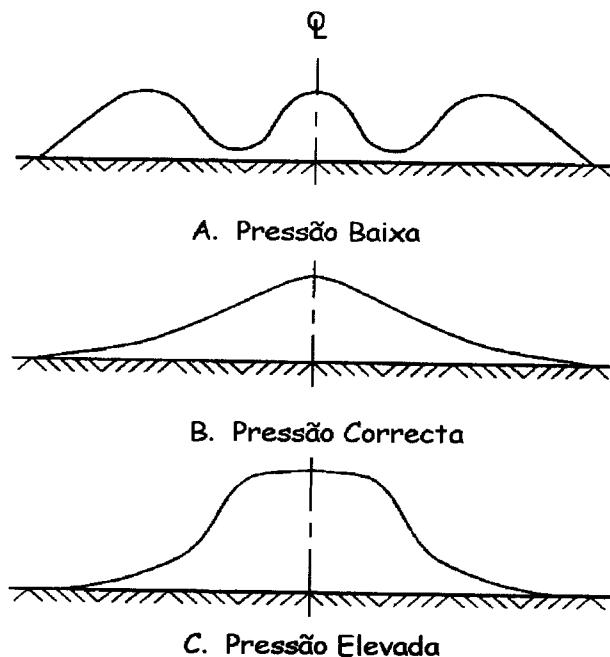


Fig. 2.2 - Efeito relativo das diferentes pressões no diagrama de distribuição de água de um aspersor de dois orifícios (Keller e Bliesner, 1990).

O diagrama pluviométrico do aspersor é também importante quando se efectua o espaçamento entre aspersores.

Os aspersores funcionando sob condições de vento fraco produzem diagramas pluviométricos característicos. Na fig. 2.3 estão representados os diagramas estilizados de Christiansen, e também os espaçamentos recomendados, baseados no diâmetro efectivo de cobertura para determinadas condições de funcionamento.

Diagramas do tipo A e B são característicos dos aspersores que possuem dois ou mais orifícios de saída. Diagramas do tipo C e D são característicos dos aspersores com um só orifício de saída. O diagrama tipo E é geralmente produzido por aspersores tipo canhão ou por aspersores que funcionam com pressões inferiores às recomendadas para aquele diâmetro de bico.

PERFIL DO ASPERSOR		ESPAÇAMENTO RECOMENDADO COMO PERCENTAGEM DO DIÂMETRO		
TIPO	FORMA	QUADRADO	TRIÂNGULO EQUILÁTERO	RECTÂNGULO Largura x Comprimento
A		50	50	40 x 60 a 65
B		55	66	40 x 60
C		60	65	40 x 60 a 65
D		40 70 (razoável)	70 a 75	40 x 70 a 75
E		40 80 (razoável)	80	40 x 80

Fig. 2.3 - Diagramas pluviométricos de Christiansen e espaçamentos recomendados para disposições em quadrado, em triângulo equilátero e rectângulo (Keller e Bliesner, 1990).

A selecção do aspersor mais adequado a determinado sistema de rega por aspersão, depende de vários factores, entre os quais, e de acordo com Pair, 1975 cit. por Oliveira, 1993, se salientam:

a) diâmetro do orifício de saída

Influencia, conjuntamente com outros factores (pressão no orifício de saída e o caudal descarregado pelo aspersor), a uniformidade de distribuição e a dimensão das gotas de água em que se transforma o jacto de água à saída do orifício. O efeito do diâmetro do orifício de saída na dimensão das gotas produzidas pode ser observado na fig 2.4. A proporção de gotas finas é tanto maior quanto menor for o diâmetro do orifício de saída do aspersor, explicando porque é que o ar chega tanto mais rapidamente até ao centro do jacto quanto menor é o diâmetro do orifício (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

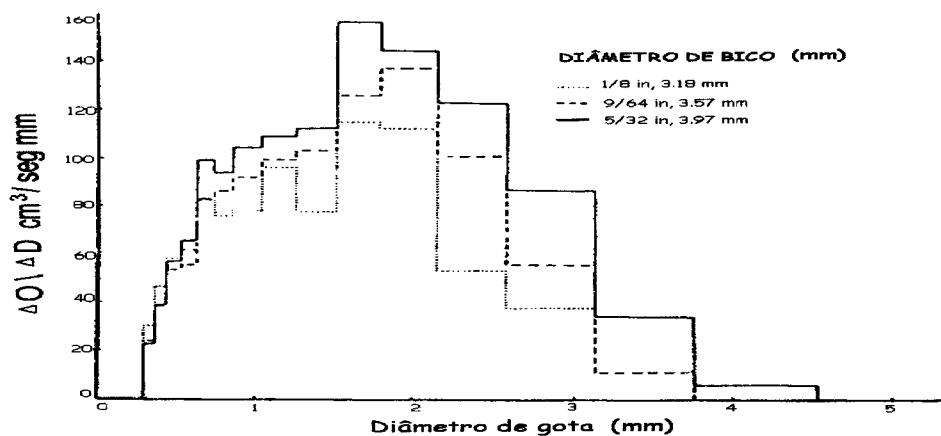


Fig. 2.4 - Distribuição de diâmetros de gota para três diâmetros de bico funcionando com uma pressão de serviço de 400 kPa (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

b) pressão da água na secção do orifício de saída

O caudal descarregado por cada aspersor é função do diâmetro do orifício de saída e da pressão da água na sua secção de saída.

O efeito deste factor na distribuição da dimensão das gotas produzidas pode ser observado na fig. 2.5, na qual se evidencia o aumento do número de gotas de menor dimensão à medida que aumenta a pressão. Este aumento é consequência do aumento da velocidade do jacto e da maior diferença com a velocidade do ar (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

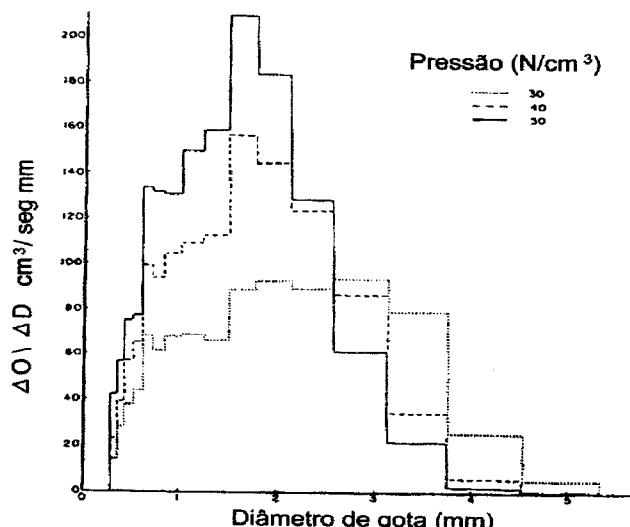


Fig. 2.5 - Distribuição de diâmetros de gota de um bico de diâmetro 3,97 mm funcionando com 3 pressões de serviço (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

Para que o aspersor funcione adequadamente, deverá operar nas condições indicadas pelo fabricante, de modo a que seja obtida a melhor uniformidade de distribuição.

c) energia cinética das gotas de água

É de extrema importância, principalmente nos solos sujeitos a erosão ou à formação de crosta superficial, uma vez que esta pode reduzir a infiltrabilidade do solo e conduzir a maiores escorramentos e maior retenção superficial. Isto deve-se ao facto das crostas superficiais apresentarem maior densidade aparente, poros mais finos e menor condutividade hidráulica saturada que o solo inferior (Santos Júnior, 1987).

De acordo com Kohl (1974) cit. por Heermann e Kohl (1983) a energia cinética das gotas pode ser reduzida, através do aumento da pressão de funcionamento, ou reduzindo o diâmetro do orifício de saída, para o mesmo volume de água aplicado, soluções que aumentam o grau de pulverização do jacto, diminuindo as dimensões das gotas.

d) ângulo do jacto de saída

Normalmente, são utilizados aspersores cuja inclinação do jacto de saída é da ordem dos  $30^\circ$ , por ser esta a inclinação que, em condições de ausência de vento, melhor diagrama de distribuição apresenta, tendo o maior alcance para dados característicos hidráulicos (pressão de serviço, diâmetro do bico, caudal) do aspersor.

e) modelo de distribuição

A uniformidade de distribuição, depende das condições de funcionamento, ou seja, é influenciada pela velocidade de rotação do aspersor, a qual deve ser uniforme, pelo diâmetro do orifício de saída, pela pressão de funcionamento e pelo espaçamento entre aspersores.

Uma maneira prática de determinar o diagrama de precipitação de um aspersor consiste em colocar recipientes que recolham a água na zona de precipitação do aspersor e analisar os resultados.

## 2.3. Canhões automotores

### 2.3.1. Introdução

Este sistema de rega utiliza aspersores rotativos de grande dimensão, denominados canhões, que se montam sobre um carro com rodas, adaptável a diferentes alturas e larguras, segundo a necessidade da cultura.

Estes canhões trabalham normalmente com pressões de 400 a 1000 kPa (4 a 10 bar) e com caudais da ordem dos 20 a 170 m<sup>3</sup>/h, o que permite regar, em cada posição, faixas com mais de 100 m de largura e 500 m de comprimento (5 ha). A pluviometria pode variar entre 5 e 35 mm/h (Martin-Benito, 1995). A eficiência de aplicação da água nestes sistemas é relativamente baixa, mesmo na zona central da parcela, onde a sobreposição e a qualidade da rega são melhores (Keller e Bliesner, 1990). Para sistemas bem dimensionados, segundo Keller e Bliesner (1990), os valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e de Eficiência de Aplicação, podem estar compreendidos entre:

<u>Velocidade do vento (m/s)</u>	<u>CU (%)</u>	<u>EA (%)</u>
0-2	82	77
2-4	70	65

Os seus principais inconvenientes são a elevada pressão de serviço e a grande dimensão de gota (pode erosionar o solo e danificar a planta), para além de ser mais afectada pelo vento, dada a altura da trajectória das gotas.

### 2.3.2. Tipos de sistemas

#### 2.3.2.1. Canhões automotores puxados por cabo

Foram desenvolvidos nos Estados Unidos, onde são muito utilizados para regar zonas húmidas.

O canhão está instalado num carro com rodas equipado com um pequeno motor hidráulico que enrola num tambor um cabo de aço previamente esticado, estando a outra extremidade presa numa estaca colocada no final da faixa a regar. O carro desloca-se em direcção ao ponto de ancoragem do cabo, como mostra a figura 2.6.

Estas máquinas deslocam-se a velocidades compreendidas entre 10 a 50 m/h, diminuindo a dotação de rega conforme aumenta a velocidade. Quando o carro atinge o extremo da parcela, pára automaticamente, podendo parar também a bomba ou fechar a passagem de água para o canhão. A mudança de posição da máquina e do tubo é efectuada com a ajuda de um tractor e demora aproximadamente 1 a 1,5 horas.

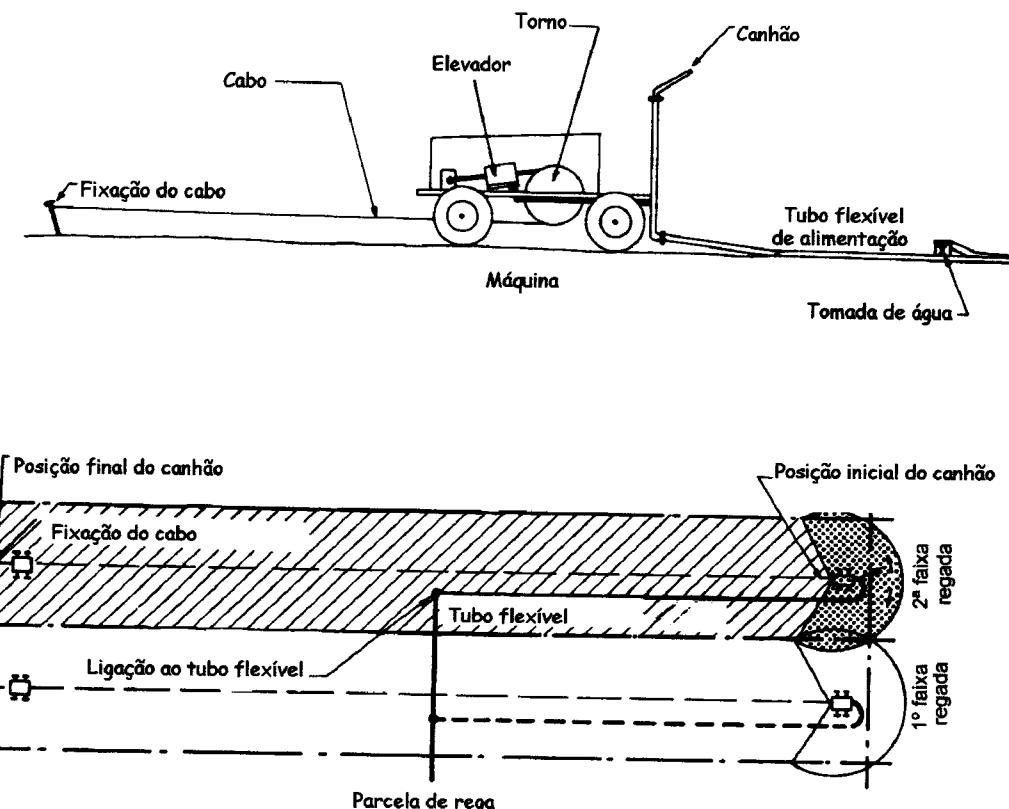


Fig. 2.6 - Esquema de funcionamento de um canhão automotor puxado por cabo (Rolland, 1986).

### 2.3.2.2. Canhões automotores com enrolador

Neste tipo de máquinas de rega, o aspersor, do tipo canhão, está colocado sobre um suporte com rodas, que apoia o aspersor e garante uma determinada altura deste acima do solo.

O aspersor está colocado na extremidade de um tubo de polietileno flexível, com um comprimento da ordem dos 200-400 m. O tubo enrola-se num tambor, que é accionado pelo próprio fluxo de água, arrastando no seu movimento o suporte com o aspersor.

Para realizar a rega, o tambor é colocado junto do ponto de água. O suporte com o aspersor é puxado com a ajuda de um tractor, até à

extremidade da faixa a regar, ocupando o tubo a zona central da faixa. Iniciada a rega após a abertura da válvula de ligação à linha de abastecimento, inicia-se o funcionamento de uma turbina situada no tambor, que através de um sistema de engrenagens faz rodar o tambor no sentido do enrolamento. Quando o suporte do aspersor atinge o tambor, há um mecanismo que automaticamente faz parar a rega. Torna-se então necessário efectuar uma rotação de 180° no tambor e repetir a operação. Para regar uma nova faixa, é necessário transportar o conjunto formado pelo tambor e aspersor para uma nova posição, paralela à primeira (fig. 2.7).

O tempo necessário para colocar o equipamento em posição para regar é de cerca de 0,5 horas, estimando-se em 1 hora o tempo requerido para realizar a mudança de posição da máquina. Recomendam-se posições de rega de 10 a 20 horas (1 ou 2 posições por dia).

Um inconveniente adicional, no caso dos canhões com enrolador, é o facto de a velocidade de avanço do canhão poder ser irregular, se não for corrigida a velocidade de enrolamento do tambor, quer pela variação do diâmetro do carreto onde se enrola o tubo, quer devido à variação do peso do tubo. Este facto provoca alterações na uniformidade da rega.

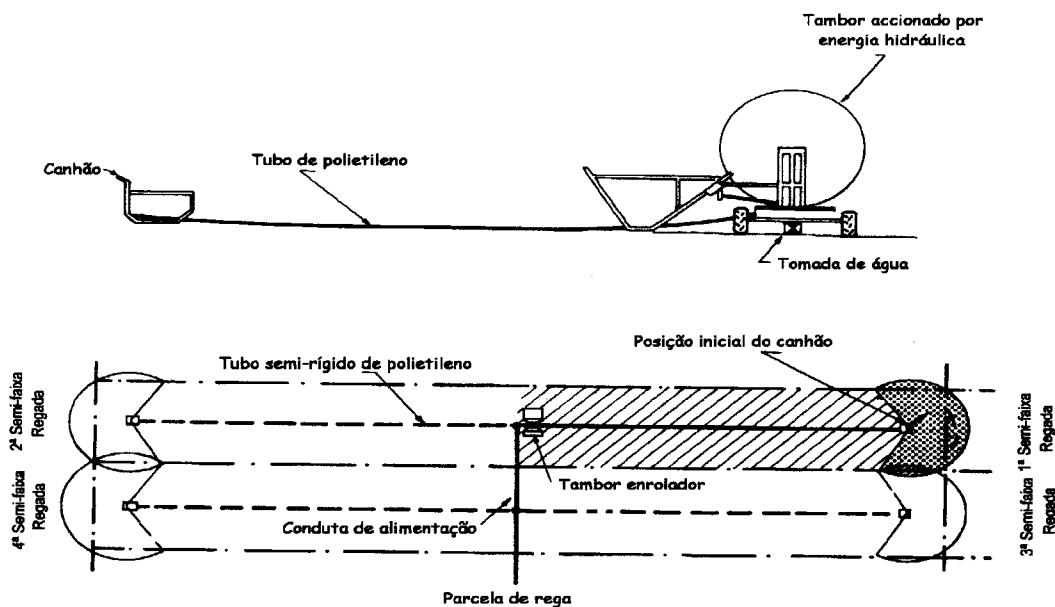


Fig. 2.7 - Esquema de funcionamento de um canhão automotor com enrolador (Rolland, 1986).

### 2.3.3. Unidades constituintes da máquina de rega

#### 2.3.3.1. Sistema de pulverização

O aspersor que equipa este sistema denomina-se canhão, é rotativo e de grande dimensão, atendendo aos maiores caudais descarregados e à elevada pressão de trabalho. Pode ser de braço oscilante ou de turbina. Em qualquer dos casos, possui os mecanismos necessários para funcionar de forma sectorial, cobrindo sectores de 200 a 220° (Martin-Benito, 1995).

Nos de braço oscilante (fig. 2.8), o movimento de rotação é efectuado por meio de uma alavanca, a qual, por acção do jacto de água, é deslocada para baixo e lateralmente. Devido à acção de uma mola, a alavanca regressa à mesma posição, relativamente à saída do jacto, e o

movimento repete-se, obrigando assim o aspersor a rodar. Simultaneamente, o bater do jacto na alavanca, faz com que este se fraccione em gotas menores, permitindo uma melhor uniformidade de distribuição.

A velocidade de rotação do aspersor pode ser controlada pela inclinação do prato colocado no terminal da alavanca à saída do aspersor. Esta oscila entre 2 a 5 minutos, regressando rapidamente à sua posição inicial.

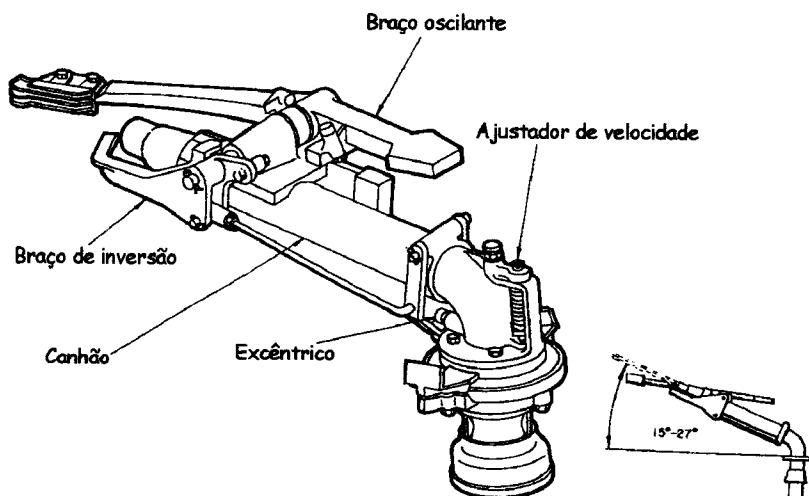


Fig. 2.8 - Aspersor de braço oscilante (Martin-Benito, 1995).

Nos de turbina (fig. 2.9), o movimento de rotação é conseguido por meio de uma turbina instalada junto à secção do orifício de saída do aspersor. O movimento do aspersor é mais suave e contínuo, uma vez que ele é provocado pelo movimento contínuo da turbina causado pela passagem da água. Quando o aspersor atinge o fim do sector, regressa à posição inicial mas de modo similar, ou seja, o movimento de rotação do aspersor é efectuado à mesma velocidade em ambos os sentidos.

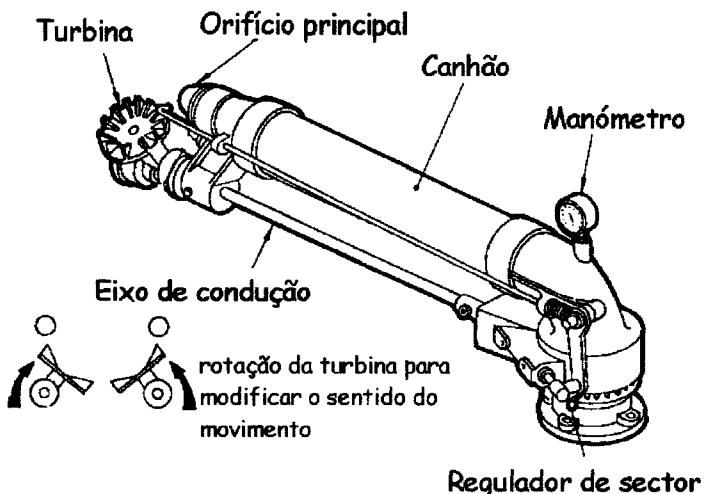


Fig. 2.9 - Aspersor de turbina (Martin-Benito, 1995).

### 2.3.3.2. Mecanismo indutor de movimento de translação

O movimento de translação do aspersor, seja ele efectuado por enrolamento de um cabo, ou por enrolamento do próprio tubo, é normalmente conseguido com o auxílio de um motor, normalmente hidráulico, accionado pela própria corrente de água. Existem duas variantes: fole hidráulico e turbina.

#### 2.3.3.2.1. Mecanismo de fole hidráulico

Na fig 2.10 pode observar-se de forma detalhada o funcionamento do motor hidráulico com mecanismo de propulsão de fole hidráulico.

Na fase de admissão, a água sob pressão empurra o elemento da válvula (1), penetra na conduta (AD 1) e empurra a membrana (2) até

atingir o elevador de fole. Este faz girar o braço (3) em volta de um eixo (4) e move a roda dentada com o trinco (5).

Na fase de esvaziamento, um dispositivo (não detalhado na figura) situado à direita da figura, move a barra (6), que empurra o elemento da válvula (1) e impede a entrada de água no ponto indicado com a seta. O braço (3) ao comprimir a mola (7), comprime o fole e a água sob pressão empurra a membrana (2) e sai por (EC).

O mecanismo citado (mas não descrito), produz o movimento inverso no momento adequado, actuando sobre a barra (8) que tem os delimitadores (9) e (10) do curso da báscula (11).

A velocidade de rotação do tambor, e portanto a de deslocação do canhão, regula-se actuando sobre o tempo de esvaziamento do fole, através de uma válvula de descarga (12) que regula o caudal de saída e portanto, a velocidade de movimento do elevador (Rolland, 1986).

O fole consome uma pequena parte da água de rega, mas não provoca nenhuma perda de carga ou diminuição de pressão no fluxo principal.

Nos canhões com enrolador, é necessário também regular a velocidade de rotação do tambor durante o enrolamento, de modo a conseguir uma velocidade constante do canhão.

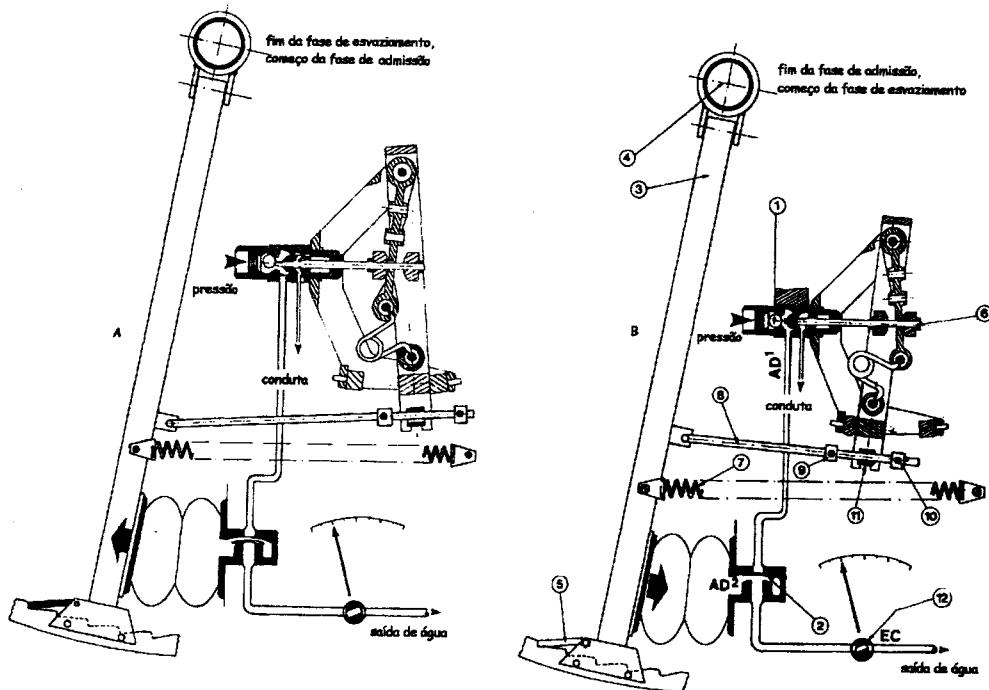


Fig. 2.10 - Funcionamento do elevador de fole hidráulico (Rolland, 1986)

### 2.3.3.2.2. Mecanismo de turbina

É o mais frequente nos canhões com enrolador. Não consome água, mas produz uma perda de carga no fluxo principal da ordem dos 50 a 100 kPa ou mais.

A turbina é alimentada por uma fracção ou por todo o caudal principal (fig. 2.11), transmitindo a rotação do tambor de enrolamento através de uma caixa de engrenagens.

Nos mecanismos de fluxo parcial, a velocidade da turbina e portanto do enrolamento do tambor, é produzida e regulada num sistema derivado, de ponte ou "by-pass", incorporando a turbina e uma válvula reguladora, que permite a passagem de um caudal variável.

Nas turbinas alimentadas por fluxo total, a velocidade de enrolamento do tambor regula-se através de um regulador de velocidade de roldana ou por um jogo de rodas dentadas.

Para que o movimento do canhão seja uniforme durante o enrolamento, coloca-se um pequeno "by-pass", regulado por um sensor que indica o diâmetro de enrolamento da tubagem no tambor.

Todas as máquinas possuem um mecanismo de enrolamento do tubo accionado pela tomada de força do tambor.

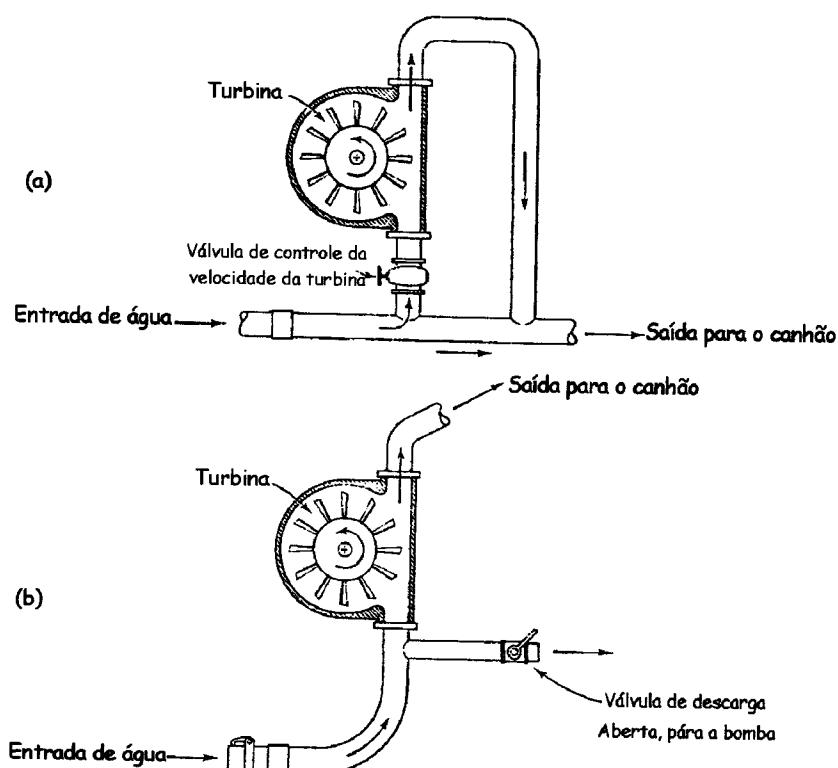


Fig. 2.11 - Mecanismo de propulsão com turbina: a) fluxo parcial; b) fluxo total (Martin-Benito, 1995).

### 2.3.3.3. Tubagem de alimentação

A tubagem utilizada possui diâmetros compreendidos entre 50 e 125 mm, comprimento entre 200 e 400 m e é concebida para suportar altas pressões. A vida útil destas tubagens é de 6 a 8 anos.

No caso dos canhões com enrolador, as tubagens são de polietileno (PE) de média densidade, para que possuam resistência suficiente e não sejam demasiado rígidas. Nestas máquinas existe um mecanismo guia (fig. 2.12) que facilita o enrolamento correcto do tubo no enrolador. Necesitam, normalmente de um compressor para vazar as tubagens, quando a máquina é guardada durante o Inverno.

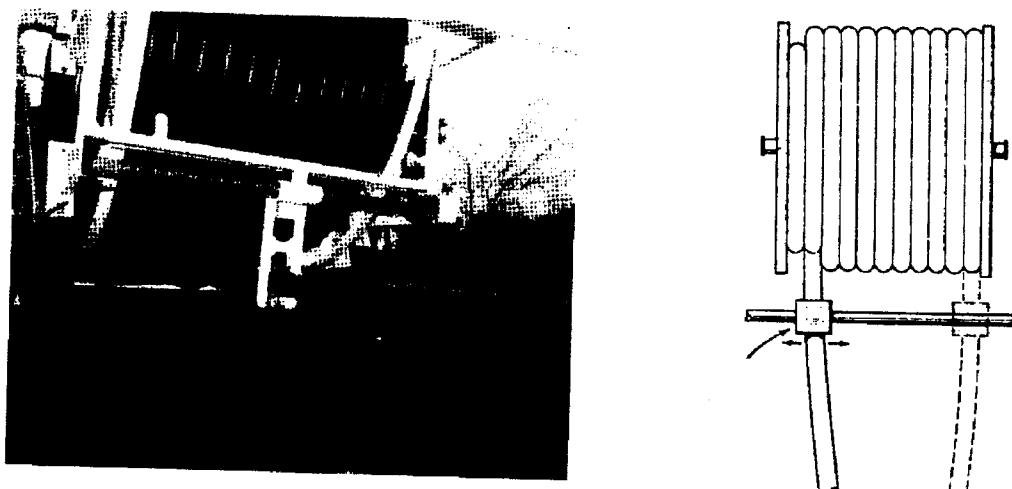


Fig. 2.12 - Exemplo do mecanismo guia para enrolamento do tubo (Martin-Benito, 1995).

### 2.3.4. Condições de funcionamento

A uniformidade de distribuição da água com canhões automotores depende principalmente: da variação da velocidade de avanço, das características próprias do aspersor e das suas condições de trabalho (pressão, diâmetro do orifício de saída, ângulo de descarga, etc), assim como da selecção correcta das condições de funcionamento da máquina de rega (ângulo do sector molhado e sobreposição das faixas regadas). A todos estes factores tem de se acrescentar a distorção produzida pelo vento, dependendo da sua intensidade e direcção.

Salientam-se recomendações referidas na bibliografia especializada, algumas baseadas em ensaios de campo, de modo a permitir o bom funcionamento destas máquinas.

#### 2.3.4.1. Pressão de serviço

As pressões de serviço recomendadas para o canhão, de modo a obter-se uma dimensão de gota média e uma boa distribuição, podem ser observadas na fig. 2.13 (CEMAGREF, 1992).

A pressão de funcionamento do canhão não deve variar mais do que 20% do que a sua pressão nominal em nenhum ponto da parcela, o que corresponderá a que o caudal descarregado não varie mais do que 10%. Os cálculos realizam-se para o ponto mais desfavorável ( $H_{min}$ ) e para o mais favorável ( $H_{máx}$ ) da parcela. Quando  $H_{máx} > 1,2 H_{min}$  deve colocar-se um regulador de pressão à entrada do canhão, de modo a garantir este intervalo de variação da pressão (Martin-Benito, 1995).

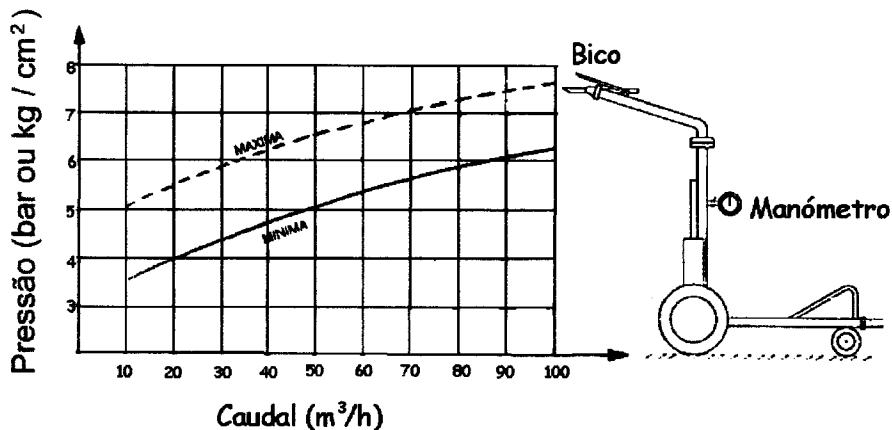


Fig. 2.13 - Intervalo de pressão recomendado no canhão de acordo com o caudal descarregado (CEMAGREF, 1992).

#### 2.3.4.2. Ângulo de trajectória do aspersor

A maioria dos aspersores utilizados nos canhões com enrolador possuem ângulos de trajectória compreendidos entre 18 e 32°. Ângulos de trajectória superiores aumentam a altura do jacto, o que permite que o fluxo de água esgote a sua velocidade horizontal antes das gotas de água atingirem a superfície do solo. Deste modo, ângulos de trajectória maiores possibilitam uma mais ampla cobertura, em situações de vento fraco, e o impacto das gotas é minimizado. Ângulos de trajectória baixos permitem uma cobertura mais uniforme em situações de ventos superiores a 4,4 m/s, mas o impacto das gotas pode ser muito severo, especialmente quando a pressão de funcionamento é baixa (Heermann e Kohl, 1983).

Em situações moderadas de vento, trajectórias entre 23 e 25° são satisfatórias. Em situações de ventos médios superiores a 4 m/s, o ângulo

de descarga deve ser de 20 a 21° e com vento negligível de 26 a 28° (Keller e Bliesner, 1990).

#### 2.3.4.3. Sector molhado

Alguns aspersores móveis necessitam de operar em parte do sector circular, de modo a permitir melhor uniformidade de distribuição da água. Outra razão importante é facilitar o deslocamento do suporte do aspersor, o qual será feito em terreno seco, ao contrário do que aconteceria se o aspersor regasse o círculo completo. Contudo, este procedimento aumenta a taxa de aplicação.

O ângulo de sector regado ( $\alpha$ ) recomendado, de acordo com os ensaios do CEMAGREF (1992) está compreendido entre 200 e 220°.

Na fig. 2.14 podem observar-se os diagramas de altura de água aplicada, obtidos com a passagem de um canhão com movimento contínuo, sobre uma linha de pluviómetros, colocada perpendicularmente à direcção de deslocação para diferentes sectores circulares compreendidos entre 180° (ou 360°) e 330°, possuindo um diagrama de pluviometria uniforme (tipo F de Christiansen). Todos os diagramas da figura apresentam a mesma altura média aplicada. A comparação destes diagramas com o diagrama hipotético de completa uniformidade (linha horizontal), mostra que o diagrama mais uniforme se obtém com o sector regado com  $\alpha = 210^\circ$ ; contudo, o produzido com  $\alpha = 240^\circ$  também é bastante bom. A partir de  $\alpha = 270^\circ$ , que ainda apresenta um valor de uniformidade aceitável, à medida que  $\alpha$  aumenta, a uniformidade da rega diminui.

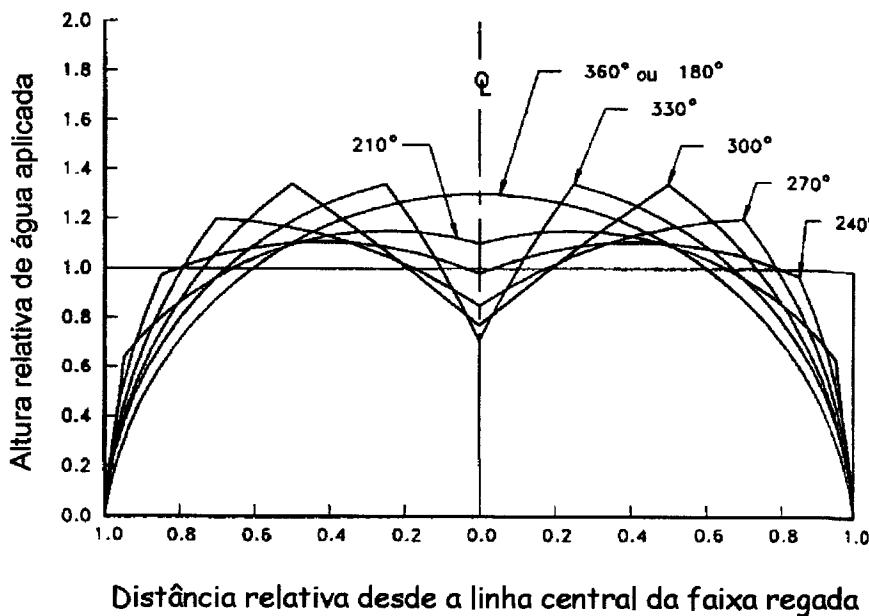


Fig. 2.14 - Diagramas de altura de água aplicada em sectores circulares de rega compreendidos entre 180° e 330° produzidos por canhões automotores com movimento contínuo (Keller e Bliesner, 1990).

#### 2.3.4.4. Espaçamento entre faixas

A uniformidade de aplicação dos canhões é afectada por vários factores: velocidade e direcção do vento, trajectória do jacto, tipo de aspersor, ângulo do sector molhado, diagrama característico e sobreposição do aspersor e variação da pressão e velocidade de deslocação (Shull e Dylla, 1976; Collier e Rochester, 1980 cit. por Keller e Bliesner, 1990). Para velocidades do vento perto dos 16 Km/h os Coeficientes de Uniformidade típicos, na porção central do campo, são de 70 a 75%, quando se utilizam os espaçamentos recomendados (Keller e Bliesner, 1990).

Na fig. 2.15 pode observar-se o diagrama pluviométrico obtido com um pequeno canhão, funcionando em condições de vento fraco.

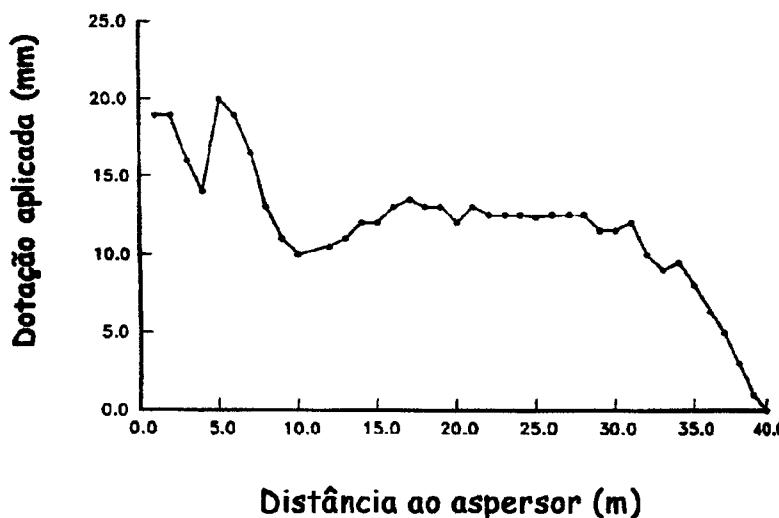


Fig. 2.15 - Diagrama pluviométrico produzido por um canhão, com um ângulo de trajectória de  $24^\circ$ ,  $\alpha = 270^\circ$  e  $V_d = 40$  m/h (Keller e Bliesner, 1990).

A fig. 2.16 mostra o diagrama pluviométrico obtido com um espaçamento entre faixas adjacentes de 100 m. O diagrama é baseado em dados de campo, obtidos com uma só passagem de um canhão, com uma velocidade de deslocação de 0,305 m/min e um caudal de 31,56 l/s, trabalhando com uma pressão de 690 kPa. A velocidade do vento estava compreendida entre 2,2 e 4,5 m/s e o ângulo de sector molhado era  $\alpha = 330^\circ$ . Os dados de uma só passagem foram sobrepostos, com o objectivo de simular os resultados de um canhão com enrolador idêntico, funcionando na faixa adjacente (Keller e Bliesner, 1990).

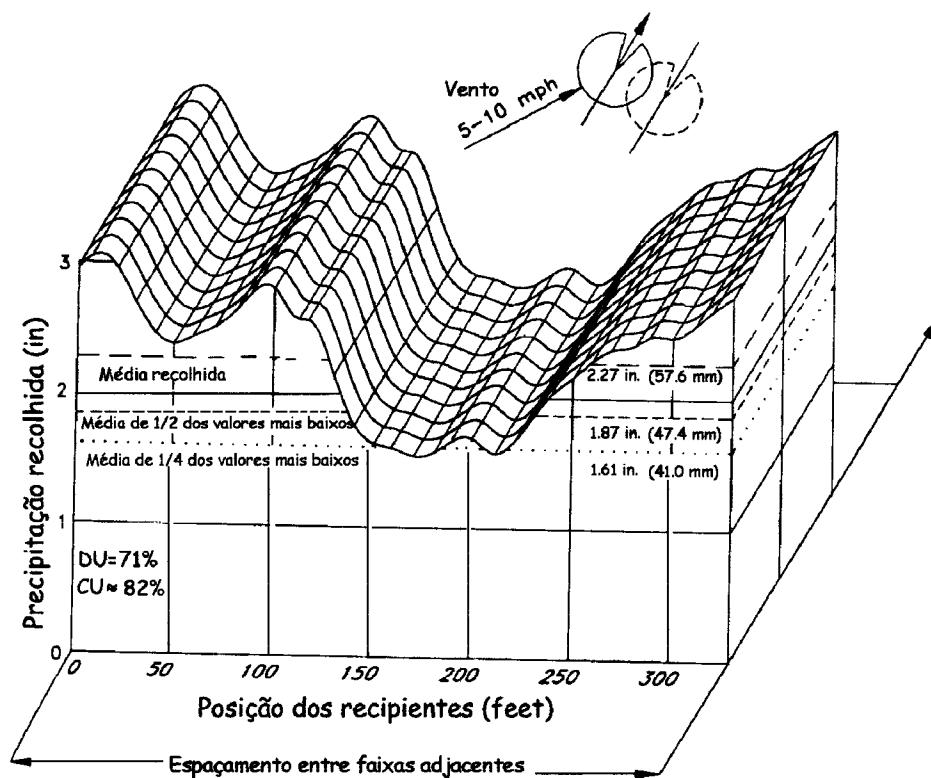


Fig. 2.16 - Diagrama pluviométrico obtido entre faixas adjacentes, baseado em dados de campo (Keller e Bliesner, 1990).

No quadro 2.3 encontram-se os espaçamentos recomendados, para canhões com ângulos de trajectória de  $23^\circ$  a  $25^\circ$ . Os espaçamentos são baseados em função do diâmetro molhado do aspersor e da velocidade do vento.

Quadro 2.3 - Espaçamento recomendado segundo o diâmetro do círculo regado e a velocidade do vento (Rolland, 1986; Keller e Bliesner, 1990).

Diâmetro molhado (m)	Velocidade do vento (m/s)						
	> 4,5	2 - 4,5	< 2	sem vento			
	Espaçamento (% do diâmetro molhado)						
	50	55	60	65	70	75	80
Espaçamento recomendado (m)							
61	30	34	37	40	43	46	49
76,2	38	42	46	49	53	57	61
91,4	46	50	55	59	64	69	73
106,7	53	59	64	69	75	80	85
121,9	61	67	73	79	85	91	98
137,2	69	76	82	89	96	103	110
152,4	76	84	91	99	107	114	122
167,6	84	92	101	109	117	126	134
182,9	91	101	110	119	128	-	-

De acordo com Shull e Dyla (1967a) cit. por Oliveira, (1993) o espaçamento máximo entre passagens sucessivas do aspersor pode ser estimado com base na equação (2.1), em função da intensidade do vento e da pressão de funcionamento do aspersor:

$$S = 52,42 - 6,48*U_3 + 0,0453*P_f + 8,0*\text{sen } \theta \quad (2.1)$$

onde:  $S$  = espaçamento máximo (m) necessário para que seja obtido um  $CU=85\%$

$U_3$  = velocidade média do vento a 4 m de altura acima do solo (m/s)

$P_f$  = pressão de funcionamento do aspersor (Pa)

$\theta$  = direcção do vento em relação à direcção de deslocamento do aspersor ( $^{\circ}$ )

#### 2.3.4.5. Falta de uniformidade no início e no fim da parcela

A rega com canhão origina sempre uma menor aplicação de água no início e no final da parcela, por falta de cobertura do modelo de distribuição da água no aspersor, que não tem possibilidade de deslocar-se a estas zonas. No início da rega, a área molhada recebe uma dotação crescente, desde zero até ao valor desejado. O mesmo ocorre no final da rega, ainda que com menor diferença na dotação aplicada (fig. 2.17 e fig. 2.18).

Para ultrapassar em parte estas deficiências, que afectam áreas pequenas, as máquinas podem equipar-se com temporizadores. Estes retardam durante um determinado período de tempo o avanço do canhão no início da parcela, e permanecem numa posição fixa no fim da parcela, antes de activarem a válvula de paragem. Estas temporizações podem ser efectuadas com fixação manual do tempo, ou por cálculo automático da duração em função da dotação programada.

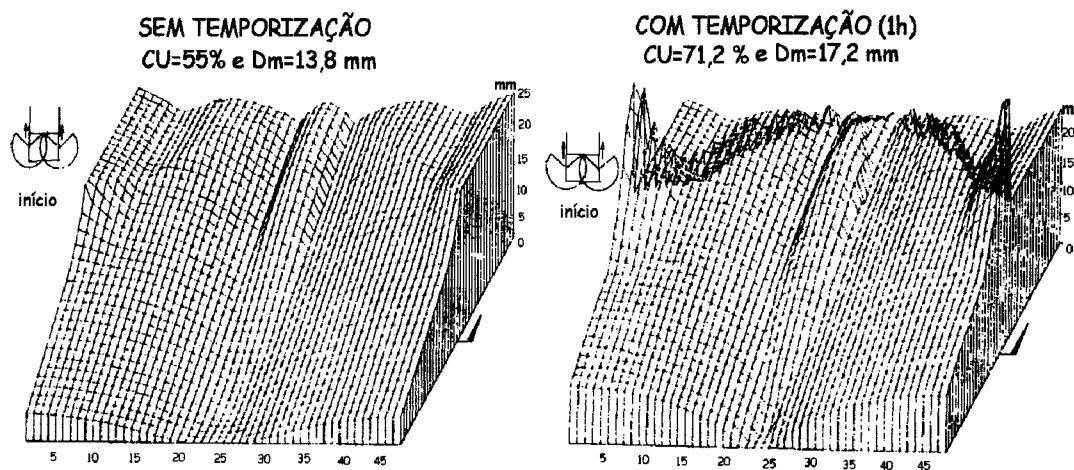


Fig. 2.17 - Diagramas que representam o início da rega com um canhão automotor com enrolador, sem e com temporização no rectângulo inicial (Rolland, 1986).

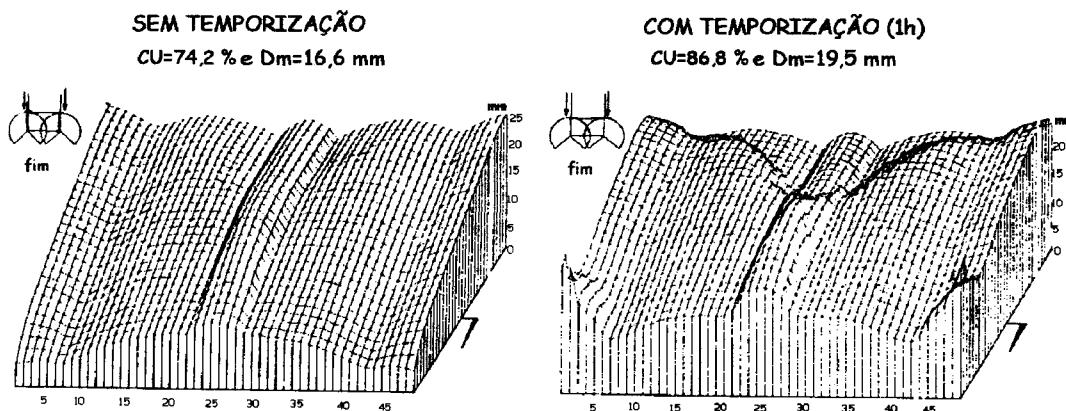


Fig. 2.18 - Diagramas que representam o final da rega com um canhão automotor com enrolador, sem e com temporização no rectângulo final (Rolland, 1986).

Keller e Bliesner (1990) consideram adequado que o canhão no início da rega se situe a uma distância (metros) -  $L_i$  - do limite da parcela igual a  $2/3$  do raio de alcance do canhão -  $r$  -:

$$L_i = 2/3 r \quad (2.2)$$

Os mesmos autores consideram que o tempo que o canhão deve regar sem se deslocar, no início da faixa -  $T_i$  -, deve ser aproximadamente igual ao que o canhão demoraria a percorrer a distância que o separa do início da faixa:

$$T_i = \frac{2}{3} \frac{\alpha}{360} \frac{r}{V_d} \quad (2.3)$$

onde:  $T_i$  = tempo de rega com o canhão parado (min)

$\alpha$  = ângulo do sector circular regado, que varia entre  $180^\circ$  e  $360^\circ$

$V_d$  = velocidade de deslocação do canhão, de acordo com a dotação desejada (m/min)

$r$  = alcance do canhão (m)

Para os canhões com enrolador, o tempo de rega sem deslocação no final da parcela será determinado pela expressão:

$$T_f = \frac{2}{3} \left( 1 - \frac{\alpha}{360} \right) \frac{r}{V_d} \quad (2.4)$$

sendo  $T_f$  o tempo de rega com o canhão parado no fim da parcela, e tendo os outros símbolos o mesmo significado que na equação anterior.

Com base nesta estratégia, a dotação de água aplicada nos limites da parcela corresponde a  $\frac{1}{2}$  da dotação aplicada (D) e aumenta até alcançar o valor de D a uma distância  $r$  do limite da parcela, permanecendo constante a partir dessa distância.

### 2.3.4.6. Perdas de carga nos tubos flexíveis de polietileno

A fig. 2.19 indica as perdas de carga em cada 100 m de tubo de polietileno (série 800 kPa), em função do débito admissível.

No entanto, a perda de carga mínima que deve considerar-se no tubo de alimentação, nos mecanismos de enrolamento e outros acessórios é de:

- 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) nos mecanismos de fole
- 100 kPa (1,0 kg/cm<sup>2</sup>) nos mecanismos de turbina.

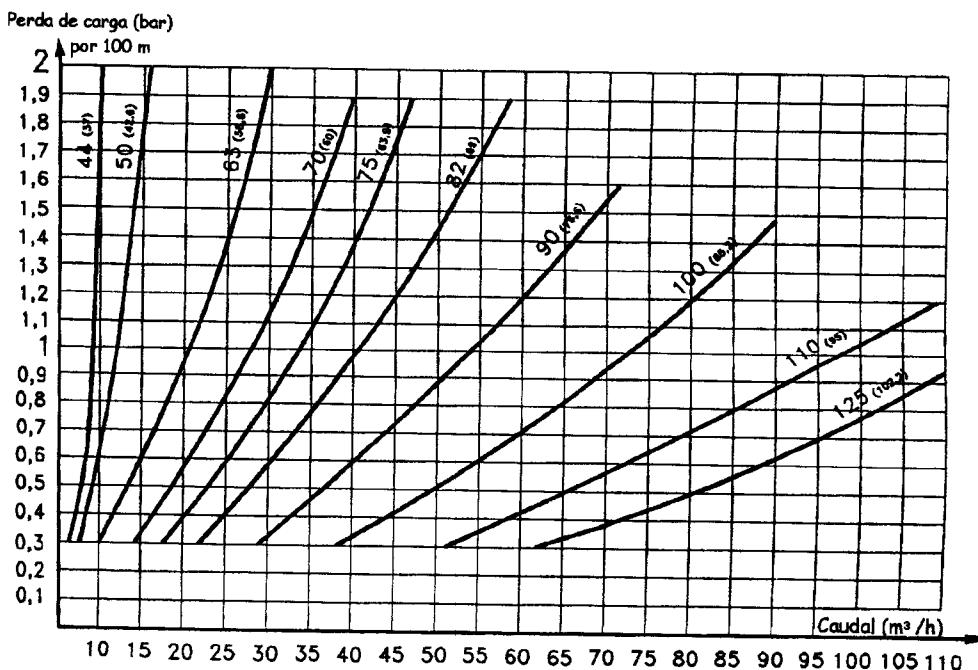


Fig. 2.19 - Ábaco de perda de carga em tubos de polietileno (série de 800 kPa) (CEMAGREF, 1992).

### 2.3.4.7. Efeito do vento

Shull e Dylla (1976a e 1976b) cit. por Heermann e Kohl (1983) estudaram o efeito do vento na uniformidade de aplicação nos canhões de

rega. Estes autores observaram que o vento alongou o modelo de distribuição da água do aspersor, no sentido da direcção do vento, encurtou o modelo com vento contrário, e restringiu o modelo quando a direcção do vento era perpendicular. O alcance do jacto do aspersor, com vento contrário, diminui aproximadamente à mesma taxa que a velocidade do vento aumenta. Com vento favorável, aumenta à medida que a velocidade do vento aumenta, mas esse aumento é proporcionalmente menor que a diminuição produzida no alcance do jacto, em situação de vento contrário. Como resultado, à medida que aumenta a velocidade do vento diminui a área molhada coberta pelo aspersor.

Se aumentar a pressão no sistema, aumenta mais a distância do que a largura molhada, quer com vento favorável, quer com vento contário. O maior aumento ocorre em situações de vento favorável. Este facto era esperado, uma vez que pressões elevadas provocam um maior fraccionamento do jacto de água e, deste modo, as gotas menores serão transportadas a maiores distâncias do que as gotas maiores, em situações de ventos fortes favoráveis.

O efeito limitativo do vento no modelo de distribuição do aspersor faz da direcção do vento um importante parâmetro na concepção destes equipamentos de rega. Estes autores obtiveram dados de um aspersor de bico circular de 27,5 mm de diâmetro e de aspersores de bico cónico com 22,9 mm e 30,5 mm de diâmetro interno. Com base nestes dados, efectuaram as seguintes recomendações:

- ① não regar quando a velocidade do vento for superior a 4,5 m/s;
- ② regar durante a noite, se possível, uma vez que na maioria das zonas ventosas a velocidade do vento diminui durante a noite;

- ③ não espaçar as linhas de rega mais do que 40% do valor recomendado pelo fabricante para condições de ausência de vento. Este espaçamento permitiu valores de Coeficiente de Uniformidade de 85% ou mais, em 78% das vezes, para velocidades do vento iguais ou inferiores a 4,5 m/s;
- ④ orientar as linhas de rega perpendicularmente à direcção predominante do vento.

Uma vez que a área molhada diminui à medida que a velocidade do vento aumenta (Shull e Dylla, 1976a 1976b cit. por Heermann e Kohl, 1983), a taxa de aplicação também aumenta e pode exceder a infiltrabilidade do solo.

#### **2.3.4.8. Perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento**

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento na rega por aspersão incluem a fracção de água que convertida em vapor, é transferida para a atmosfera e a fracção que é arrastada para fora do campo regado (Faci e Bercero, 1991).

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento durante a aplicação de água no decurso da rega por aspersão, têm sido estudadas em numerosos trabalhos de campo, laboratório e estudos analíticos. No entanto, os valores obtidos são muito dispares, uma vez que os critérios de precisão utilizados são diferentes. Assim, em experiências com pluviómetros, as perdas quantificam-se entre 2 e 40 % (principalmente entre 10 e 20%), sendo calculadas através da diferença entre a quantidade de água emitida pelos aspersores e a quantidade recolhida nos

pluviômetros. Nos estudos analíticos e de laboratório, estas perdas quantificam-se entre 0,5 e 2%. (Martin-Benito, 1995).

Heermann e Kohl (1983) consideram um intervalo de perdas por evaporação e arrastamento compreendido entre 1 e 2% da água descarregada (limite 6%), dependendo da dimensão de gota e das condições atmosféricas, tendo por base trabalhos de diferentes autores.

Keller e Bliesner (1990) consideram que em condições normais as perdas por evaporação e arrastamento variam entre 5 e 10% do caudal descarregado. Não obstante, em condições severas (baixa humidade relativa, alta temperatura, dimensão de gota muito pequeno, velocidade do vento elevada, etc) podem ser consideravelmente superiores.

O esquema apresentado na fig. 2.20 foi desenvolvido com o objectivo de servir de guia para permitir estimar a porção efectiva do caudal aplicado pelos aspersores que atinge o solo ( $P_e$ ). Os valores apresentados como porção efectiva de água aplicada que atinge o solo, para diferentes valores de evapotranspiração potencial, estão baseados em grande parte no trabalho desenvolvido por Frost e Schwalen (1955) cit. por Keller e Bliesner (1990).

Para se poder consultar a fig. 2.20 é necessário determinar a dimensão de gota produzida pelo aspersor através do índice de pulverização,  $IG$ . Este índice pode-se determinar através da seguinte fórmula (Keller e Bliesner, 1990):

$$IG = 0,032 \times \frac{P_f^{1,3}}{B} \quad (2.5)$$

onde:  $P_f$  = pressão de funcionamento do aspersor (kPa)

$B$  = diâmetro do bico (mm)

Se o valor de  $IG \leq 7$ , o jacto é grosso, deve-se consultar a parte inferior da figura, a fim de se obter o valor de  $P_e$ . Se  $IG \geq 17$ , então o jacto é fino, e deve-se consultar a parte superior da figura. Quando o valor de  $IG$  está compreendido entre 7 e 17, o valor de  $P_e$  pode ser interpolado através da seguinte expressão:

$$P_e = \frac{(IG-7)}{10} (P_e)_f + \frac{(17-IG)}{10} (P_e)_c \quad (2.6)$$

onde:  $P_e$  = porção efectiva de água emitida pelos aspersores que atinge a superfície do solo, decimal.

$(P_e)_c$  = valor de  $P_e$  retirado da curva de jacto grosso

$(P_e)_f$  = valor de  $P_e$  retirado da curva de jacto fino

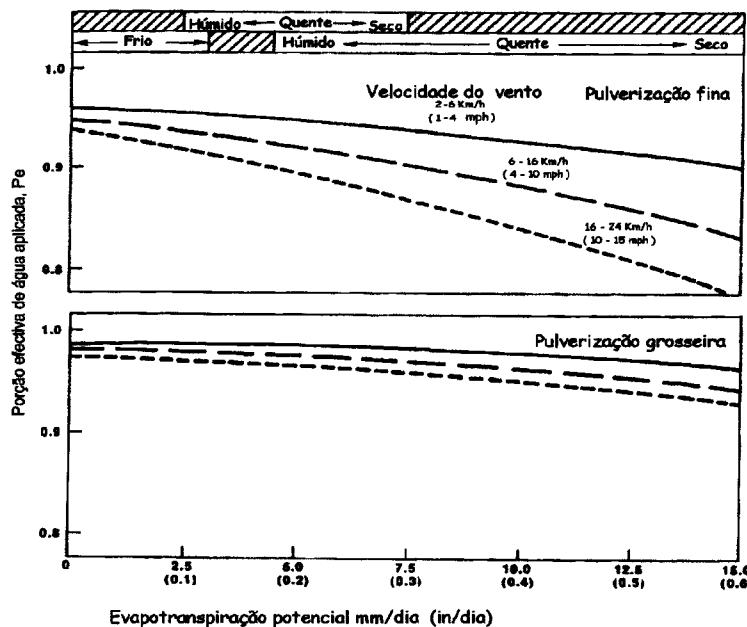


Fig. 2.20 - Porção efectiva de água aplicada pelo aspersor,  $P_e$ , que atinge a superfície do solo, para diferentes condições ambientais (Keller e Bliesner, 1990).

Em alternativa, a seguinte equação de regressão desenvolvida por Fisher e Allen (1988) cit. por Keller e Bliesner (1990) pode ser utilizada:

$$P_e = 0,976 + 0,005 ETP - 0,00017 ETP^2 + 0,0012 V - IG (0,00043 ETP + 0,00018 V + 0,000016 ETP \cdot V) \quad (2.7)$$

expressão válida para  $7 \leq IG \leq 17$ . Se  $IG < 7$  (gota grossa), deve considerar-se  $IG = 7$  e se  $IG > 17$  (gota fina), considera-se  $IG = 17$

onde:  $P_e$  = porção efectiva de água emitida pelos aspersores que atinge a superfície do solo (decimal)

$ETP$  = evapotranspiração potencial (mm/dia)

$V$  = velocidade do vento (Km/h)

$IG$  = índice de pulverização

#### 2.3.4.9. Perdas por fugas nas tubagens (Pt)

Em sistemas com uma adequada manutenção, estas perdas podem ser inferiores a 1% do caudal transportado. Deste modo, a proporção entre a água descarregada pelos aspersores e a bombeada pelo sistema estará compreendida entre  $0,99 < Pt < 1,0$ . Contudo, em instalações com manutenção insuficiente, estas perdas podem superar os 10%. Estas perdas ocorrem principalmente nos tubos porta-aspersores e nas zonas de acoplagem.

### 2.3.5. Barra de nebulizadores ou aspersores

Pode considerar-se uma variante das máquinas anteriores, onde o canhão é substituído por uma rampa ou barra com aspersores, que se apoia sobre o carro (fig 2.21). Funciona de modo semelhante aos canhões, ou seja, à custa da energia da própria água, provocando o enrolamento, num tambor, do tubo através do qual a água lhe é fornecida. Cobre, assim, de cada vez, um rectângulo com comprimento igual ao comprimento do tubo, quando desenrolado, e largura igual à largura da barra mais o eventual alcance dos aspersores nas extremidades da barra.

Esta solução é muito interessante pela grande mobilidade e adequação a diferentes condições de parcelas e culturas, apresentando nítidas vantagens em relação aos canhões, devido aos problemas de elevada pressão de serviço, dimensão de gota, distorção pelo vento etc, que estes apresentam.

Estas barras podem trabalhar com pressões muito baixas, com, difusores ou aspersores de baixa pressão (200-250 kPa) ou com aspersores de impacto de média pressão. Também podem ser equipadas com tubos suspensos, que levam na extremidade difusores e trabalham com pressões da ordem dos 50 kPa ( $0,5 \text{ kg/cm}^2$ ), localizando a água junto à planta sem molhar a folhagem. Este facto pode ser útil em culturas como o tomate e o melão, evitando uma boa parte dos tratamentos fitossanitários.

Em geral, com estas barras obtém-se melhor uniformidade de distribuição, quando comparadas com os canhões. No entanto, têm que estar bem dimensionadas, para que não produzam escorrência devido a uma reduzida largura molhada (sobretudo com tubos suspensos e

difusores), o que obriga a funcionar, em geral com baixas dotações de rega, originando um número de regas superior (Martin-Benito, 1995).

O comprimento da barra varia entre 20 e 40 metros, a largura molhada entre 20 e 50 metros, dependendo do comprimento da barra e do tipo de emissor utilizado. Necessitam de mais mão de obra que os canhões, sobretudo para a montagem e desmontagem.

Rolland (1986) refere que ensaios realizados na Alemanha Ocidental com uma barra de aspersores, em que se pretendia atingir melhor uniformidade de distribuição, os resultados obtidos foram satisfatórios. Contudo, mais ensaios eram necessários para determinar uma melhor distribuição dos aspersores sobre a barra.

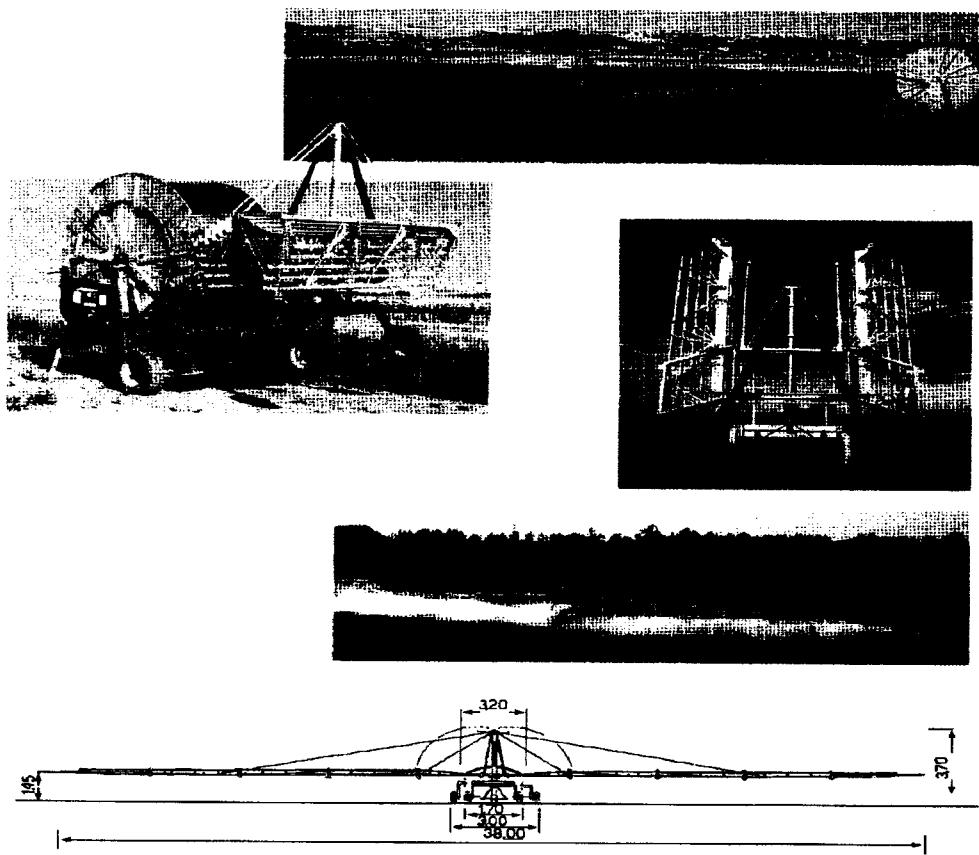


Fig. 2.21 - Exemplos de barras nebulizadoras ou com aspersores (Martin-Benito, 1995).

### 2.3.6. Dimensionamento e cálculo da rega com canhões

Um projecto de rega é composto por duas partes distintas, a agronómica e a hidráulica. Na primeira parte, aborda-se a adequação do sistema a todos os aspectos relacionados com as condicionantes do meio (solo, culturas, clima, etc), e na segunda realiza-se o dimensionamento mais económico de toda a rede de tubagens com o objectivo de conseguir uma distribuição uniforme da água de rega.

A informação de partida necessária é a seguinte (Rolland, 1986; Martin-Benito, 1995):

- A carta topográfica do terreno com curvas de nível e detalhes dos obstáculos e impedimentos para o movimento da máquina, pontos de captação de água;
- As culturas a regar, necessidades de ponta de água, profundidade radical;
- Tipo de solo, capacidade de retenção e permeabilidade;
- caudal e qualidade da água disponível;
- Pressão disponível da bomba;
- Regime de ventos.

Uma possível sequência de passos a seguir para conceber o sistema está representada no organograma da fig. 2.22.

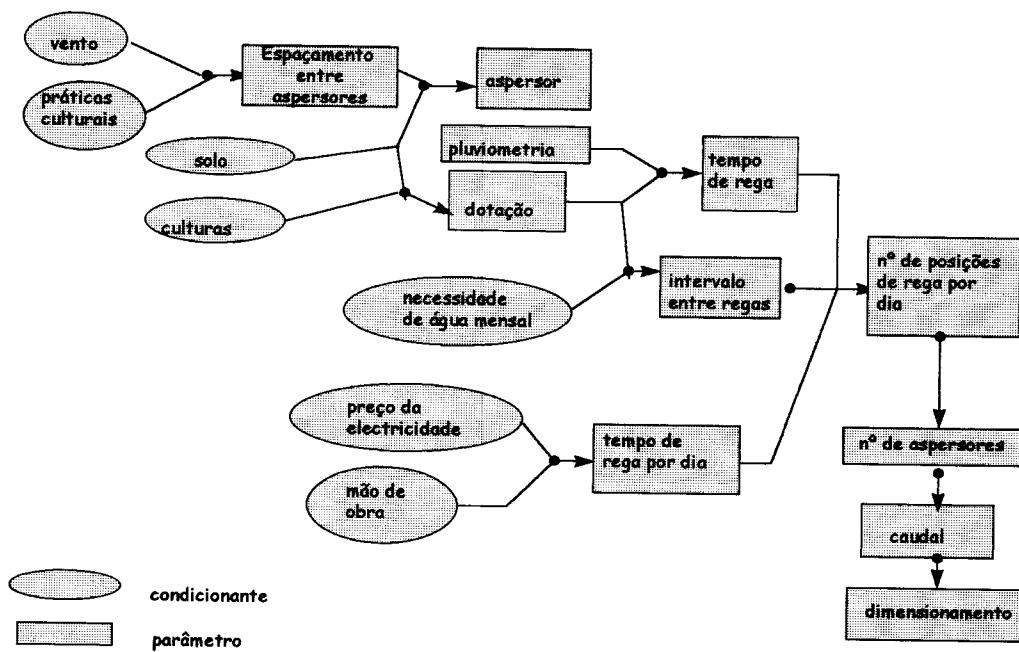


Fig. 2.22 - Possível organogramma de dimensionamento de um sistema de rega por aspersão (Adaptado de Martínez de Haro, 1993 cit. por Martin-Benito, 1995).

Conhecendo estes dados, procede-se aos cálculos para dimensionar o sistema de rega. Estes cálculos consistem em várias etapas:

① Cálculo dos parâmetros de rega:

É necessário possuir informação sobre:

- CC - capacidade de campo
- CE - coeficiente de emurcheçimento
- z - profundidade radical efectiva (m)
- $U_z$  - capacidade utilizável para uma dada profundidade z (mm)
- p - coeficiente facilmente utilizável
- $ETc$  - evapotranspiração máxima da cultura (mm/dia)
- EA - eficiência de aplicação do sistema (decimal)
- A - área a regar (ha)

- $Q$  - caudal disponível (l/s)
- $Td$  - tempo de rega por dia (h)

a) Dotação útil -  $D_u = U_z \times p$  (2.8)

b) Dotação real -  $D_r = \frac{D_u}{EA}$  (2.9)

c) Intervalo entre regas -  $Int = \frac{D_u}{ETc}$  (2.10)

② Caudal médio de bombagem necessário:

O caudal dependerá da área a regar, do número de horas de funcionamento e das necessidades máximas de água das culturas. Com este tipo de máquina, a duração máxima de uma posição de rega não deverá ultrapassar as 23 horas, ou as 11 horas se forem realizadas 2 posições por dia, a fim de se terem em conta os tempos de mudança necessários:

$$Q = \frac{ETc \times 10000 \times A}{EA \times Td \times 3600} \quad (2.11)$$

onde:  $Q$  - caudal médio necessário (l/s)

$ETc$  - evapotranspiração da cultura no período de ponta (mm/dia)

$A$  - área da parcela (ha)

$EA$  - eficiência de aplicação do sistema (decimal)

$Td$  - tempo de rega por dia (h)

③ Seleção do aspersor:

É necessário selecionar um aspersor com caudal igual ou superior ao requerido. Por outro lado, a intensidade de aplicação não deve ser superior

à infiltrabilidade do solo. O quadro 2.4 pode servir para uma estimativa desse valor, em função da textura e do tipo de cobertura do solo.

**Quadro 2.4 - Infiltrabilidade do solo em função da textura (Rolland, 1986).**

Textura do solo	Infiltrabilidade (mm/h)	
	Solo nú	Solo coberto
Arenoso	25	50
Franco-arenoso	18	38
Franco	12	25
Franco-argiloso	6	12
Argiloso	2	5

A intensidade de precipitação média que o solo deve infiltrar pode estimar-se através da seguinte equação:

$$ip_m = \frac{Q}{(E)^2} \times \frac{360}{\alpha} \quad (2.12)$$

onde:  $ip_m$  = intensidade de precipitação média (mm/h)

$Q$  = caudal (l/h)

$E$  = espaçamento entre faixas (m)

$\alpha$  = ângulo de sector molhado ( $^{\circ}$ )

#### ④ Largura de faixa aconselhada (intervalos de passagem)

A largura de faixa é função do alcance do jacto do canhão e da importância do vento na região. Segundo dados obtidos pelo CEMAGREF,

as larguras de faixa recomendadas para diferentes velocidades do vento são as indicadas no quadro 2.5 (CEMAGREF, 1992). Rolland (1986) e Keller e Bliesner (1990) recomendam os espaçamentos referidos no quadro 2.3.

**Quadro 2.5 - Largura de faixa regada dependendo da velocidade do vento (CEMAGREF, 1992).**

Importância do vento	Largura de faixa aconselhada E (m)
Até 10 Km/h (Escala Beaufort 2- brisa ligeira: as folhas estremecem)	$1,6 \times r^*$
Até 20 Km/h (Escala Beaufort 3- pequena brisa: as folhas e os pequenos ramos const. agitados)	$1,5 \times r^*$
Até 30 Km/h (Escala Beaufort 4- brisa forte: o vento revolve a poeira e as folhas)	$1,4 \times r^*$
Acima de 30 Km/h	interromper a rega

$r^*$  alcance do jacto

### ⑤ velocidade de avanço e tempo de rega

A velocidade de deslocação pode ser calculada segundo a expressão:

$$V_d = \frac{Q}{D_r \times E} \quad (2.13)$$

onde:  $V_d$  = velocidade de deslocação (m/h)

$Q$  = caudal (l/h)

$D_r$  = dotação real (l/m<sup>2</sup>)

$E$  = espaçamento entre posições de rega (m)

Uma vez realizados os cálculos é conveniente salientar que para comprovar a constância da velocidade de avanço durante o percurso total, deverá comprovar-se a velocidade em cada uma das camadas de enrolamento do tubo no tambor.

Se a diferença entre a velocidade mínima constatada e a velocidade máxima não excede os 10-15%, pode-se considerar que a regulação de velocidade funciona de forma aceitável. Se ultrapassar esse valor, deve ser ajustado um sistema de regulação. Convém referir que a maior parte dos mecanismos de regulação consiste num sensor colocado sobre o tambor de enrolamento. Este actua sobre a válvula, a qual faz variar o caudal que passa através do mecanismo de propulsão (fole ou turbina).

#### **⑥ Pressão necessária à entrada do enrolador**

Para o seu cálculo deve ter-se em conta:

- a pressão de serviço do canhão (fig. 2.13)
- perdas de carga no tubo flexível (fig. 2.19)
- perdas de carga na turbina e outros elementos do enrolador
- altura do canhão sobre o solo

#### **2.4. Avaliação do sistema de rega**

Os objectivos da avaliação dos sistemas de rega são os seguintes (Merriam *et al.*, 1983) :

- a) identificar as deficiências de concepção e de operacionalidade do sistema, e consequentemente as alternativas conducentes à correção e melhoria das condições de exploração;

- b) determinar os níveis de eficiência do sistema, no que se refere à aplicação e uniformização da distribuição da água, e sua comparação com os níveis potenciais admitidos;
- c) a obtenção de informação que permita aos técnicos melhorar a concepção de sistemas semelhantes;
- d) a obtenção de informação tendo em vista a comparação de vários métodos, sistemas de distribuição e condições de operação em bases económicas.

As técnicas de avaliação e melhoria dos sistemas de rega permitem conhecer os parâmetros implicados na aplicação da água, recorrendo a ensaios de campo. Para realizar estes ensaios, deve seleccionar-se um local representativo das condições médias da parcela.

Na rega por aspersão, os ensaios de avaliação consistem basicamente em colocar uma rede de pluviômetros no campo e medir as variáveis principais, como sejam (Martin-Benito, 1995):

- ❑ pressão de serviço e características dos aspersores;
- ❑ volume de água recolhido em cada pluviômetro;
- ❑ direcção e velocidade do vento;
- ❑ caudal de entrada;
- ❑ velocidade de deslocação;
- ❑ quantidade de água armazenada até à profundidade radical da cultura.

Contudo Livingston *et al.* (1985) referem que os dados obtidos nos testes realizados com pluviômetros não representam suficientemente bem o funcionamento do sistema, devido fundamentalmente a :

- a) a área dos pluviômetros é pequena em comparação com a superfície de solo que representam;

- b) existem perdas por evaporação nos pluviómetros;
- c) o vento pode arrastar gotas de água para fora da zona do teste,
- d) a interação do vento com a geometria dos pluviómetros faz com que as gotas de água não caiam dentro dele.

Destas considerações, a primeira pode ser a que maior repercurssão possui na exactidão dos dados recolhidos, admitindo-se normalmente uma variação de cerca de 5% sobre os valores reais (Martin-Benito, 1995).

Modificações simples, tais como alteração da pressão de funcionamento, do diâmetro do bico, duração da rega etc. podem melhorar grandemente a uniformidade de aplicação da água, permitindo uma poupança de água e mão de obra e uma melhoria dos rendimentos da cultura.

#### **2.4.1. Conceitos básicos e terminologia**

Os parâmetros de avaliação mais estudados e referidos na bibliografia, (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983; Rolland, 1986; Martin-Benito, 1995) são a uniformidade e a eficiência. No entanto, estes conceitos não têm uma terminologia e concepção única. Merriam *et al.*, (1978, 1983) utilizam o conceito proposto pelo Soil Conservation Service do USDA - Low quarter - (quartil inferior) definido como o valor médio, representativo de  $\frac{1}{4}$  da área analisada, na qual se verificaram ou estimaram os valores mais baixos. A altura de água requerida para satisfazer as necessidades da cultura (dotação útil) é definida por este critério (Merriam *et al.*, 1983; Keller e Bliesner, 1990 cit. por Martin-

Benito, 1995). Deste modo, 87,5% da área da parcela ficaria adequadamente regada.

Quando o objectivo que se pretende é identificar a qualidade do sistema de rega, os parâmetros de avaliação que devem ser considerados são (Martin-Benito, 1995):

- A Uniformidade de Distribuição (UD)
- O Coeficiente de Uniformidade (CU)
- Eficiência Potencial de Aplicação (EPA)

Convém referir o que se entende por (Merriam e Keller, 1978):

**Défice de humidade do solo - DHS** - Expressa-se em mm de altura de água e indica a secura do solo na zona radical, no momento em que se efectua a medição. Coincide com a quantidade de água que é necessário aplicar na rega, em condições normais de manuseamento.

**Défice de gestão permissível - DGP** - Corresponde à altura de água que pode ser extraída da zona radical entre regas consecutivas, sem que tal afecte significativamente a produção esperada para a cultura em exploração.

Representa o valor desejado de DHS, no momento da rega.

#### 2.4.1.1. Conceito de Uniformidade

A Uniformidade de Distribuição (UD) é um conceito utilizado para expressar a uniformidade de aplicação da água. É normalmente definido como:

$$UD (\%) = \frac{Drec_{qi}}{Drec} \quad (2.14)$$

onde:  $D_{rec_{qi}}$  = Altura média de água recolhida em 25% dos pluviômetros que menos recolhem

$D_{rec}$  = Altura média de água recolhida nos pluviômetros

A média de água infiltrada no quartil inferior é a mais baixa dos valores medidos ou estimados, onde cada valor representa uma área igual. No caso da rega por aspersão, a altura de água infiltrada presume-se igual à altura aplicada ou recolhida na superfície do solo, se não existir escorramento (Merriam e Keller, 1978).

A Uniformidade de Distribuição é um bom indicador da magnitude dos problemas surgidos no processo de aplicação da água. Valores de uniformidade de aplicação inferiores a 67% são geralmente inaceitáveis (Merriam e Keller, 1978).

Outro parâmetro muito utilizado com o mesmo fim é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU). O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen é uma representação estatística da uniformidade utilizado principalmente nos sistemas de rega por aspersão (Martin-Benito, 1995). Expressa-se em percentagem através da seguinte expressão:

$$CU = \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M \cdot nt} \right) \times 100 \quad (2.15)$$

onde:  $M$  = valor médio de água recolhida nos pluviômetros

$nt$  = nº total de pluviômetros

$\sum |d|$  = soma dos valores absolutos dos desvios de cada pluviômetro em relação à média.

Nos testes em que se observem valores de CU > 70% usualmente estes têm uma distribuição normal e razoavelmente simétrica em relação à média. Deste modo, o CU pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$CU = \frac{Drec_{0,5}}{M} \times 100 \quad (2.16)$$

onde:  $Drec_{0,5}$  = Média da altura de água recolhida em 50% dos pluviómetros que menos recolhem

$M$  = valor médio de água recolhida nos pluviómetros

e a relação entre a UD e o CU pode ser do tipo (Keller e Bliesner, 1990):

$$CU \approx 1 - 0,63 (1 - UD) \quad (2.17)$$

Mesmo utilizando aspersores praticamente idênticos, a funcionar simultaneamente, os dados obtidos nos testes de uniformidade podem variar numa percentagem significativa (Keller e Bliesner, 1990). Usualmente, a precisão dos dados resulta num desvio de  $\pm 1$  a  $2\%$ . Resultante deste facto, a variação normal do CU,  $V_{CU}$  (Solomon, 1978 cit. por Keller e Bliesner, 1990), e a variação da UD,  $V_{UD}$ , podem ser calculadas através das seguintes expressões:

$$V_{CU} (\%) = \pm [0,2(100 - CU)] \quad (2.18)$$

$$V_{UD} (\%) = \pm [0,2(100 - UD)] \quad (2.19)$$

#### 2.4.1.1. Factores que afectam a uniformidade de aplicação e a sua medição

A uniformidade de aplicação depende de várias variáveis a ter em conta na concepção e dimensionamento do sistema ( nomeadamente o aspersor, diâmetro e tipo de bico, pressão e espaçamento), e da velocidade do vento, como a variável mais incontrolável. Muitos outros factores, para além destes cinco, podem afectar o resultado de um teste para determinação do Coeficiente de Uniformidade (CU). Estes podem ser incluídos em duas classes (Solomon, 1979).

A primeira envolve incertezas devidas ao método experimental. Imprecisões nas medições efectuadas (volume recolhido, velocidade do vento, pressão, etc) durante o decorrer do teste, contribuem para variações no CU de teste para teste.

A segunda causa da variação do CU em situações idênticas (pelo menos assim consideradas) envolve condições climáticas não consideradas anteriormente. São elas, a direcção do vento, a variabilidade do vento e a evaporação que ocorre durante o teste.

Por todas estas razões, são esperadas variações nos resultados dos testes do CU. A causa mais significativa da variação do CU é o facto de que nem todos os factores importantes são controlados ou mesmo medidos ou referidos.

#### 2.4.1.2. Conceito de eficiência

De acordo com Keller *et al.* (1981), no sentido de poder comparar as características de funcionamento dos diversos sistemas e permitir a

tomada de decisões com base nos valores estimados, o conceito de eficiência deve constituir uma medida da adequação da rega, uniformidade de aplicação e perdas. Podem defenir-se:

**a) Eficiência de Aplicação (EA) no quartil inferior**

Este parâmetro indica a percentagem de água aplicada (calculada a partir do caudal do aspersor), que é armazenada na zona radical e consumida através da evapotranspiração, durante o período de rega.

$$EA = \frac{Du_{qi}}{Da} \times 100 \quad (2.20)$$

onde:  $Du_{qi}$  = Média de 25% dos valores mais baixos da altura de água

infiltrada e armazenada na zona radical

$Da$  = Altura média de água aplicada

O volume médio de água infiltrado e armazenado no quartil inferior é determinado calculando a média de  $\frac{1}{4}$  dos valores mais baixos registados durante a avaliação, considerando que cada valor é representativo de igual área. O seu valor não pode exceder o défice de humidade do solo.

Quando a média de 25% das observações de menor valor ultrapassar o valor do défice de humidade do solo, o numerador da equação será igual a esse valor. É que para além desse valor, a água infiltrada não fica armazenada à disposição das raízes, perdendo-se por percolação em profundidade.

Este conceito, representa portanto, a percentagem do volume de água aplicado que fica efectivamente armazenado no perfil de solo explorado pelas raízes. Não representa um conceito útil na avaliação

actual de um sistema de rega, uma vez que não dá ideia da adequabilidade desta (altas eficiências podem ser obtidas com rega deficitária), nem da uniformidade de distribuição.

### b) Eficiência Potencial de Aplicação (EPA) no quartil inferior

A Eficiência Potencial de Aplicação (EPA) representa o valor de eficiência que normalmente se atribui ao sistema, e coincide com o valor da Eficiência de Aplicação (EA), quando a média de 25% das observações mais desfavoráveis é suficiente para satisfazer o défice de humidade do solo (DHS) e o DHS é igual ao défice de gestão permissível (DGP) em toda a área.

A diferença entre os conceitos de Eficiência de Aplicação (EA) e Eficiência Potencial de Aplicação (EPA) é uma medida dos problemas de gestão da rega. Um baixo valor de EPA é indicativo de problemas na concepção e dimensionamento do sistema de rega, enquanto que um valor baixo de EA é indicativo de uma má gestão da água de rega. Para efeitos de comparação de sistemas e métodos de rega, deve ser usado unicamente o conceito de EPA (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983):

$$EPA (\%) = \left( \frac{Drec_{qi}}{Da} \right) \times 100 \quad (2.21)$$

onde:  $Drec_{qi}$  = Altura média de água recolhida em 25% dos pluviómetros

que menos recolhem

$Da$  = Altura média de água aplicada

## 2.5. Infiltração e Precipitação

A infiltrabilidade do solo representa o fluxo de água que o solo pode absorver a partir da sua superfície, quando em contacto com a água à pressão atmosférica. Depende de factores externos ao solo (taxa de fornecimento de água ao solo, sob forma de precipitação ou rega, por exemplo) e de factores internos, nomeadamente do teor de humidade inicial, sucção, textura e uniformidade do perfil.

A infiltração faz-se sob combinação dos gradientes de sucção e gravitacional. A modificação brusca das condições de pressão da superfície do solo no início de uma precipitação ou submersão faz aparecer um gradiente de sucção muito elevado nos primeiros centímetros de solo. À medida que a zona molhada se desenvolve em profundidade, a distância sobre a qual actua a diferença de sucção aumenta, diminuindo o gradiente de sucção, que se torna cada vez mais fraco, até que o escoamento acaba por se fazer apenas sob o efeito de um gradiente unitário gravitacional. A taxa de infiltração decresce rapidamente e tende assintoticamente, se o processo for suficientemente longo, para uma taxa praticamente constante, designada por infiltrabilidade final.

São conhecidas várias equações que fornecem um valor de  $i$  em função do tempo. Umas têm base analítica (equação de Green e Ampt (1911); equação de Philip (1957), outras de formulação empírica (equação de Kostiakov (1932); equação de Horton (1940). Uma das equações empíricas mais utilizada é a de Kostiakov. Representa a altura acumulada de água infiltrada  $I$  (geralmente expressa em mm) em função do tempo de infiltração  $t$  por uma equação em forma de potência:

$$I = a t^n \quad (2.22)$$

sendo  $a$  e  $n$  constantes empíricas, características de um determinado solo. O valor de  $n$  está compreendido entre 0 e 1 (infiltrabilidade decrescente). Muitos autores apresentam a fórmula de Kostiakov na forma derivada:

$$i = \frac{dI}{dt} = a n t^{n-1} \quad (2.23)$$

De acordo com a equação de Kostiakov, à medida que aumenta o tempo, tendendo para infinito, a infiltrabilidade tende para zero, não para um valor constante e positivo  $if$  que se possa tomar como aproximação à condutividade hidráulica  $K$ .

Por isso, alguns autores preferem utilizar a equação de Kostiakov modificada:

$$I = a t^n + if t \quad (2.24)$$

$$i = a n t^{n-1} + if \quad (2.25)$$

em que a infiltrabilidade  $i$  tende para o valor constante final  $if$  quando o tempo tende para infinito.

A questão do valor da intensidade de precipitação "permitida" com uma instalação clássica de rega por aspersão é encarada em comparação com o valor da taxa de infiltração do solo, que não deve ser excedida. A intensidade de precipitação média,  $ip_m$ , não deve exceder um certo limite, função das características do terreno, ou, melhor, da velocidade de infiltração de água no perfil do solo (Raposo, 1980 cit. por Serafim, 1994). Como orientação, podem considerar-se os valores já apresentados no quadro 2.4.

No caso da rega com sistemas móveis, em que por vezes as intensidades de aplicação são superiores às taxas de infiltração da água no solo, o potencial escorramento superficial da água pode ser reduzido aumentando a velocidade de deslocação do sistema e reduzindo a quantidade de água aplicada por cada rega.

De acordo com Heermann e Kohl (1983), experiências de campo concluiram que sistemas equipados com aspersores rotativos de alta pressão produzem menos escoamento superficial do que os equipados com nebulizadores.

Considerando o solo de iguais características ao longo da faixa, ou seja, com semelhante taxa de infiltração, como a intensidade de precipitação nos canhões automotores é máxima na proximidade da linha de movimento do aspersor, é nesta zona que se verificam os maiores problemas de escorramento ou retenção superficial.

A formação de crosta superficial, que ocorre nalguns solos devido à fragilidade estrutural que apresentam na sua parte superior, diminui a taxa de infiltração e conduz a maiores escorrimientos e maior retenção superficial. Isto deve-se ao facto das crostas superficiais apresentarem maior densidade aparente, poros mais finos e menor condutividade hidráulica saturada que o solo inferior (Santos Júnior, 1987).

### **2.5.1. Fases do processo precipitação - infiltração**

No processo de precipitação - infiltração reconhecem-se três fases características, sequenciais no tempo, como se pode observar na fig. 2.23:

- a 1<sup>a</sup> fase, desde o início do processo até ao instante  $t_s$ , em que a intensidade de precipitação é inferior à infiltrabilidade,  $i(t) < q(t)$ . Para  $t = t_s$  é  $i(t) = q(t)$ .

- a 2<sup>a</sup> fase corresponde ao intervalo de tempo em que a intensidade de precipitação é superior à infiltrabilidade  $i(t) > q(t)$ . É nesta fase que ocorre o excesso de água sobre o solo. Define-se excesso como a fração de altura de água aplicada com intensidade de precipitação superior à taxa de infiltração do solo. No instante  $t_f$ ,  $i(t) = q(t)$ .

- a 3<sup>a</sup> fase, desde o instante  $t_f$  até ao final da chuvada durante a qual a intensidade de precipitação é sempre inferior à infiltrabilidade,  $i(t) < q(t)$ .

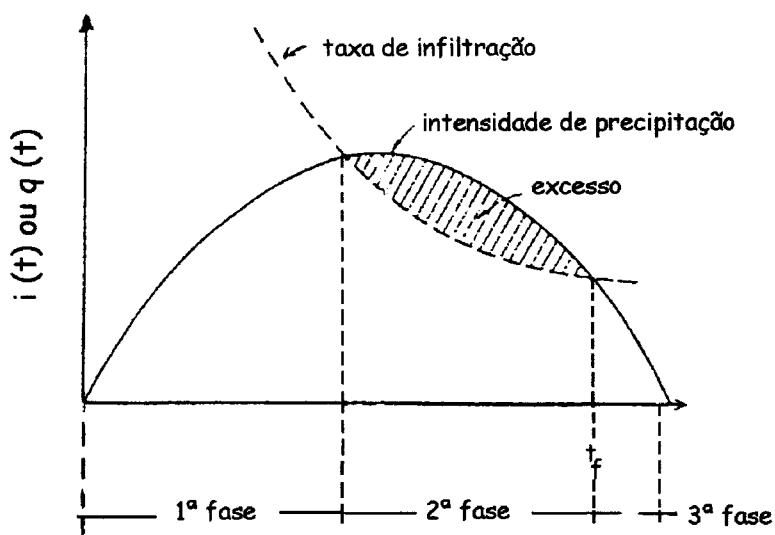


Fig. 2.23 - Abordagem clássica da problemática da precipitação e infiltração (Serafim, 1994).

### 2.5.2. Medição da infiltração

Existe uma variedade de métodos que podem ser utilizados para medir a infiltração directamente no campo, baseados, na sua generalidade, no princípio da inundaçāo de uma determinada área confinada, e medição da taxa de entrada de água no solo.

Shockley (1968) citado por Dillon (1972), descreve um processo para obtenção das curvas de infiltração, em que o simulador é a própria máquina de rega que, durante todo o tempo, se mantém imóvel, funcionando apenas o equipamento de aspersão. São colocados recipientes sobre o solo, perpendicularmente à máquina de rega e equidistantes de 1,5 m, com a função de recolher a precipitação. O objectivo consiste em garantir, sobre cada ponto do terreno, a ocorrência de uma aplicação de intensidade uniforme, durante o tempo necessário para se produzir empoçamento.

No entanto, quando se pretende uma avaliação prévia da infiltração antes da instalação dos sistemas de rega por aspersão, existe a necessidade de recorrer a outros métodos, entre os quais os mais utilizados são:

- os infiltrómetros de submersão
- os infiltrómetros de sulcos
- os infiltrómetros de aspersão

conforme se trate de uma aproximação às condições de exploração utilizando a rega por gravidade, nas suas variantes submersão ou escorramento em sulcos, ou aspersão respectivamente, embora, na maioria dos casos, o primeiro seja o mais largamente utilizado,

independentemente do método de rega, dada a sua menor exigência em termos de material.

Um infiltrómetro de aspersão foi desenvolvido por Beggs (1981) citado por Keller e Bliesner (1990), que tentou fornecer uma taxa de aplicação uniforme sobre uma pequena área debaixo de um aspersor de cabeça rotativa. Contudo, provou a dificuldade em obter tais aplicações sobre uma pequena área molhada com este tipo de aparelho.

Reinders e Louw (1984) desenvolveram um infiltrómetro de aspersão constituído sinteticamente por:

- um recipiente que funciona como fonte de abastecimento de água;
- um aspersor rotativo;
- uma bomba accionada por um motor de explosão;
- um recipiente com uma abertura lateral, no qual é colocado o aspersor. Através dessa abertura, passa o jacto que vai pulverizar uma área aproximadamente triangular. Nesta área são colocados, radialmente, recipientes com intervalos de 0,5 m (fig. 2.24), que efectuam a recolha da água projectada.

O teste deve ser realizado no solo dominante da parcela, o qual deve ser submetido a pelo menos duas regas antes do início de cada teste. A razão para esta exigência é a formação de crosta na superfície do solo que provoca grande impacto no processo de infiltração. Os resultados revelaram que a formação de crosta pode reduzir a aplicação de água de 25 mm para 2,5 mm (Reinders e Louw, 1984).

São necessários, no mínimo, três pares de valores (volume-tempo) para um teste completo. A duração de cada teste deve ser de pelo menos

30 minutos (Reinders e Louw, 1984). Depois de efectuado o teste há duas opções:

1. o aparelho é deslocado para um ponto próximo e o processo é repetido;
2. se o processo for repetido no mesmo local, são necessários alguns dias de tempo seco para que se possa repetir o teste, uma vez que são precisos dois a três testes de infiltração (Keller e Bliesner, 1990).

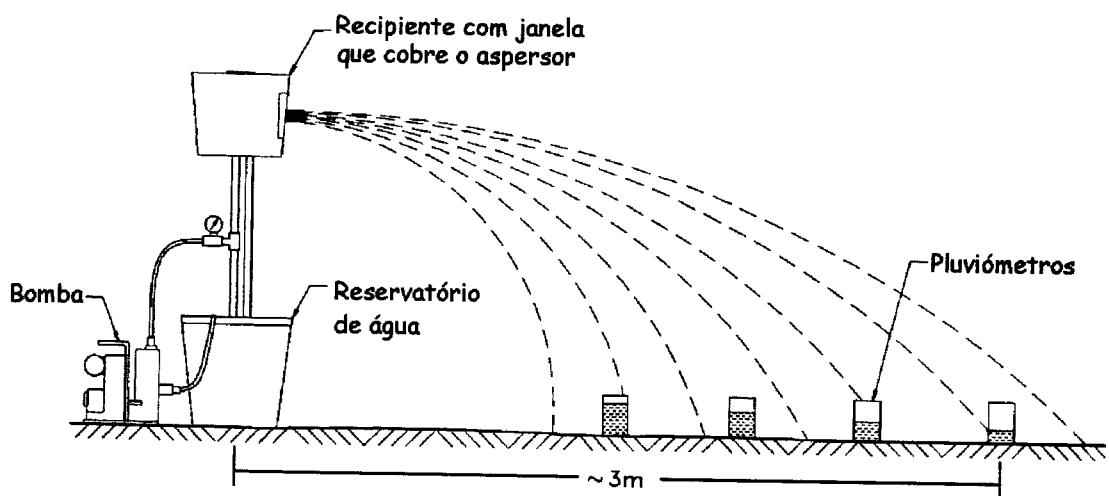


Fig. 2.24 - Esquema do teste de infiltração com o infiltrómetro por aspersão (Keller e Bliesner, 1990).

## CAPÍTULO III- MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. Caracterização do local de ensaio

#### 3.1.1. Localização geográfica

O campo de ensaios localiza-se na Herdade do Cabido, pertencente à Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas, no perímetro de rega do Divor, com a qual a Universidade de Évora tem um protocolo de cooperação. Situa-se a cerca de 5 Km da Vila de Arraiolos e pertence ao distrito de Évora. O ensaio decorreu entre Maio e Setembro de 1997.

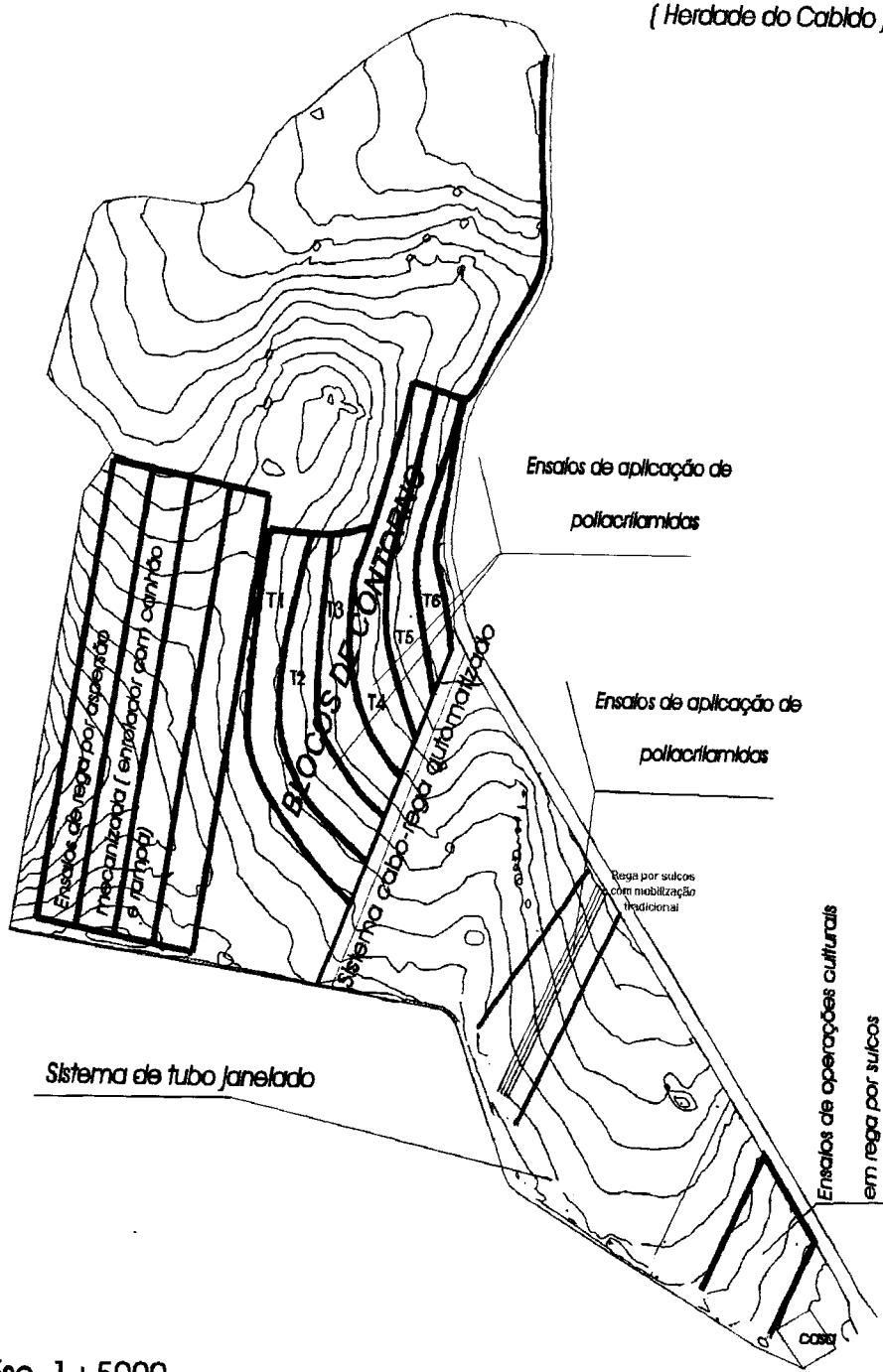
#### 3.1.2. Caracterização topográfica

O campo de ensaios está inserido num projecto que pretende efectuar um estudo comparativo dos métodos de rega no Alentejo para apoio à decisão de escolha dos métodos e ao projecto de sistemas. As condições topográficas representam bem a situação dominante nos regadios alentejanos, apresentando terrenos ondulados.

Como se pode observar na (fig. 3.1), o ensaio localiza-se junto ao troço secundário do canal do Divor, do qual a água era bombeada. Apresenta declives compreendidos entre os 3% e 3,5%.

**CAMPO DE ENSAIOS DO DNOV**

(Herdade do Cabido)



Esc. 1 : 5000

Fig. 3.1 - Esquema do campo de ensaios.

### 3.1.3. Caracterização hidropedológica

A área onde se realizou o ensaio encontra-se representada na Carta de Solos de Portugal nº 36-C e na Carta Complementar de Solos nº 438.

Os solos são classificados, segundo Cardoso (1965) como Solos Argiluviados pouco insaturados da família Pmg - Solos Mediterrâneos Pardos Normais de Quartzodioritos.

Como características gerais esta família de solos apresenta uma camada superficial de textura arenosa (ligeira) com transição nítida ou abrupta para uma textura mais pesada resultante de uma alteração do tipo de argila no horizonte B. A capacidade de troca catiónica é muito variável, acompanhando em regra a curva da argila. O grau de saturação é muito elevado, quase sempre superior a 75% e aumenta geralmente com a profundidade. "A capacidade de campo tem valores moderados ou elevados, a capacidade utilizável aparenta ser baixa nos horizontes superficiais e mediana nos inferiores e permeabilidade lenta. São solos dificilmente penetráveis pelas raízes, não há pois que contar muito com eles para o fornecimento às plantas de quantidades importantes de humidade" (Cardoso, 1965).

Ramos (1995) desenvolveu o seu trabalho neste mesmo campo de ensaios e caracterizou o solo no que diz respeito às suas relações com a água. Para tal procedeu à abertura de oito perfis distribuídos pelo campo de ensaio. Realizou a sua descrição de campo e efectuou a recolha de cinco amostras não perturbadas e uma amostra perturbada, por profundidade. Estas amostras foram depois utilizadas para a determinação da densidade aparente e valores de retenção da água no solo.

### 3.1.3.1. Densidade aparente do solo

A densidade aparente (Dap) do solo, é a razão entre a massa da parte sólida de um dado volume de solo (volume ocupado pelas partículas sólidas + volume ocupado pelos seus interstícios ou poros) e a massa de igual volume de água (Costa, 1965). Trata-se pois de uma grandeza adimensional.

Neste estudo foram utilizados os dados já determinados por Ramos (1995), uma vez que realizou os seus trabalhos no mesmo local onde se realizaram os ensaios.

Para a sua determinação Ramos (1995) recolheu cinco amostras não perturbadas por profundidade, recorrendo a uma sonda com anéis de volume conhecido ( $99,2\text{ cm}^3$  e  $97,15\text{ cm}^3$ ). Depois de recolhidas no campo, as amostras foram para o laboratório, onde se colocaram numa estufa a  $105^\circ\text{C}$ , durante 24 horas, a fim de se conhecer o seu peso seco.

O valor da densidade aparente foi obtido através da seguinte expressão:

$$Dap = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Psa}{Va} \right)}{n} \quad (3.1)$$

onde:  $Psa$  = peso seco da amostra (g)

$Va$  = volume da amostra ( $\text{cm}^3$ )

$n$  = número de amostras

No quadro 3.1 apresentam-se os valores de densidade aparente obtidos por Ramos (1995) para as diferentes profundidades.

Quadro 3.1 - Valores de densidade aparente.

Prof. (cm)	Perf.1	Perf.2	Perf.3	Perf.4	Perf.5	Perf. 6	Perf. 7	Perf. 8	Média
0-10	1,54	1,62	1,54	1,56	1,57	1,55	1,64	1,56	1,58
10-20	1,46	1,54	1,65	1,63	1,63	1,61	1,64	1,6	1,6
20-40	1,66	1,57	1,37	1,75	1,75	1,74	1,71	1,7	1,66
40-50	1,68	1,48	1,49	1,6	1,61	1,62	1,48	1,47	1,55
50-60	1,49	1,55	1,88	1,63	1,65	1,53	1,6	1,47	1,63

### 3.1.3.2. Valores de retenção da água no solo

Para efectuar a recolha de amostras não perturbadas Ramos (1995) utilizou anéis volumétricos de dois volumes: 99,2 cm<sup>3</sup> e 97,15 cm<sup>3</sup>. Colheu cinco amostras por profundidade, totalizando 25 anéis por perfil. Os anéis foram colocados em suportes guia e, com o auxílio de um martelo, foram enterrados perpendicularmente à parede do perfil de modo a que todo o volume do anel fosse preenchido com o solo. Depois de recolhidas, as amostras foram identificadas e acomodadas numa caixa de madeira própria para o transporte de amostras não perturbadas. Estas amostras foram utilizadas para a determinação dos valores de pF 2,0 (CC); 2,6; 3,0; 3,5. Com as amostras perturbadas determinou os valores de pF 3,7; 4,2 (CE).

O valor mais baixo, pF 2,0 (-10 kPa) foi determinado pelo método da placa de succão e os valores de pF 2,6; 3,0; 3,5 (-40 kPa; -100kPa; -300kPa) foram determinados através do método da placa de pressão, métodos desenvolvidos por Richards (1928 e 1948, respectivamente) cit. por Costa (1979). Durante estes processos as amostras foram saturadas e

sujeitas aos valores de sucção, expressos em kPa. Após a extração da água do solo contra cada uma das forças aplicadas, pesaram-se as amostras húmidas e de seguida foram secas em estufa a 105 °C até peso constante para determinação da humidade retida. Pela diferença entre capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento, determinou a capacidade utilizável do solo.

Os valores de capacidade utilizável obtidos por Ramos (1995) apresentam-se no quadro 3.2.

**Quadro 3.2 - Valores de retenção da água no solo.**

Profundidade (cm)	CC (% vol)	CE (% vol)	CU (% vol)	Armazenamento (mm)
0 - 10	19,9	9,7	10,2	10,2
10 - 20	20,1	10,9	9,2	9,2
20 - 40	21,9	11,4	10,5	21,0
40 - 50	26,8	14,2	12,6	12,6
50 - 60	29,5	16,6	12,9	12,9

$$CU \text{ potencial} = 65,9 \text{ mm}$$

### **3.2. Descrição do equipamento de rega**

#### **3.2.1. Canhão automotor com enrolador**

O canhão automotor com enrolador, modelo IRROMOTOR 70 (63/270) da VALDUCCI (fig. 3.2) é composto por três partes :

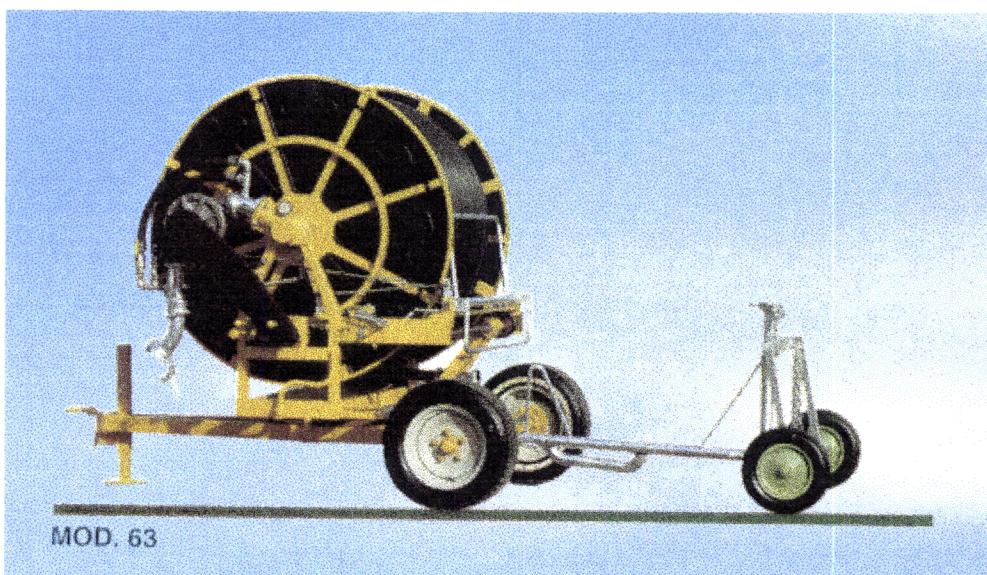


Fig. 3.2 - Canhão automotor com enrolador modelo IRRIMOTOR 70 (63/270) da VALDUCCI.

① **Carro suporte do tambor :**

É constituído por um chassis com barras de material galvanizado a quente e duas rodas pneumáticas. O chassis suporta a parte fixa do tambor, que possui uma rotação de 360°.

Sobre o chassis que suporta o tambor está montado uma barra metálica que permite recolher o carro de transporte do canhão quando termina a rega da parcela. Um dispositivo automático eleva a barra com o carro e interrompe a rega.

O carro suporte do tambor possui um dispositivo que guia o tubo durante o enrolamento, de forma que as camadas da espiral fiquem adjacentes. A peça que guia o tubo é uma pequena barra, com suportes laterais arredondados para não danificar o tubo de polietileno. O enrolamento regular do tubo realiza-se mediante um braço com espiras cruzadas, que roda accionado por um carreto ligado a outro fixo ao tambor (fig. 3.3).



Fig. 3.3 - Guia do tubo de polietileno mediante um braço com espiras.

② Tambor com o tubo de polietileno :

É formado por um cilindro de material zincado a quente, reforçado por raios, fixos a barras soldadas ao interior do cilindro. O eixo do tambor é sustentado por dois apoios soldados no chassis do carro suporte do tambor. O tubo de polietileno está enrolado no cilindro em camadas justapostas.

O tambor é accionado por uma turbina de fluxo parcial de água que alimenta o canhão, passando a restante água por uma conduta de derivação. Do caudal admitido pela conduta de derivação, depende o que chega à turbina. A velocidade de rotação da turbina e portanto do enrolamento do tambor, podem ser regulados, mediante o controlo manual de quantidade de água que passa pela conduta de derivação (fig. 3.4). A turbina actua, por transmissão de correias, sobre uma caixa redutora

constituída por parafusos semfim e rodas dentadas, ligada através de uma embraiagem de alavanca ao veio de transmissão; este último por corrente, produz a rotação do tambor.

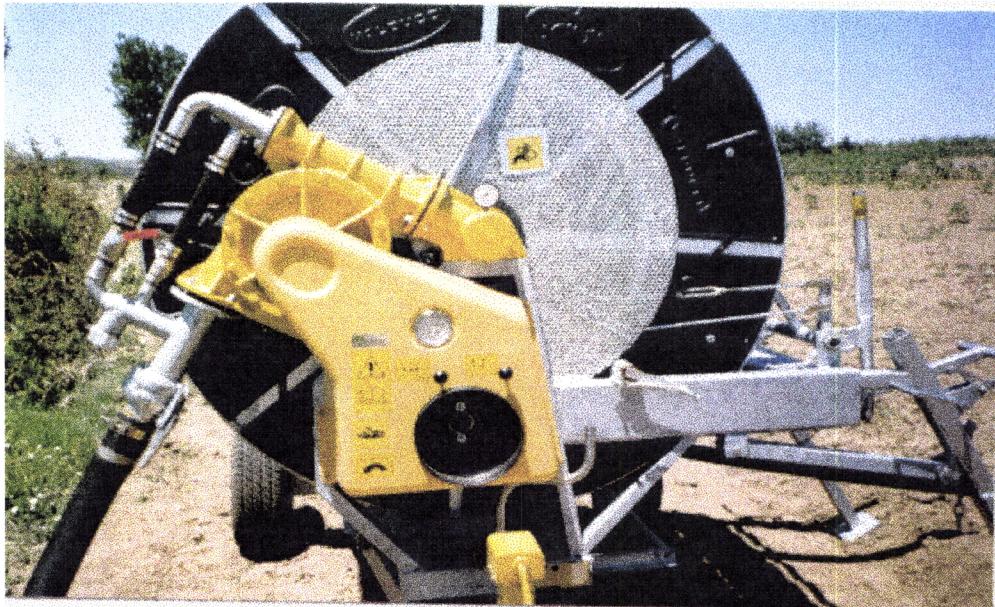


Fig. 3.4 - Canhão automotor equipado com um sistema de turbina de fluxo parcial.

③ **Carro de transporte do canhão ou da barra de aspersores:**

É composto por três rodas que garantem a sua estabilidade. Possui um tubo vertical rígido, com uma curva de 90° na base, ao qual se liga o tubo de polietileno. No extremo superior poderá fixar-se o canhão ou a barra com aspersores.

As dimensões do enrolador podem ser observadas na fig. 3.5. O carro suporte do tambor com o tambor (L) tem 3,9 m de comprimento, 1,7 m de largura entre as rodas (F) e 2,23 m de altura (H). O peso do equipamento é de 1065 kg.

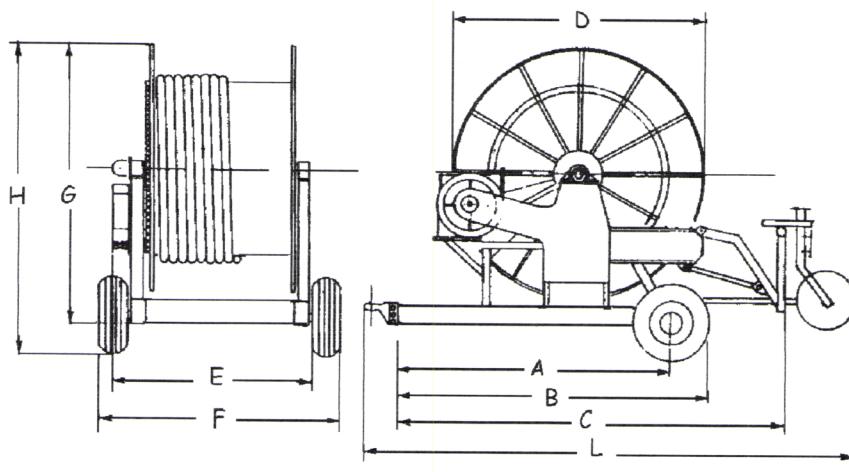


Fig. 3.5 - Dimensões do canhão automotor com enrolador.

### 3.2.2. O aspersor

O canhão automotor IRROMOTOR 70 está equipado com um aspersor MIZAR (fig. 3.6), com um caudal compreendido entre 12,6 a 27,0  $\text{m}^3/\text{h}$  dependendo do bico com que está equipado e da pressão da água na base do canhão. Os dados técnicos podem-se observar no anexo I. Apresenta as seguintes características:

- braço de avanço provido com a colher de guia de posição regulável para variar a velocidade de rotação e de pêndulo registável para variar a frequência dos batimentos;
- braço de inversão que não necessita de regulação;
- intermitência do jacto para assegurar uma perfeita distribuição de água em toda a superfície regada.



Fig. 3.6. Aspensor Mizar de braço oscilante.

### 3.2.3. Barra com aspersores

A barra de rega possui uma largura física de 30 m, estrutura em aço galvanizado, e é constituída por uma torre central móvel e articulada, com braços laterais amovíveis, providos de sistema de engate rápido e sustentados por meio de cabos de aço reguláveis.

Uma vez que se pretendia avaliar o comportamento de aspersores de impacto de média pressão e não de nebulizadores, pois estes possuem uma intensidade pluviométrica elevada, adaptou-se uma estrutura com tubos de PVC onde se instalaram os aspersores (fig. 3.7). As características dos aspersores utilizados apresentam-se no anexo II.



Fig. 3.7 - Barra com aspersores.

### 3.2.4. Sistema de bombagem

A bombagem da água faz-se através de um grupo motor/bomba, constituído por um motor, directamente acoplado a uma bomba Tecnidráulica Tipo 402 S. A bomba possui um manómetro que permite medir a sua pressão de elevação. Quando se utilizou o canhão bico 14 mm a funcionar com uma pressão de 650 kPa, utilizou-se uma bomba EFACEC tipo NJ/NJM 50-250. As respectivas curvas apresentam-se no Anexo III.

### 3.3. Projecto de implantação

Uma vez que o campo de ensaio se situa numa exploração agrícola, enquadrando-se o ensaio na actividade do agricultor, as necessidades hídricas das culturas tiveram que ser minimamente satisfeitas. Deste modo, elaborou-se um esquema de rega como ponto de referência para a gestão da rega na cultura. Apesar disso, o esquema não foi sempre cumprido, uma vez que o objectivo do trabalho consistia em analisar o desempenho da máquina com várias configurações e tipos de aspersores, o que exigiu tempo de preparação, fazendo ultrapassar a oportunidade de algumas regas, rompendo assim o esquema inicialmente traçado, que no entanto se descreve a seguir. Saliente-se ainda que esta aproximação de projecto constitui uma estimativa das capacidades de serviço da máquina em relação a uma área-projecto, que era toda a área do bloco em que se realizou o ensaio (a verde na fig. 3.1). As regas de ensaio enquadravam-se assim nesse esquema geral de trabalho da máquina.

#### 3.3.1. Necessidades hídricas de ponta

As necessidades hídricas de ponta da cultura foram determinadas a nível de projecto, com o objectivo de efectuar uma previsão dessas necessidades para, com base nelas, dimensionar as diversas partes constituintes do sistema. Para tal utilizaram-se os valores médios mensais verificados no período 1964-1991 na estação meteorológica de Évora (Anexo IV).

Para o cálculo das necessidades hídricas da cultura seguiu-se o método da FAO (Doorenbos e Kassam, 1988), utilizado pelo programa "Cropwat" (Smith, 1991).

O programa "Cropwat" utiliza uma versão simplificada da fórmula de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência, considerando apenas valores médios da humidade relativa e temperatura. Os parâmetros culturais, considerados para a estimativa inicial do consumo hídrico da cultura, foram os sugeridos pela FAO, com exceção da profundidade radical máxima, que se considerou igual a 60 cm. Os parâmetros podem ser observados no quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Parâmetros culturais indicados para a cultura do girassol.

Fase	Inicial	Desenvol.	Médio	Final	Total
Duração (dias)	25	35	45	25	130
Coef. cultural Kc	0.40	»	1.10	0.40	
Prof. Raízes (m)	0.30	»	0.60	0.60	
Coeficiente facil. utilizável p	0.45	»	0.50	0.80	
Coeficiente de rendimento Ky	0.40	0.60	0.80	0.80	0.95

Se se considerar que o défice de água se distribui igualmente ao longo do ciclo, utiliza-se o valor constante de Ky igual a 0.95 (Doorenbos e Kassam, 1988). As necessidades de rega da cultura são determinadas tendo em conta não só a ETo, como também a precipitação efectiva ocorrida no período em que a cultura se encontra no terreno. A precipitação efectiva é definida como a fracção da precipitação total que efectivamente se infiltra no solo. Para a calcular utilizaram-se os valores propostos pelo USDA. As necessidades de rega da cultura apresentam-se no quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Necessidades de rega da cultura para um ano médio.

Mês	Dec.	"CROPWAT" média de 28 anos		
		Etc (mm/dec.)	P. efect. (mm/dec.)	Nec. rega (mm/dec.)
Junho	1	14.8	6.5	8.3
Junho	2	19.8	6.7	13.1
Junho	3	22.8	5.2	17.6
Julho	1	31.9	3.7	28.3
Julho	2	46.1	2.1	44.0
Julho	3	57.0	2.0	55.0
Agosto	1	63.0	1.9	61.1
Agosto	2	63.5	1.8	61.7
Agosto	3	57.6	3.6	54.0
Setembro	1	51.4	5.3	46.1
Setembro	2	44.1	7.0	37.1
Setembro	3	31.5	11.2	20.3
Outubro	1	18.0	15.9	2.0
Outubro	2	1.5	4.1	0.0
Total (mm) =		523.1	77.0	448.6

### 3.3.2. Organização do sistema de rega

A área onde se realizou o ensaio foi de aproximadamente 3,5 ha (115\*300). O solo, como já foi referido é um Pmg e a cultura instalada foi o girassol. Uma vez que este ano constitui o 1º ano de ensaio com esta máquina, teve de efectuar-se o seu dimensionamento, utilizando para tal as fórmulas já referidas na revisão bibliográfica, bem como alguns valores referidos anteriormente:

## ① Parâmetros da rega

a) dotação útil -  $D_u = U_z * p = 65,9 * 0,45 = 29,7 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$

O valor de  $U_z$  foi retirado do quadro 3.2, o valor de  $p$  depende do tipo de cultura e do valor da  $ETc$ . Para um valor de  $ETc$  de 6 mm/dia, o valor de  $p$  segundo Doorenbos e Kassam (1988) é de 0,45.

b) dotação real -  $D_r = D_u / EA = 30 / 0,75 = 40 \text{ mm}$

Considerou-se para este sistema de rega uma eficiência de aplicação (EA) de 75%.

### c) intervalo entre regas

Para o cálculo do menor intervalo de tempo entre regas consecutivas (corresponde ao máximo valor de  $ETc$ ) do qual dependem as necessidades de ponta das culturas, usa-se à expressão:

$$Int = D_u / ETc = 30 / 6 = 5 \text{ dias}$$

## ② caudal de projecto

$$Q = \frac{ETc \times 10000 \times A}{EA \times Td \times 3600} = \frac{6 \times 10000 \times 3,5}{0,75 \times 18 \times 3600} = 4,32 \text{ l/s} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerou-se a hipótese da existência de dois turnos de pessoal, facto que permitiu ir até 18 horas de trabalho útil por dia, especialmente nos meses críticos do ano.

③ selecção dos aspersores a utilizar

Uma vez que se pretendia conhecer o trabalho da máquina, selecionou-se uma gama de combinações diâmetro de bico-pressão de serviço que fornecessem o caudal pretendido. Embora o caudal fosse superior, também se avaliou o bico 14 mm a funcionar com uma maior pressão de serviço de 650 kPa, uma vez que possuia maior raio de alcance.

No caso da barra com aspersores, considerou-se duas opções, 2 e 3 aspersores de impacto de média pressão (quadro 3.5).

No quadro 3.5 também se podem observar as intensidades de precipitação consideradas para um sector circular de rega de 220°, bem como as larguras de faixa para os três valores de sobreposição considerados como critério de aplicação e de interpretação dos resultados 15%, 25% e 35%.

Quadro 3.5 - Modalidades avaliadas nos tipos de equipamento.

MODALIDADES		Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Intensidade de precipitação (mm/h)			Largura de faixa (m)		
Equipamento	Aspersores		$e_1=15\%$	$e_2=25\%$	$e_3=35\%$	$e_1=15\%$	$e_2=25\%$	$e_3=35\%$
	$\varnothing$ - pressão (mm) - (kPa)							
CANHÃO	14 - 450	15,6	8,75	11,08	14,47	54	48	42
	14 - 650	18,6	8,51	10,5	13,30	60	54	48
	16 - 300	16,5	11,72	15,3	20,80	48	42	36
BARRA COM 2 ASPERSORES	10 - 400	15,6	8,16	10,19	13,09	57	51	45
BARRA COM 3 ASPERSORES	9 - 300	15,9	9,09	11,51	15,03	54	48	42

Uma vez que o ensaio decorre em solo franco-arenoso à superfície, não deverá ocorrer problemas de escorramento, tomando como referência os valores do quadro 2.4.

### ⑤ Velocidade de deslocação

Testaram-se três velocidades: 10 m/h, 30 m/h e 50 m/h, nos diferentes equipamentos.

### ⑥ Pressão necessária à entrada da máquina

Obteve-se somando a pressão necessária ao canhão (fig. 2.13), as perdas de carga no tubo de polietileno (considerou-se 150 m de tubagem uma vez que os ensaios decorriam a essa distância (fig. 2.19), as perdas de carga nos mecanismos de propulsão e regulação (mecanismos de turbina 50-100 kPa) e considerando a altura do canhão sobre o solo:

■ pressão necessária ao canhão	370 kPa
■ perdas de carga no tubo	90 kPa
■ perdas de carga na turbina e outros elementos	100 kPa
■ altura do canhão sobre o solo e outros elementos	30 kPa
	<hr/> TOTAL
	590 kPa

### 3.4. Avaliação do sistema de rega

As avaliações da uniformidade da rega por aspersão podem realizar-se estudando a distribuição no próprio sistema de rega ou medindo a distribuição de um só aspersor (Hermann e Kohl, 1983; Vories e von Bernuth, 1986).

Neste trabalho as avaliações realizaram-se no próprio sistema de rega utilizando a metodologia descrita por Merriam e Keller (1978) e ampliada posteriormente por Merriam *et al.* (1983), por ser uma das mais utilizada e aceite de forma generalizada (Faci, 1982 cit. por Martin-Benito, 1995).

### 3.4.1. Parâmetros de avaliação

Os parâmetros de avaliação mais estudados e referidos na bibliografia, (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983; Rolland, 1986; Martin-Benito, 1995) são a uniformidade e a eficiência:

#### a) Uniformidade de Distribuição (UD)

A Uniformidade de Distribuição (UD) é um conceito utilizado para expressar a uniformidade de aplicação da água. Traduz a uniformidade da altura de água aplicada no conjunto da parcela:

$$UD (\%) = \frac{Drec_{qi}}{Drec} \quad (2.14)$$

onde:  $Drec_{qi}$  = Altura média de água recolhida em 25% dos pluviômetros que menos recolhem

$Drec$  = Altura média de água recolhida nos pluviômetros

A média de água infiltrada no quartil inferior é a mais baixa dos valores medidos ou estimados, onde cada valor representa uma área igual.

#### b) Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU)

Outro parâmetro muito utilizado com o mesmo fim é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU). O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen é uma representação estatística da uniformidade utilizado principalmente nos sistemas de rega por aspersão (Martin-Benito, 1995). Expressa-se em percentagem através da seguinte expressão:

$$CU = \left( 1 - \frac{\sum |d|}{Mn} \right) \times 100 \quad (2.15)$$

onde:  $M$  - valor médio de água recolhida nos pluviômetros

$n$  - nº total de pluviômetros

$\sum |d|$  - soma dos valores absolutos dos desvios de cada pluviômetro em relação à média.

### c) Eficiência Potencial de Aplicação (EPA) no quartil inferior

Indica a qualidade da rega que o sistema pode atingir quando o seu manuseamento é razoavelmente bom e quando se aplica a altura de água desejada.

Para efeitos de comparação de sistemas e métodos de rega, deve ser usado unicamente o conceito de EPA (Merriam e Keller, 1978; Merriam et al., 1983):

$$EPA (\%) = \left( \frac{D_{rec_{qi}}}{Da} \right) \times 100 \quad (2.21)$$

onde:  $D_{rec_{qi}}$  = Altura média de água recolhida em 25% dos pluviômetros que menos recolhem

$Da$  = Altura média de água aplicada

A altura média de água aplicada,  $D$  (mm) é calculada através da seguinte expressão:

$$D = \frac{60 \times Q}{E \times V_d} \quad (3.3)$$

onde:  $Q$  = caudal do aspersor (l/s)

$E$  = espaçamento entre faixas adjacentes (m)

$V_d$  = velocidade de deslocação do canhão automotor (m/min)

O caudal aplicado pelo aspersor foi calculado com base na informação fornecida pelo fabricante.

A diferença entre as quantidades médias aplicadas e as quantidades médias recolhidas, corresponde às perdas por evaporação e arrastamento pelo vento, que ocorreram durante a rega.

### **3.4.2. Dados necessários para a avaliação**

A seguinte informação foi requerida para avaliar este sistema de rega:

- Intervalo entre regas.
- DHS e DGP
- Caudal aplicado pelo aspersor
- Pressão do aspersor
- Volume de água recolhido nos pluviómetros
- Velocidade de avanço da máquina
- Espaçamento entre posições de rega
- Velocidade e direcção do vento, durante o ensaio
- Outros dados adicionais indicados na folha de registo (Anexo V).

Os dados recolhidos durante o ensaio, bem como os dados de base referentes às características dos solos, das culturas e do equipamento utilizado, serão registados numa folha de registo.

### 3.4.3. Procedimento de campo

A obtenção dos dados necessários para a determinação dos parâmetros de avaliação acima referidos exigiu a realização de várias tarefas. Na área previamente delimitada, a meio da parcela, colocaram-se 3 linhas de pluviômetros, separadas de 1 m, com direcção perpendicular à trajectória do aspersor, para um e para outro lado deste, distanciados entre si 3 metros (fig. 3.8 e 3.9). Segundo Merriam e Keller (1978) uma linha de pluviômetros é suficiente para caracterizar o modelo de distribuição do aspersor. No entanto pode ser interessante colocar linhas paralelas distanciadas de 1 m aproximadamente, a fim de obter repetições. Para recolher a dotação aplicada utilizaram-se recipientes de plástico branco e forma cilíndrica, com um diâmetro interno de 8,7 cm e uma altura de 10 cm, de modo a respeitar as normas da ASAE (1995). Uma vez que o desenvolvimento da cultura não pode interferir na recolha de precipitação, os recipientes foram colocados em suportes telescópicos de aproximadamente 1 m de altura, permitindo uma perfeita adaptação ao crescimento da cultura.

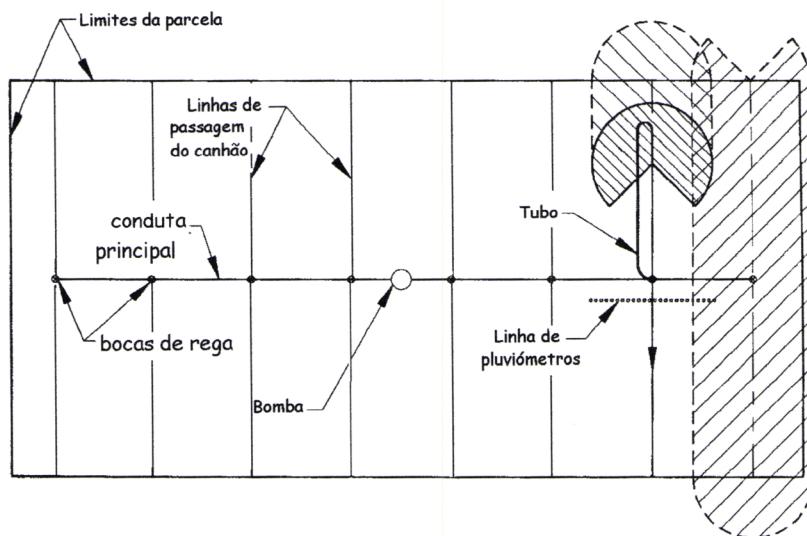


Fig. 3.8 - Esquema de avaliação do equipamento de rega (Keller e Bliesner, 1990).



Fig. 3.9 - Realização de um teste de avaliação do canhão.

No sentido de simular a sobreposição dos círculos regados, quando se efectua a rega de duas faixas adjacentes como se pode ver na fig. 3.8, os pluviômetros foram numerados duma forma crescente, a partir do centro da parcela que está a ser regada. Nestas condições, e admitindo que a faixa em que vai ser efectuado o teste é representativa, e que as

faixas adjacentes vão ser regadas de igual modo, poder-se-ão somar os valores do volume de água recolhidos nos pluviómetros situados à direita, com os recolhidos à esquerda, de acordo com o esquema anexo (fig.3.10) :

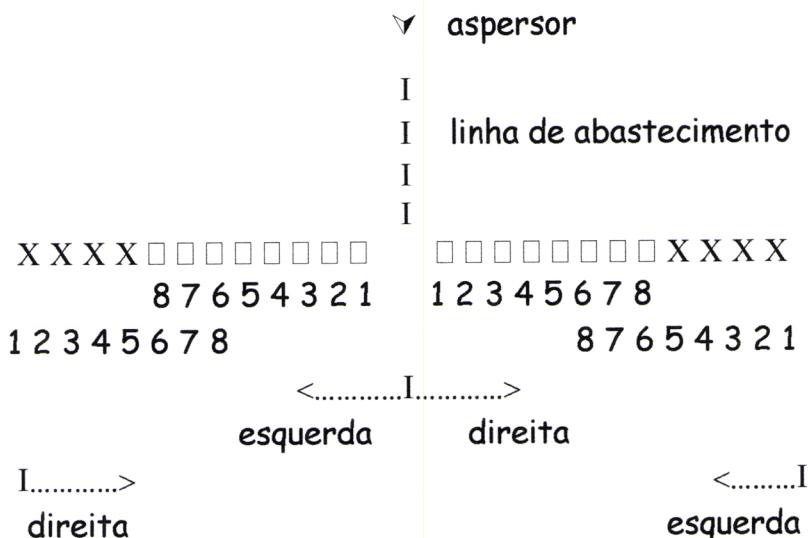


Fig. 3.10 - Esquema da localização e numeração dos pluviômetros (Adaptado de Oliveira, 1993).

Na figura 3.10 -I- simboliza a linha de abastecimento do aspersor, -□- simboliza a série de recipientes colocados perpendicularmente à linha de abastecimento, numerados de 1 a 8 para um e outro lado dessa linha, e -X- simboliza a localização dos recipientes se se estivessem a regar faixas adjacentes. Se se imaginar uma sobreposição de círculos regados equivalente a três recipientes - 6, 7 e 8 -, quando da rega entre faixas adjacentes, e admitindo que a rega se processa de igual modo, ter-se-á que cada faixa receberá uma quantidade de água equivalente à soma dos valores recolhidos nos recipientes à direita e à esquerda, de acordo com o esquema da fig. 3.10, ou seja:

1 2 3 4 5 6 7 8 recipientes situados à direita  
8 7 6 5 4 3 2 1 recipientes situados à esquerda

Após a passagem do aspersor pela linha de pluviómetros, procedeu-se à medição dos diferentes volumes recolhidos em cada pluviômetro, com o auxílio de uma proveta de 250 cm<sup>3</sup> ou de 500 cm<sup>3</sup>.

Efectuou-se a medição da velocidade do vento com o anemómetro portátil a 2 m de altura no inicio, a meio e no fim do teste. A velocidade de avanço do canhão automotor também foi verificada, efectuou-se uma marca no tubo de polietileno e registou-se a distância percorrida num período de 6 minutos. Multiplicando esse valor por 10, obtem-se directamente a velocidade em m/h.

### 3.5. Infiltração vs. precipitação

A infiltrabilidade do solo (*i*) e a intensidade pluviométrica (*ip*) do canhão ou aspersores, são parâmetros de que dependem não só a eficiência das regas, como também a conservação dos solos, uma vez que se  $ip > i$  formar-se-á uma lâmina de água à superfície do solo, que pode vir a originar escorramento superficial e consequente erosão.

#### 3.5.1. Infiltrabilidade do solo - o processo de Shockley

O objectivo a atingir consiste em garantir, sobre cada ponto do terreno a ocorrência de uma aplicação de intensidade uniforme, durante o tempo necessário para se produzir empoçamento. Pretende-se obter uma equação representativa da taxa de infiltração num determinado ponto.

Realizaram-se 3 testes de infiltração a meio da parcela (150 m). Os testes foram efectuados com o bico de 16 mm, uma pressão de 300 kPa (3 bar) e um débito de 4,6 l/s (16,6 m<sup>3</sup>/h), mantendo-se estas condições de

funcionamento em todos os testes. Os testes tiveram a duração de 45 minutos. Antes de cada teste retiravam-se três amostras da camada superficial do solo para determinar o seu teor de humidade.

Os recipientes foram colocados sobre o solo equidistantes de 1,5 m, numa linha perpendicular ao movimento de deslocação do canhão, que se mantém imóvel durante o teste, funcionando apenas o equipamento de aspersão. Os recipientes utilizados são idênticos aos já referidos anteriormente. Após o início da aplicação, observam-se permanentemente todos os recipientes até que se verifique saturação superficial na área envolvente. Para cada recipiente é registado:

- O volume recolhido até ao instante em que na sua área envolvente começa a surgir saturação superficial, ao qual corresponde uma altura de água infiltrada;
- O tempo decorrido desde o início da aplicação.

A intensidade de precipitação, para cada localização, é determinada dividindo a altura de água recolhida (igual à infiltrada) pelo tempo correspondente.

Os dados observados são tratados por regressão linear.

As curvas de infiltração obtidas podem ser consideradas com carácter geral, como é o caso das curvas obtidas pelo "Soil Conservation Service", ou com carácter específico, para redimensionamento do sistema de rega ou reconsideração da gestão da máquina.

Na fig. 3.11 pode observar-se a realização de um teste de infiltração.



Fig. 3.11 - Realização de um teste de infiltração.

### 3.5.2. Intensidade de precipitação

A intensidade de precipitação, no caso dos canhões automotores é máxima nas proximidades da linha de movimento do aspersor, uma vez que, nestes casos, não há sobreposição simultânea de círculos regados, e diminui no sentido do tambor de enrolamento, face à maior velocidade de deslocação do aspersor à medida que se aproxima do tambor.

A intensidade de precipitação, depende das características do aspersor e do valor do sector regado, sendo a quantidade de água aplicada função da respectiva velocidade de deslocação

Nos ensaios de campo para a determinação da evolução da intensidade de precipitação ao longo do tempo, num dado ponto, que permite a realização de um diagrama pluviométrico, utilizaram-se recipientes de recolha de água. Efectuou-se a medição da precipitação utilizando um recipiente no local desejado, e com o canhão com o bico de

16 mm, a deslocar-se com uma velocidade de 10, 30 e 50 m/h. Recolheu-se a precipitação em intervalos de tempo de 5 minutos que são registados, durante todo o tempo em que ocorreu precipitação. A altura de água recolhida em cada 5 minutos de recepção permite conhecer o valor da intensidade de precipitação.

## CAPÍTULO IV- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

## 4.1. Avaliação do funcionamento do equipamento de rega

A análise dos resultados e sua discussão realizaram-se agrupando por um lado os parâmetros relacionados com a uniformidade e por outro os parâmetros relacionados com a eficiência, para as diferentes modalidades, facilitando assim a sua exposição e compreensão, bem como a comparação entre os equipamentos.

### 4.1.1. Uniformidade

Um aspecto fundamental no desempenho de um sistema de rega é a sua capacidade de distribuir uniformemente a água à parcela regada.

No quadro 4.1 apresentam-se os parâmetros de avaliação da uniformidade obtidos nos testes realizados, considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição entre faixas adjacentes.

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) obtidos com o equipamento canhão automotor considerando 15% de sobreposição (valor de sobreposição referido pelos fabricantes que respeitam as condições de ausência de vento) e 25% foram baixos, inferiores a 70%, nomeadamente na modalidade em que se utilizou maior pressão de serviço. Os piores resultados, obtidos nas modalidades de maior pressão, poderão ser explicados pelo papel que a pressão e o diâmetro de bico desempenham na distribuição do tamanho de gota. À medida que a pressão aumenta, a velocidade inicial das gotas aumenta, originando um aumento da distância percorrida. Para além deste facto, o jacto é mais pulverizado, isto é, contém maior número de gotas pequenas (von Bernuth e Gilley, 1984 cit. por Vories e von Bernuth, 1986). Com um

menor diâmetro de bico verifica-se também maior proporção de gotas pequenas. As gotas pequenas são facilmente arrastadas pelo vento, distorcendo o padrão de repartição da água e aumentando a evaporação.

Quadro 4.1 - Valores médios de UD e CU obtidos nas avaliações realizadas, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15%, 25% e 35%.

MODALIDADES		Equipamento	Aspersores ∅ - pressão (mm) - (kPa)	Vel. desl. (m/h)	UD			CU			Vel. vento (m/s)				
					(%)			(%)							
					$s_1=15\%$	$s_2=25\%$	$s_3=35\%$	$s_1=15\%$	$s_2=25\%$	$s_3=35\%$					
CANHÃO	14 - 450		10	20	33	60	46	58	72	1,6					
			30	23	35	55	41	52	65	2,0					
			50	27	44	63	47	59	71	1,3					
	14 - 650		10	13	23	36	33	44	61	2,0					
			30	30	36	52	44	55	71	1,8					
			50	20	39	49	42	52	66	1,7					
	16 - 300		10	39	62	83	61	75	88	1,0					
			30	37	60	85	60	73	87	1,2					
			50	46	69	85	64	78	88	1,0					
BARRA COM 2 ASPERORES*	10 - 400		10	31	63	77	65	73	83	3,3					
			30	67	80	82	81	86	87	1,5					
BARRA COM 3 ASPERORES	9 - 300		10	38	58	74	63	66	77	1,9					
			30	25	40	61	54	59	70	2,0					
			50	36	48	74	61	67	79	2,0					

\* não foi possível efectuar a avaliação para uma  $V_d= 50$  m/h

Para o equipamento barra com aspersores, os valores de CU obtidos considerando 15% e 25% de sobreposição, embora nalguns casos inferior a 70%, foram superiores aos obtidos com o canhão automotor. No caso da

modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação 30 m/h, obteve-se mesmo com 15% de sobreposição, um valor médio de  $CU = 81\%$ , que pode ser classificado como bom (Brito da Luz, 1991).

Considerando 35% de sobreposição, os valores de  $CU$  são superiores ou aproximadamente iguais a 70%, para todas as modalidades, verificando-se os melhores resultados na modalidade canhão com bico de 16 mm e barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação 30 m/h, que atingem um valor de  $CU \approx 90\%$ , a que não será alheia a menor velocidade do vento verificada durante os testes. Nos testes realizados com a velocidade 10 m/h a velocidade do vento foi mais elevada (3,0-3,6 m/s), provocando uma diminuição deste parâmetro (fig 4.1 e 4.2).

Nas figuras 4.1 e 4.2 os dados de uma só passagem foram sobrepostos, com o objectivo de simular os resultados de um canhão com enrolador idêntico, a funcionar na faixa adjacente. Na figura 4.1 pode observar-se uma maior heterogeneidade na distribuição da água, o que originou uma diminuição do valor de  $CU$  na modalidade barra com 2 aspersores - velocidade de deslocação de 10 m/h comparativamente aos obtidos para uma velocidade de 30 m/h (fig. 4.2). Analisando as duas figuras, constata-se um aumento no valor de  $CU$  em ambos os casos, quando se reduz o espaçamento entre faixas.

No geral, os resultados das avaliações mostram claramente que quanto maior a velocidade do vento, menor terá que ser o espaçamento entre faixas, a fim de evitar o aumento da heterogeneidade na distribuição da água e, consequentemente uma diminuição no rendimento da cultura.

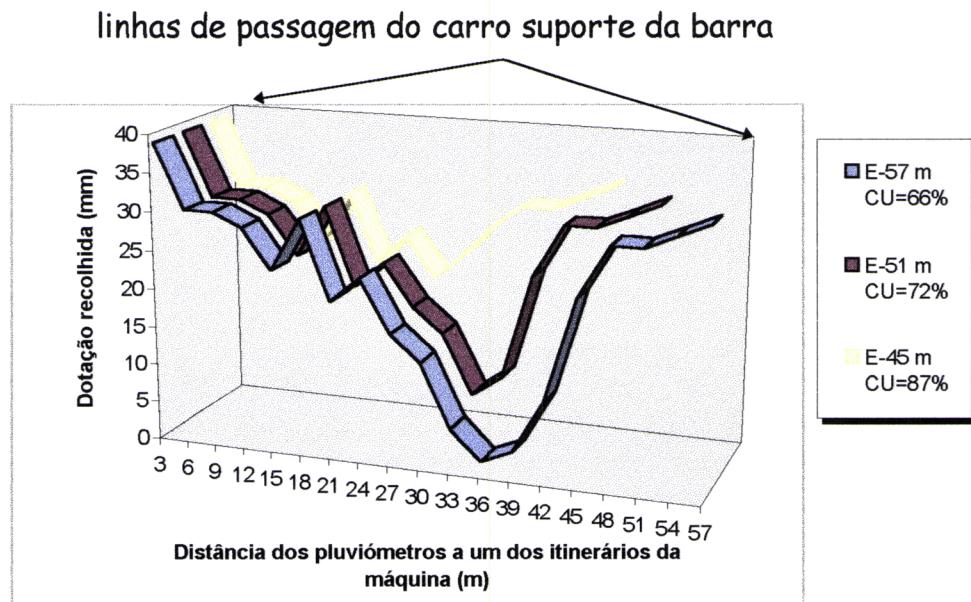


Fig. 4.1 - Variação da uniformidade da dotação em função do espaçamento entre faixas (E), para a modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação de 10 m/h.

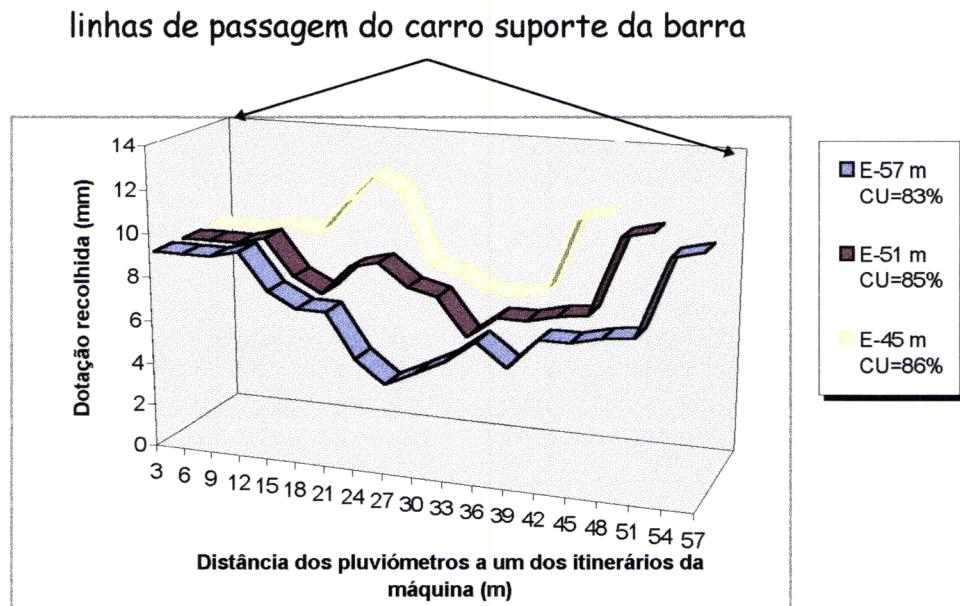


Fig. 4.2- Variação da uniformidade da dotação em função do espaçamento entre faixas (E), para a modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação de 30 m/h.

Na fig. 4.3 pode observar-se a distribuição das pluviometrias, ao longo da faixa regada, na modalidade canhão com bico de 16 mm, para uma velocidade de deslocação de 30 m/h. Verifica-se que os principais desvios em relação à média ocorrem nas proximidades da linha de passagem do canhão, provocado em parte pelo impacto do jacto no braço do aspersor, outra parte devida à acção do vento. O braço do aspersor interfere com aproximadamente 10% da água emitida pelo aspersor (von Bernuth e Gilley, 1984 cit. por Vories, von Bernuth e Mickelson 1987). Nas zonas limite da faixa ocorre sempre um défice pluviométrico. O mesmo acontece nas outras modalidades do canhão (anexo VI).

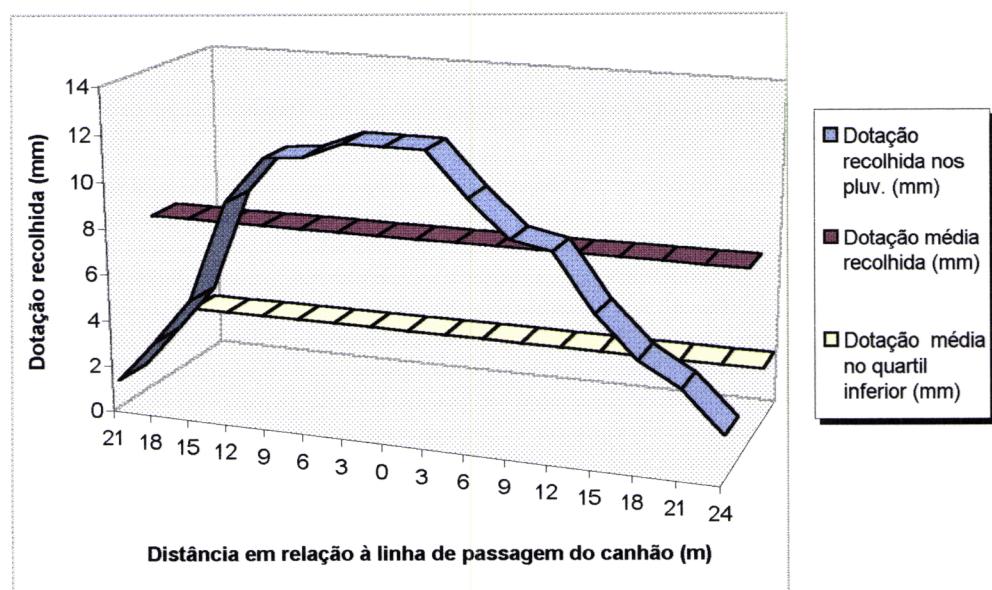


Fig. 4.3 - Diagrama pluviométrico obtido com o canhão a funcionar com o bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

Nas figuras 4.4 e 4.5 e 4.6 podem observar-se os diagramas das precipitações recebidas entre faixas adjacentes considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição, na avaliação do canhão modalidade com bico de 16

mm-velocidade de deslocação de 30 m/h, respectivamente. Tal como anteriormente os dados de uma só passagem foram sobrepostos. Pode observar-se que a sobreposição (ou soma) das quantidades de água, recolhidas no lado direito e esquerdo da passagem, é mínima no meio entre posições de passagem do canhão, conduzindo a uma zona deficientemente regada, que diminui à medida que diminui o espaçamento entre faixas. Este facto verifica-se nas outras modalidades (anexo VII e VIII).

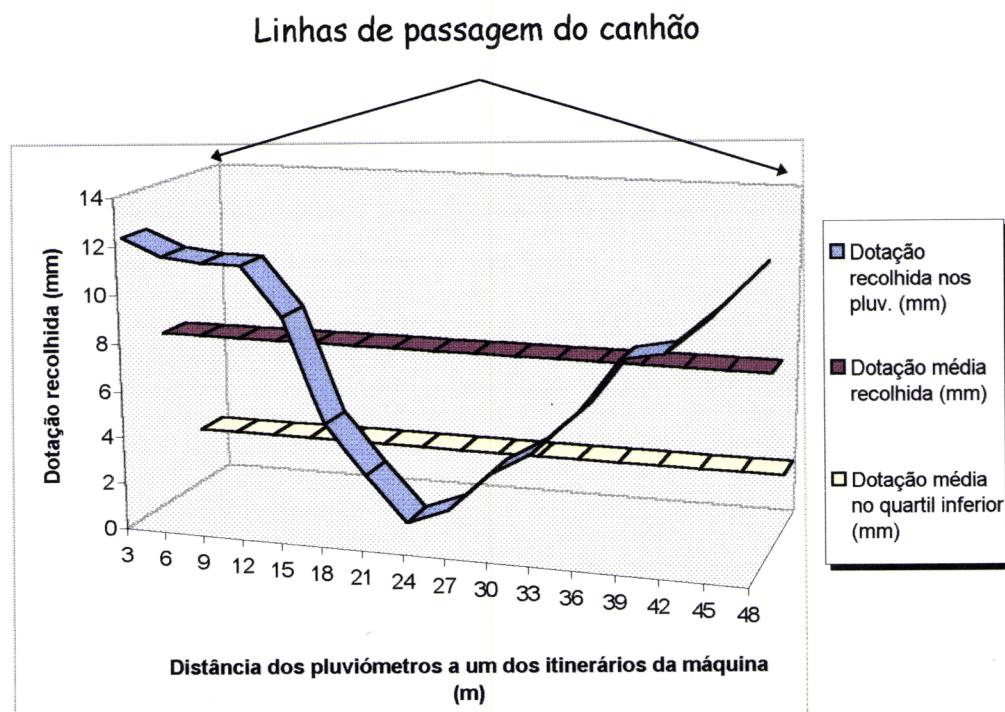


Fig. 4.4 - Diagrama da precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão com bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

linhas de passagem do canhão

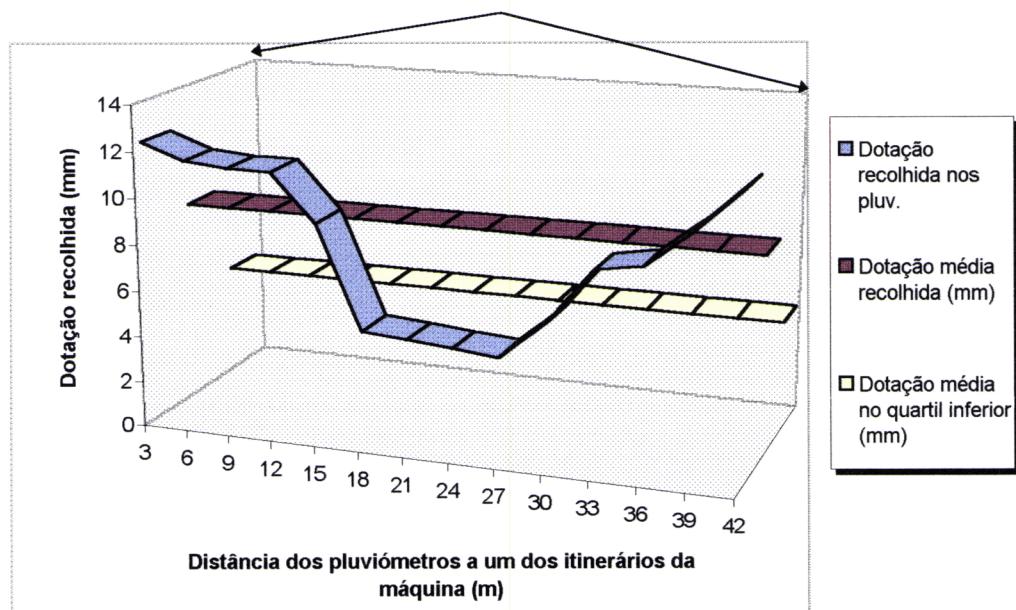


Fig. 4.5 - Diagrama da precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão com bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

linhas de passagem do canhão

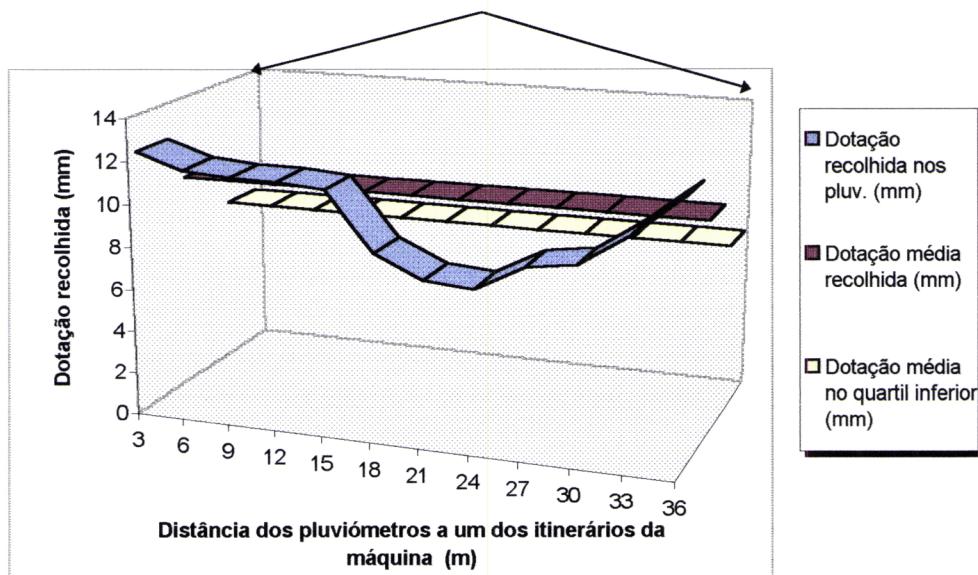


Fig. 4.6 - Diagrama da precipitação recolhida considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão com bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

Nas figuras 4.7 e 4.8 pode observar-se a distribuição pluviométrica ao longo da faixa regada, no equipamento barra com 2 e 3 aspersores. Os desvios em relação à média, junto da linha de passagem do carro suporte, são mais acentuados na modalidade barra com 3 aspersores, uma vez que nesse ponto se situa um dos aspersores, enquanto que na situação com 2 aspersores eles situam-se nos extremos da barra. Nos limites da faixa continua a verificar-se uma zona de défice pluviométrico, que tal como na modalidade canhão diminui à medida que diminui o espaçamento entre faixas, como já se observou nas fig. 4.1 e 4.2.

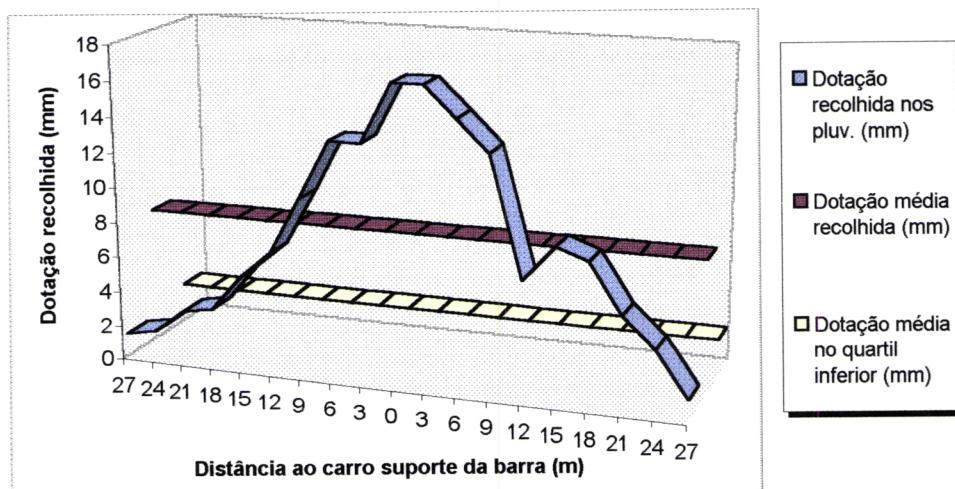


Fig. 4.7 - Diagrama pluviométrico obtido com o equipamento barra com 3 aspersores de 9 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

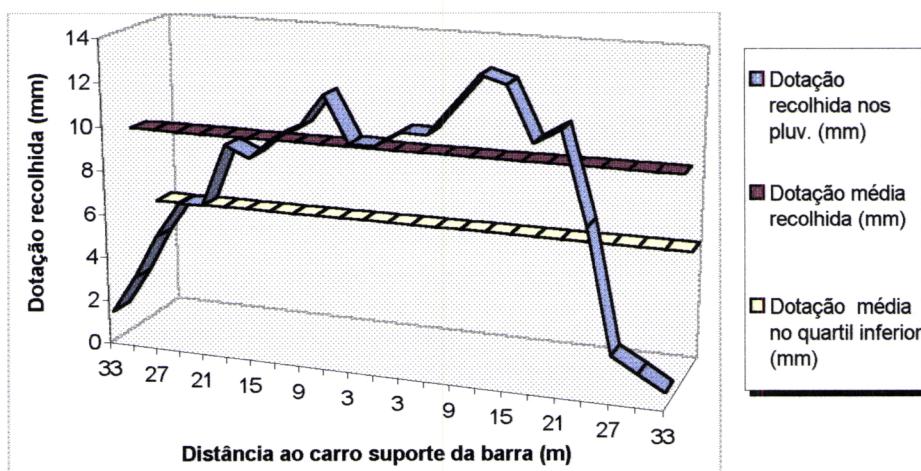


Fig. 4.8 - Diagrama pluviométrico obtido com o equipamento barra com 2 aspersores de 10 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

Quanto à Uniformidade de Distribuição (UD), os valores obtidos, considerando 15% e 25% de sobreposição foram baixos nos dois tipos de equipamento e independentes da velocidade de deslocação. A excepção verificou-se na modalidade barra com 2 aspersores-velocidade de deslocação de 30 m/h em que se obtiveram valores de 67% e 80% respectivamente, bem como na modalidade canhão com bico de 16 mm, considerando 25% de sobreposição (quadro 4.1). Estes resultados permitem concluir que a uniformidade está dependente de um número restrito de pontos que se situam nos limites das faixas, que recebem reduzida precipitação em relação ao pretendido, como se pode observar nas figuras já apresentadas. Considerando 35% de sobreposição, todas as modalidades apresentam valores bastante aceitáveis (desde  $\approx 60\%$  a 85%), com excepção da modalidade canhão com bico de 14 mm com pressão mais elevada, em que os valores obtidos são ainda baixos, uma vez que a precipitação média ocorrida no quartil inferior é bastante reduzida (fig. 4.9).

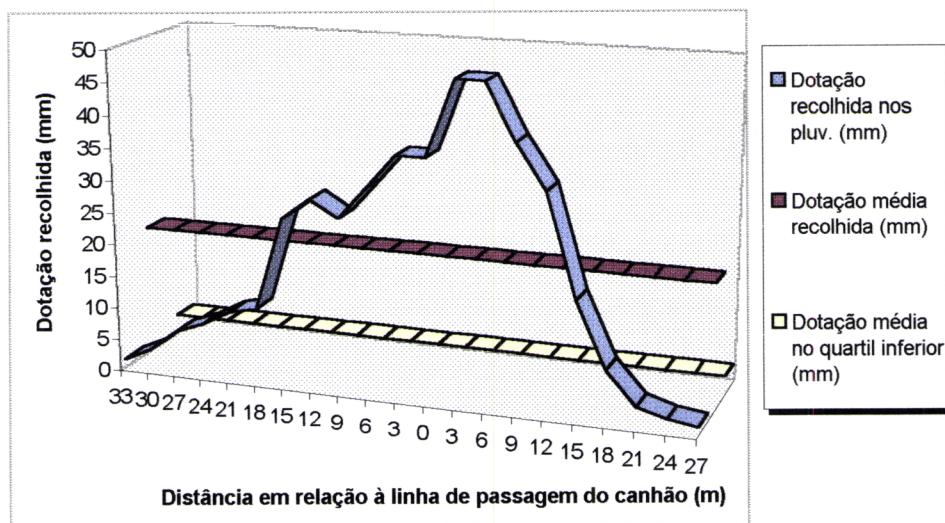


Fig. 4.9 - Diagrama pluviométrico obtido com o canhão a funcionar com o bico de 14 mm-velocidade de deslocação de 10 m/h e com uma pressão de serviço de 650 kPa.

Segundo Keller e Bliesner (1990) um intervalo de valores prováveis para o Coeficiente de Uniformidade e Uniformidade de Distribuição, neste tipo de equipamento, estará compreendido entre 60 a 75% e 50 a 60%, respectivamente, sendo a Uniformidade de Distribuição geralmente independente da velocidade de deslocação. No presente trabalho estes valores foram atingidos quando se considerou uma sobreposição de 25% para as modalidades canhão com bico 16 mm e barra com 2 aspersores, nas restantes tal só foi conseguido, considerando 35% de sobreposição.

#### 4.1.2. Eficiência

No quadro 4.2 apresentam-se os valores da dotação média aplicada e da dotação média recolhida no quartil inferior que permitiram o cálculo da Eficiência Potencial de Aplicação.

**Quadro 4.2 - Dotações médias aplicadas e recolhidas no quartil inferior nas avaliações realizadas.**

MODALIDADES			Dotação média Aplicada (mm)			Dotação média no quartil inferior (mm)		
Equipamento	Aspersores Ø - pressão (mm) - (kPa)	Vel. desl. (m/h)	$s_1=15\%$	$s_2=25\%$	$s_3=35\%$	$s_1=15\%$	$s_2=25\%$	$s_3=35\%$
			10	28,89	32,5	37,14	4,19	8,17
CANHÃO	14 - 450	30	9,63	10,83	12,38	1,79	3,06	5,41
		50	5,78	6,50	7,43	1,39	2,56	4,24
		10	31,20	34,67	39,0	2,96	5,84	10,33
	14 - 650	30	10,41	11,55	13,0	2,99	4,02	6,43
		50	6,24	6,93	7,8	1,0	2,02	3,14
		10	34,38	39,29	45,8	10,64	19,4	30,0
	16 - 300	30	11,46	13,1	15,28	2,38	4,53	7,48
		50	6,88	7,86	9,17	2,48	4,26	6,10
		10	28,42	31,77	36,0	7,16	15,95	22,6
BARRA COM 2 ASPERORES	10 - 400	30	9,47	10,58	12,0	5,10	6,99	8,44
		10	30,0	33,75	38,57	11,05	18,36	26,8
BARRA COM 3 ASPERORES	9 - 300	30	10,0	11,25	12,86	2,27	4,03	7,73
		50	6,0	6,75	7,71	1,87	2,78	4,94

As baixas Eficiências Potenciais de Aplicação (EPA) verificadas neste estudo (quadro 4.3) resultam do facto de existir uma grande diferença entre a quantidade média aplicada pelos aspersores (teórica, produzida pelos aspersores de acordo com o caudal e espaçamento) e a

quantidade média realmente recolhida na rede de pluviômetros, ou seja, as perdas apresentam valores muito elevados. No entanto, esta diferença foi inferior no equipamento barra de aspersores (fig. 4.10 e 4.11), o que originou melhores resultados.

**Quadro 4.3 - Valores médios de EPA, obtidos nas avaliações realizadas, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15%, 25% e 35%.**

MODALIDADES		Vel. desl. (m/h)	EPA (%)	Vel. Vento (m/s)	
Equipamento	Aspersores				
	∅ - pressão (mm) - (kPa)				
CANHÃO	14 - 450	10	17	26	46
		30	19	28	44
		50	24	40	57
	14 - 650	10	10	17	27
		30	29	35	50
		50	16	29	40
	16 - 300	10	31	49	65
		30	21	35	49
		50	36	54	67
BARRA COM 2 ASPERORES	10 - 400	10	25	50	63
		30	54	66	70
BARRA COM 3 ASPERORES	9 - 300	10	37	54	70
		30	23	36	57
		50	31	41	64

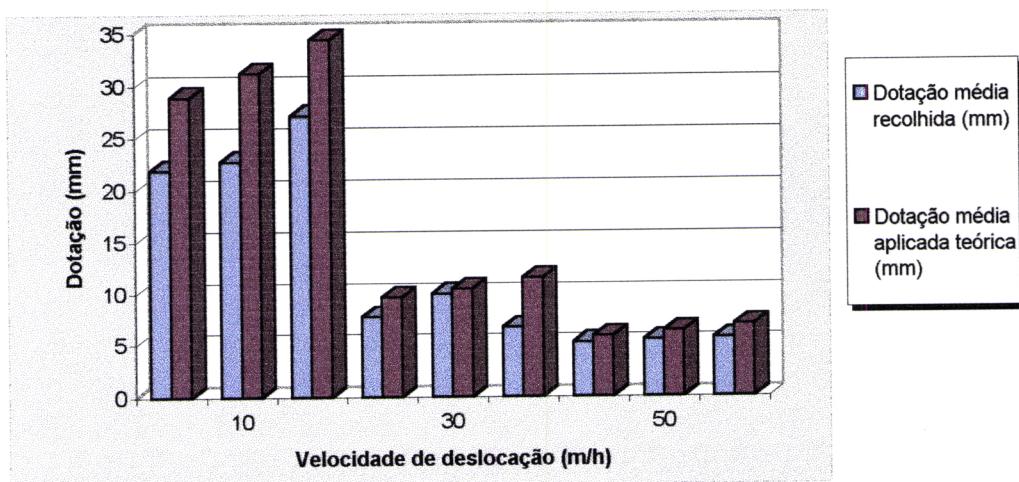


Fig. 4.10 - Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para as modalidades testadas com o canhão.

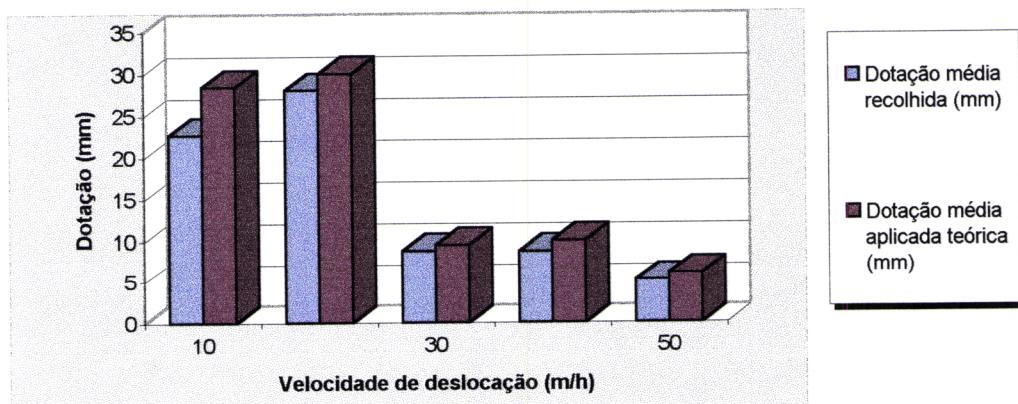


Fig. 4.11 - Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para as modalidades barra com 2 aspersores e com 3 aspersores.

Heerman e Kohl (1983) indicam como limite de perdas por evaporação e arrastamento pelo vento os 6%, Keller e Bliesner (1990) indicam valores entre 5 e 10% para condições de vento fraco, mas que poderiam aumentar consideravelmente para condições de vento forte.

Christiansen (1942) cit. por Faci e Bercero (1989) encontrou valores relativamente altos de evaporação durante a rega por aspersão (entre 2 e 52%) utilizando nas avaliações pluviômetros cilíndricos.

No presente trabalho verificou-se uma ampla variação nas perdas ocorridas por evaporação e arrastamento pelo vento estando compreendidas entre 5,6% e 42% no equipamento canhão, conduzindo forçosamente a quebras na Eficiência Potencial de Aplicação. Com o equipamento barra de aspersores, as perdas verificadas foram menores, encontrando-se compreendidas entre 6,5% e 20% conduzindo forçosamente a valores superiores de EPA (quadro 4.4).

**Quadro 4.4 - Perdas por evaporação e arrastamento pelo vento estimadas como a diferença entre a dotação média aplicada pelos aspersores e a dotação média recolhida nos pluviômetros.**

MODALIDADES				
Equipamento	Aspersores	Vel. desl. (m/h)	Perdas por evap. Arrastamento (%)	Vel. vento (m/s)
	$\varnothing$ - pressão (mm) - (kPa)			
CANHÃO	14 - 450	10	24,4	1,6
		30	20,2	2,0
		50	10,6	1,3
	14 - 650	10	27,3	2,0
		30	5,6	1,8
		50	13,8	1,7
	16 - 300	10	21,0	1,0
		30	42,0	1,2
		50	21,4	1,0
BARRA COM 2 ASPERSORES	10 - 400	10	20,0	3,3
		30	7,4	1,5
BARRA COM 3 ASPERSORES	9 - 300	10	6,5	1,9
		30	12,8	2,0
		50	13,6	2,0

#### 4.1.3. Efeito do vento

As figuras 4.12 e 4.13 pretendem exemplificar o efeito do vento na uniformidade da rega. Na fig. 4.12 pode observar-se o alcance não idêntico do jacto de ambos os lados do eixo central do canhão, bem como a sua assimetria, na modalidade canhão com bico de 14 mm-velocidade de deslocação de 50 m/h a funcionar com uma pressão de serviço de 650 kPa. A figura 4.13 mostra a diminuição verificada nos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen na modalidade canhão com bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h, quando se verificou um aumento da velocidade do vento de 1 m/s para 2,2 m/s.

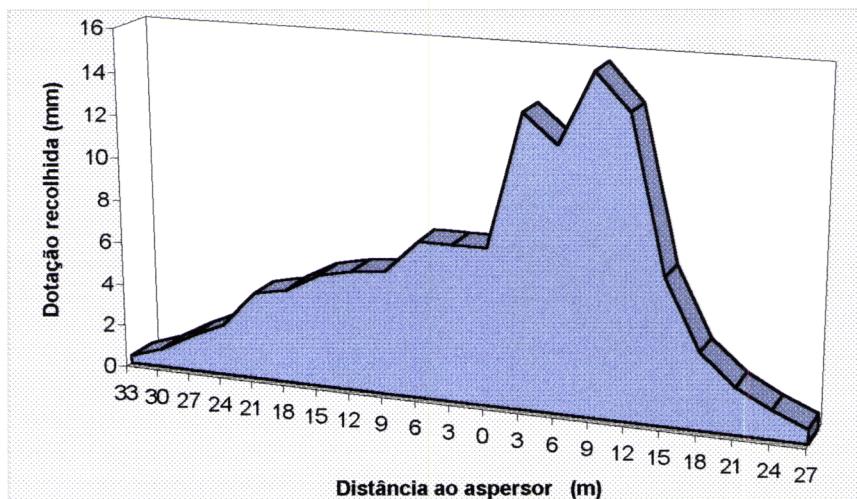


Fig. 4.12 - Diagrama pluviométrico assimétrico, por efeito do vento, na modalidade canhão com bico de 14 mm-velocidade de deslocação de 50 m/h com uma pressão de serviço de 650 kPa .

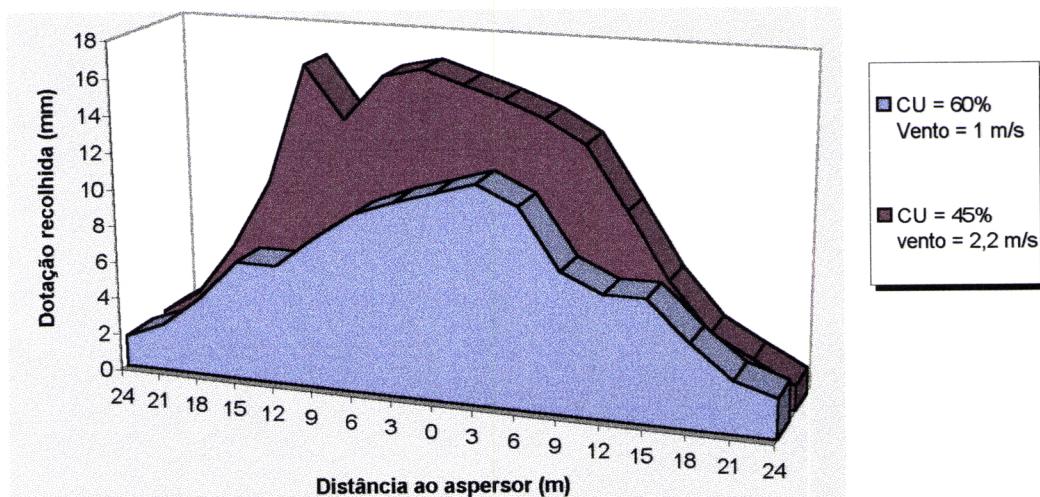


Fig. 4.13 - Diagrama pluviométrico na modalidade canhão com bico de 16 mm-velocidade de deslocação de 30 m/h.

Faci e Bercero (1990) num estudo em que avaliaram a uniformidade da rega em três sistemas de rega por aspersão, encontraram uma estreita relação inversa entre o Coeficiente de Uniformidade (CU), obtido nas diversas avaliações e a velocidade do vento. A relação encontrada foi uma equação linear:

$$CU (\%) = 90,53 - 2,43 \times V_v \quad \text{com } r^2 = 0,85 \quad (4.1)$$

onde:  $V_v$  - velocidade do vento (Km/h)

Neste trabalho também se encontrou uma relação inversa entre os valores médios de CU obtidos nas diversas avaliações e a velocidade do vento (fig. 4.14). Obteve-se para o equipamento canhão uma equação linear:

$$CU (\%) = 85,78 - 24,62 \times V_v \quad \text{com } r^2 = 0,88 \quad (4.2)$$

onde:  $V_v$  - velocidade do vento (m/s)

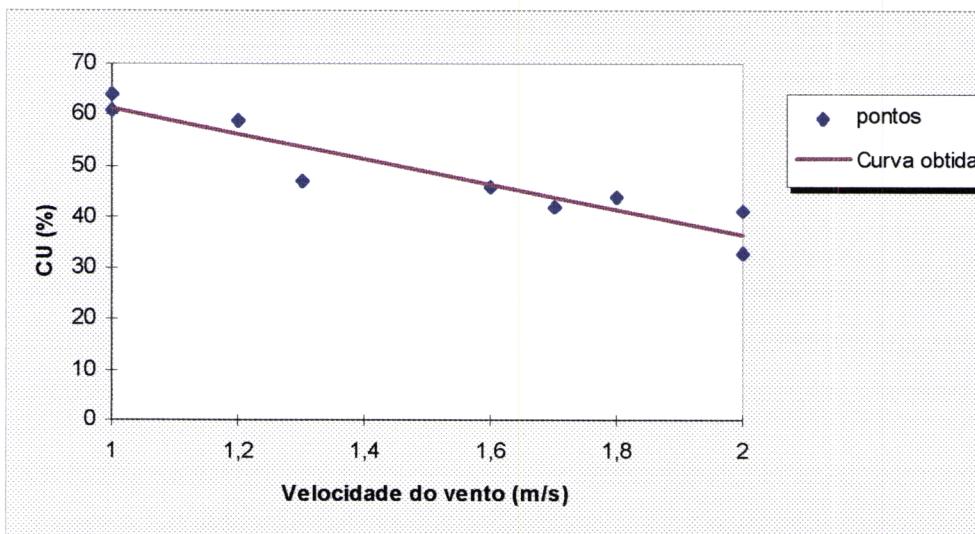


Fig. 4.14 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, no equipamento canhão.

Tal como com o canhão, na barra de aspersores também se verificou uma relação inversa entre os valores médios de CU obtidos nas diversas avaliações e a velocidade do vento, excepto num caso (barra de 2 asp. com velocidade de deslocação 10 m/h e velocidade do vento 3,3 m/s) (fig. 4.16). Se se eliminar esse valor, obtém-se para o equipamento barra de aspersores uma equação linear:

$$CU (\%) = 151,26 - 46,76 \times V_v \quad \text{com } r^2 = 0,94 \quad (4.3)$$

tendo  $V_v$  o mesmo significado do que na equação anterior.

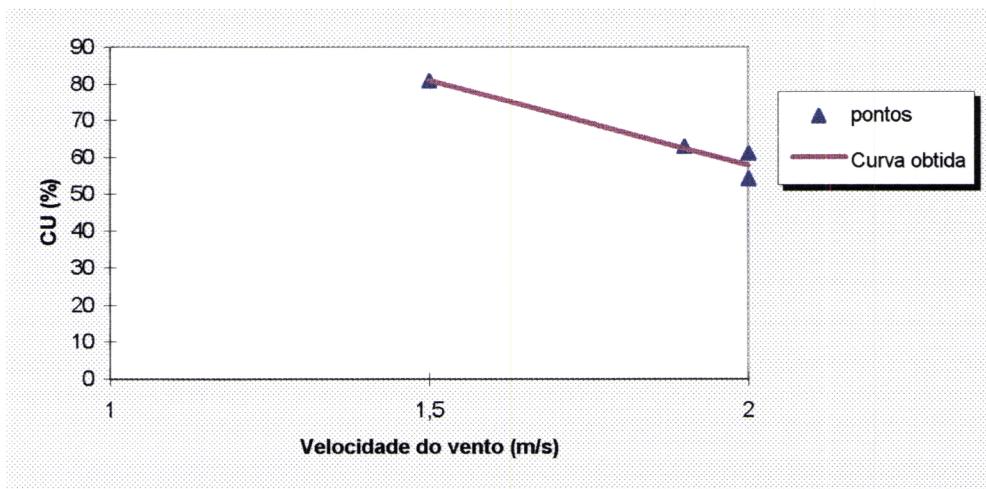
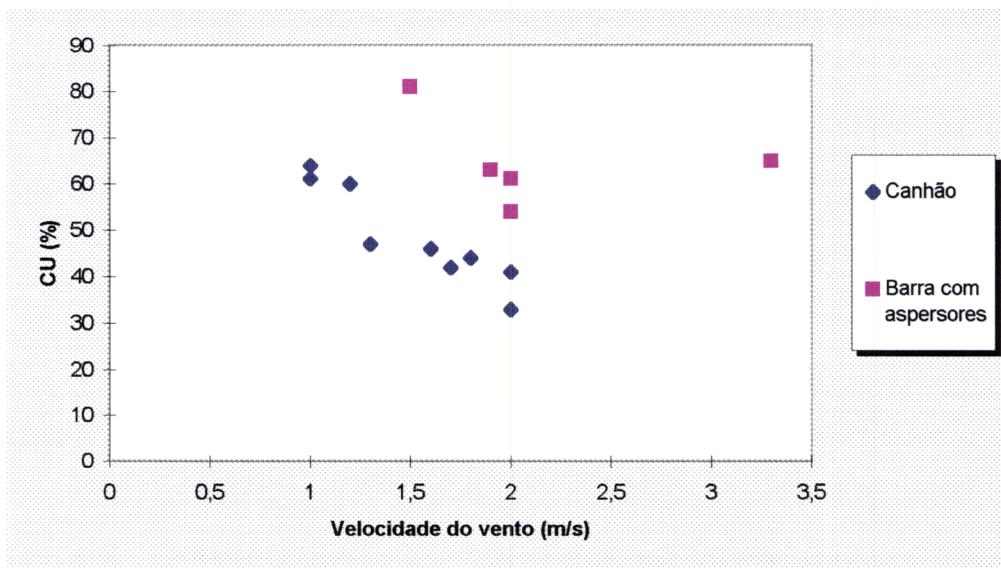


Fig. 4.15 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas no equipamento barra de aspersores.



4.16 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas nos equipamentos.

## 4.2. Infiltrabilidade vs. intensidade de precipitação

### 4.2.1. Estudo da infiltrabilidade do solo

Com base na metodologia de Shockley (1968) cit. por Dillon (1972) realizaram-se três testes de infiltração, o que tornou possível a determinação de três curvas de infiltração (fig. 4.16), com valores de  $r^2 = 0,80$ :

$$\bullet 1^{\circ} \text{ teste} - i (\text{mm/h}) = 133,8 t^{-0,611} \quad (4.4)$$

$$\bullet 2^{\circ} \text{ teste} - i (\text{mm/h}) = 123,5 t^{-0,595} \quad (4.5)$$

$$\bullet 3^{\circ} \text{ teste} - i (\text{mm/h}) = 109,42 t^{-0,554} \quad (4.6)$$

A humidade na camada superficial nos ensaios foi de aproximadamente 20%.

Na fig. 4.16 representa-se também a curva obtida com o infiltrómetro de Reinders e Louw referida por Gamito (1998) que apresenta um perfil idêntico às obtidas neste trabalho, no mesmo tipo de solo:

$$i (\text{mm/h}) = 107,81 t^{-0,5501} \quad (4.7)$$

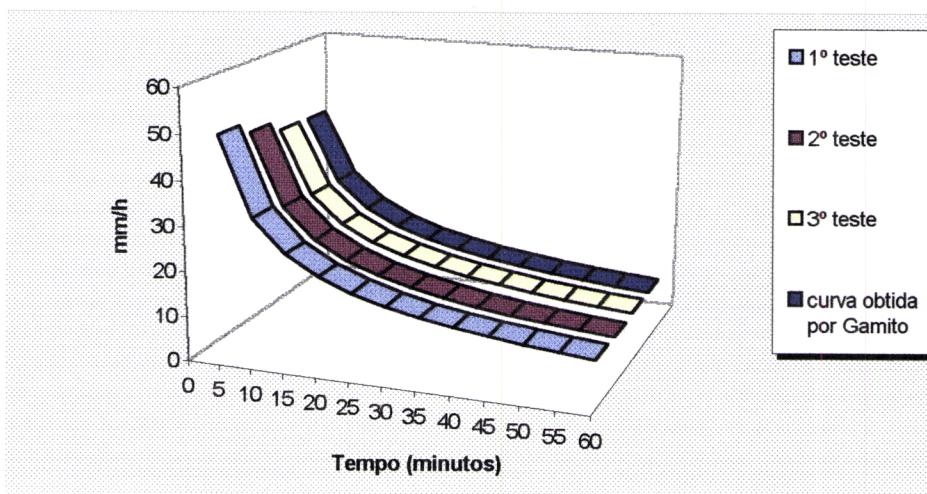


Fig. 4.17 - Curvas de infiltrabilidade do solo.

#### 4.2.2. Escorramento e retenção superficial

A ideia de escorramento superficial prende-se ao escorramento da água sobre a superfície do solo desde o local onde foi aplicada em direcção a zonas mais baixas por incapacidade do solo em aceitá-la por infiltração ou retê-la à superfície. Ocorre quando a intensidade de precipitação excede a infiltrabilidade do solo, cuja consequência imediata, para além da erosão, é a de reduzir a eficiência de rega (Serafim, 1994).

A intensidade de precipitação não é constante, o máximo atinge-se junto do aspersor, diminuindo à medida que este se afasta, decrescendo até zero. Junto ao aspersor, por ser o ponto de maior intensidade de precipitação, realizaram-se medições da evolução da intensidade de precipitação ao longo do tempo, num dado ponto.

Na fig. 4.17 encontram-se representados os diagramas pluviométricos para as velocidades de 10, 30 e 50 m/h, obtidos com o equipamento canhão bico de 16 mm. Representa-se também, na mesma figura, a curva da infiltrabilidade do solo obtida para o 3º teste, de modo a ser possível abordar o problema do escorramento.

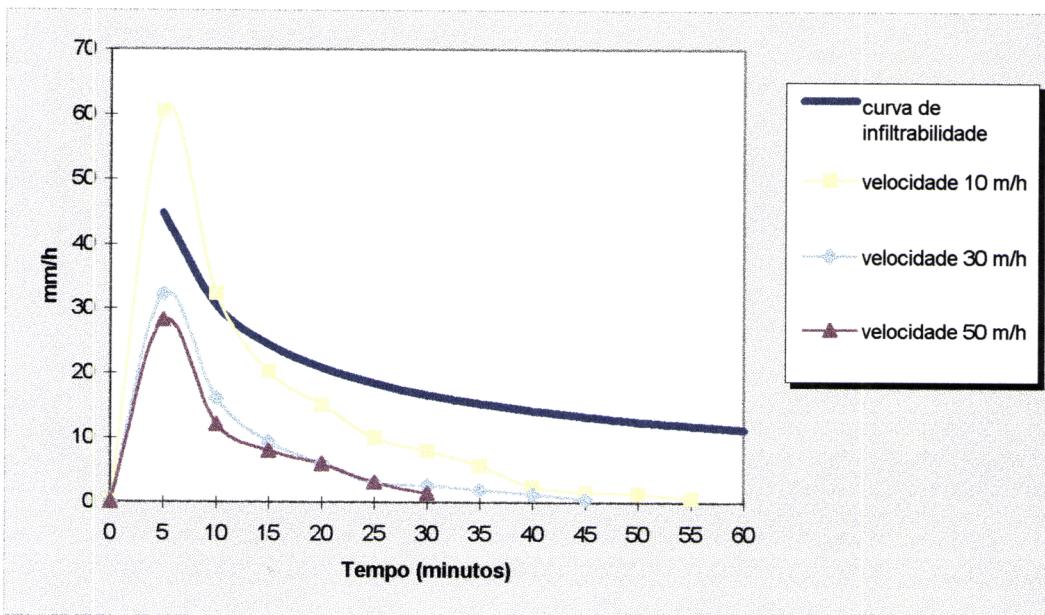


Fig. 4.18 - Curvas de intensidade de precipitação e curva da infiltrabilidade do solo obtida no 3º teste.

A existência de escorramento potencial é facilmente visível e comprovada pela intercepção das curvas de intensidade de precipitação com a curva da infiltrabilidade do solo. Para as velocidades de avanço do canhão de 30 e 50 m/h não se verifica a existência de nenhum ponto em que a taxa de aplicação da água seja superior à taxa de infiltração, enquanto que para a velocidade de 10 m/h tal já se verifica. Para velocidades de 10 m/h ocorrerá escorramento ou retenção superficial, facto que se verificou durante os testes de avaliação.

## CAPÍTULO V- CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho mostram que o estudo da avaliação na rega por aspersão é muito complexo, já que são muitos os factores que afectam a uniformidade e a eficiência. Estes factores dizem respeito quer ao dimensionamento (espaçamento entre aspersores, diâmetro dos bicos etc.), quer ao funcionamento (pressão de serviço, duração da rega, velocidade do vento, etc.).

Os principais problemas deste sistema estão relacionados com os baixos valores de Uniformidade de Distribuição, com a zona intermédia entre faixas adjacentes, incluindo a zona de sobreposição, a receber as menores dotações. Isto é tanto mais verdade quanto menor for a sobreposição considerada. Os valores de Coeficiente de Uniformidade e de Uniformidade de Distribuição obtidos nas diversas modalidades só alcaçaram níveis aceitáveis ( $\geq 70\%$  e 60%, respectivamente) quando se considerou 35% de espaçamento entre faixas adjacentes, e mesmo com esta sobreposição a modalidade canhão com bico 14 mm e pressão 650 kPa não alcançou estes níveis. Para as modalidades canhão bico com 16 mm e para a barra com 2 aspersores esse nível atingiu-se considerando 25% de sobreposição. Constatou-se que as modalidades funcionando com menores pressões de serviço, sendo menos susceptíveis ao vento, apresentaram valores de Coeficiente de Uniformidade mais elevados. Contudo, há que ter em conta que estes valores foram obtidos em regas individuais sob condições climáticas determinadas e, no entanto, a prática habitual da rega consiste na aplicação de várias regas sucessivas durante o período de crescimento da cultura. Pode admitir-se que a distribuição da altura de água acumulada ao longo do ciclo da cultura verifique certa compensação da falta de uniformidade relativa a uma só rega.

Relativamente à Eficiência Potencial de Aplicação, que apresenta na generalidade valores reduzidos, devido por um lado a perdas elevadas, por outro à reduzida uniformidade, recomenda-se em trabalhos futuros, a determinação exacta do caudal no canhão automotor com enrolador, talvez com utilização de um medidor ultra-sónico, que não se utilizou neste trabalho mas do qual se espera suficiente fiabilidade. O processo usado neste trabalho para determinar os caudais, por cálculo a partir das características do equipamento fornecidas pelo fabricante, pode facilmente estar sobrevalorizado.

No presente trabalho encontrou-se uma relação inversa de alta significância entre o Coeficiente de Uniformidade obtido nas diversas avaliações e a velocidade do vento, nos sistemas considerados.

Os sistemas de rega são geralmente concebidos sem uma adequada consideração do factor vento. Contudo, foi verificado que o vento afecta grandemente o desempenho dos aspersores. Se o efeito da velocidade e direcção do vento não for considerado devidamente na concepção e dimensionamento do sistema de rega, o desempenho deste não estará optimizado.

Nas avaliações realizadas verificou-se uma ampla variação nas perdas ocorridas por evaporação e arrastamento pelo vento, sendo superiores no canhão. A estimativa das perdas por evaporação e arrastamento pelo vento na rega por aspersão é muito difícil, uma vez que a metodologia normalmente utilizada (diferença entre a descarga dos aspersores e a quantidade de água realmente recolhida na rede de pluviómetros) não garante a completa identificação das perdas realmente ocorridas. Parte destas perdas contribuem para diminuir as necessidades

de rega da cultura, pelo que não deveriam ser consideradas propriamente como perdas.

Verifica-se a existência potencial de escorramento superficial, junto da linha de passagem do aspersor, uma vez que a intensidade de precipitação excede a infiltrabilidade do solo. Este escorramento verificou-se unicamente para uma velocidade de deslocação do canhão automotor de 10 m/h.

A informação técnica facilitada pelos fabricantes sobre os seus aspersores é insuficiente. Torna-se, deste modo, muito difícil selecionar correctamente o aspersor e as suas condições de funcionamento, quando se pretende dimensionar uma instalação de rega por aspersão ou melhorar uma já existente, utilizando unicamente como base técnica o caudal descarregado e o raio de alcance, para cada combinação.

Em trabalhos futuros, a fim de se obter resultados mais conclusivos, seria interessante quantificar o efeito do vento na uniformidade. Será também importante determinar os sedimentos transportados através dos escorramentos superficiais.

No caso da barra de aspersores, seria interessante medir, tal como no canhão, a pressão de serviço de cada aspersor (à entrada da agulheta).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE, 1995 - *Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles.* 750-751.
- CARDOSO, J. C. 1965 - *Os solos de Portugal - sua classificação e caracterização e génesis (1- A Sul do Rio Tejo).* Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa.
- COSTA, J. B. 1979 - *Caracterização e constituição do solo.* Fundação Calouste Gulbenkian, 2<sup>a</sup> edição. Lisboa.
- CEMAGREF, 1992 - *Irrigation. Guide pratique.* Cemagref. CEP e RNED-HA. 2<sup>a</sup> edição. Montpellier.
- DILLON, R. C.; HILLER, E.A. e VITTETOE, G. 1972 - *Center-Pivot Sprinkler Design Based on Intake Characteristics.* Transactions of the ASAE. Vol. 15(5):996-1001.
- DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. 1988 - *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.* Estudios de FAO Riego y Drenage nº 33. FAO, Roma.
- FACI, J. e BERCERO, A. 1989 - *Medida de la uniformidad del riego por aspersión aplicado bajo condiciones variadas de presión de funcionamiento y de viento y por sistemas diversos.* Investigation Agraria - Producción y protección vegetales Vol 4 (1).
- FACI, J. e BERCERO, A. 1990 - *Efecto del viento en la uniformidad y en las perdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión.* Investigation Agraria - Producción y protección vegetales Vol 6 (2).
- GAMITO, L. F. 1998 - *Avaliação e caracterização do funcionamento de uma rampa rotativa em solos Mediterrâneos.* Trabalho de fim de curso em Engenharia Agrícola. Universidade de Évora.
- HEERMANN, D. F. e KOHL, R. A. 1983 - *Fluid dynamics of sprinkler systems.* In *design and operation of farm irrigation systems.* ASAE Monograph 3: 583-614. St. Joseph.

- KELLER, J. *et al.* 1981 - *Evaluation of irrigation systems*. In irrigation challenges of the 80's. Proceedings of the ASAE. Second National irrigation symposium. 95-105. St. Joseph.
- KELLER, J. e BLIESNER, R. 1990 - *Sprinkle and Trickle irrigation*. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.
- LIVINGSTON, P. , LOFTIS, J. C. e DUKE, H. R. (1985) - *A wind tunnel study of sprinkler catch-can performance*. Transactions of the ASAE. Vol. 28(6): 1961-1965.
- LUZ, P. F. A. B. 1991 - *Avaliação global da rega por "center-pivot"*. Tese submetida para satisfação parcial dos requisitos para o grau de Mestre. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.
- MARTIN-BENITO, J. M. T. 1995 - *El riego por aspersión y su tecnología*. Edições Mundi-Prensa. Madrid.
- MERRIAM, J. L. e KELLER, J. 1978 - *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management*. Utah State University. Logan, Utah.
- MERRIAM, J. L. *et. al* 1983 - *Evaluating irrigation systems and practices*. In design and operation of farm irrigation systems. ASAE Monograph 3: 721-749. St. Joseph.
- OLIVEIRA, I. 1993 - *Técnicas de regadio*. Tomo I e II. Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural, Lisboa.
- RAMOS, A. F. P. F. 1995 - *Caracterização do enraizamento em função das condições hidropedológicas de um solo argiluviado sujeito à rega por sulcos*. Trabalho de Fim de Curso. Universidade de Évora.
- RAPOSO, J. R. 1996 - *A rega. Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- REINDERS, F. B. e LOUW, A. A. 1984 - *Infiltration: measurement and use*. Department Agricultural Technical Services. Republic of South Africa :17-20

- ROLLAND, L. 1986. *Mecanizacion del riego por aspersión. Estudio FAO, Riego y Drenaje nº 35.* FAO, Roma.
- SANTOS JÚNIOR, A. G. 1987 - *Movimento da água no solo. 2ª edição.* Universidade de Évora.
- SERAFIM, A. M. P. B. 1994 - *Sobre a implantação de rampas polares.* Dissertação para doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.
- SMITH, M. 1991 - *Cropwat, version 5.7.* Dirección de Fomento, Tierras y Aguas. FAO, Roma.
- SOLOMON, K. 1979 - *Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results.* Transactions of the ASAE 22(5): 1078-1080, 1086.
- VORIES, E. D. e von BERNUTH, R. D. (1986) - *Single nozzle sprinkler performance in wind.* Transactions of the ASAE. Vol. 29(5):1325-1330.
- VORIES, E. D. , von BERNUTH, R. D. e MICKLESON, R. H. (1987) - *Simulating sprinkler performance in wind.* Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, vol. 113(1):119-130.

## **ANEXOS**

## I - Dados técnicos do canhão Mizar

Bico	Pressão	Alcance do jacto	Débito		Dados rel. a um só aspersor	
			(l/min)	(m <sup>3</sup> /h)	Sup. regada	Int pluv.
(mm)	(Atm)	(m)			(m <sup>2</sup> )	(mm/h)
14	3.0	27.0	211	12.6	2289	5.5
	3.5	28.5	229	13.7	2550	5.3
	4.0	30.5	245	14.7	2920	5.0
	4.5	32.0	260	15.6	3217	4.8
	5.0	33.5	274	16.4	3523	4.6
	5.5	35.0	287	17.2	3830	4.5
	6.0	36.5	300	18.0	4176	4.3
	6.5	37.0	310	18.6	4300	4.3
	7.0	38.0	324	19.4	4521	4.2
	8.0	39.5	346	20.8	4899	4.2
16	3.0	28.0	275	16.5	2461	6.7
	3.5	30.0	298	17.9	2826	6.3
	4.0	31.5	319	19.1	3115	6.1
	4.5	33.0	338	20.2	3419	5.9
	5.0	34.5	356	21.4	3737	5.7
	5.5	36.0	373	22.4	4071	5.5
	6.0	38.0	391	23.4	4521	5.2
	7.0	40.0	421	25.2	5026	5.0
	8.0	41.5	451	27.0	5400	5.0

## II - Dados técnicos dos aspersores utilizados na barra

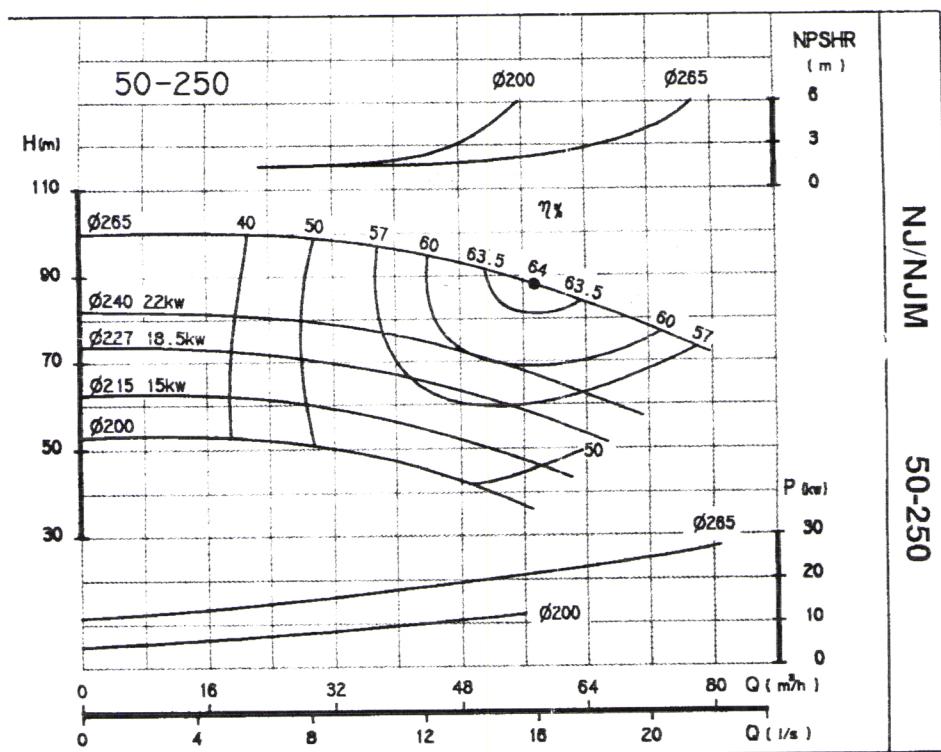
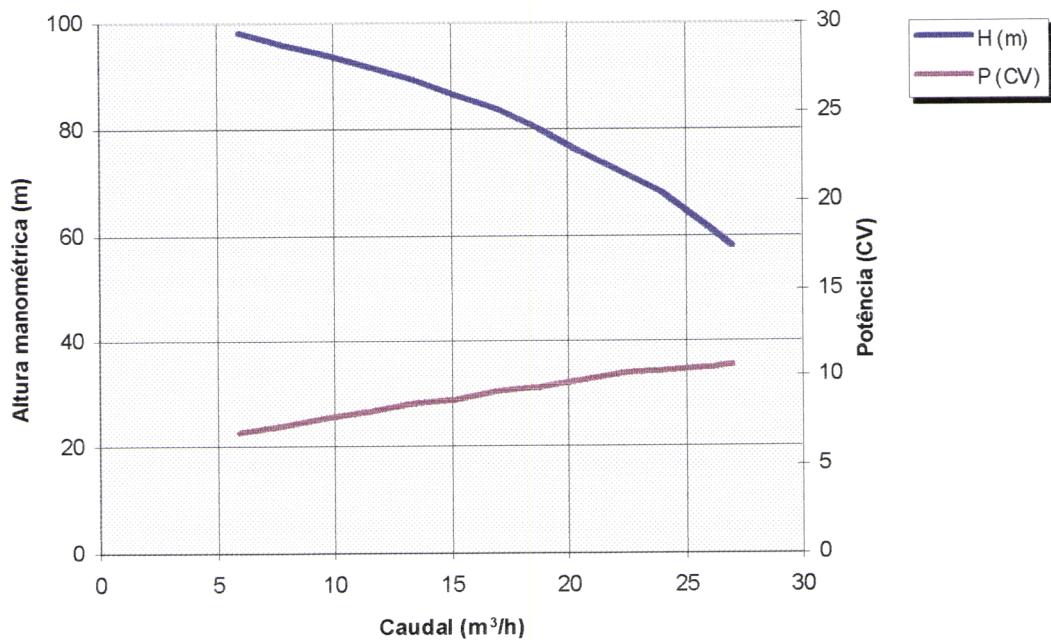
## Modelo B82 -1" SPECIAL

Diâmetro bico	Pressão	Alcance do jacto	Débito
(mm)	(Atm)	(m)	(m <sup>3</sup> /h)
9	1.5	15.5	3.7
	2.0	16.5	4.3
	3.0	17.5	5.3
	4.0	19.0	6.1
	4.5	20.0	6.5

## Aspersor P/22-S

Diâmetro bico	Pressão	Alcance do jacto	Débito
(mm)	(Atm)	(m)	(l/min)
10	2.0	18,5	90
	3.0	20	110
	4.0	21,5	130

**Anexo III - Curva característica da bomba Tecnidráulica Tipo 402 S  
e da bomba EFACEC NJ/NJM 50-250.**



$n = 2900$  r.p.m.

**Anexo IV. Dados climáticos da Estação Meteorológica de Évora (média de 28 anos)**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura (°C)	9,4	10	11,7	13,3	16,3	20,2	23	23,3	21,7	17,1	12,8	9,9
Precipitação (mm)	74,4	79,2	51,7	51,6	32,1	21	6,5	5,5	22,1	67,2	70,7	77,9
Humidade rel. (%)	85,3	83,7	78,8	76,1	71,6	68,8	64	64,5	68,4	76,5	81,1	84,5
Vel. Vento (Km/h)	10,0	10,7	10,8	10,7	10,9	10,4	11,0	11,0	9,6	9,7	9,8	10,1
Insolação (nº horas)	151	145	203	219	283	300	357	343	250	205	160	147

**Anexo V - Folha de registo dos dados de campo (Adaptado de Merriam e Keller, 1978).**

- 
1. Local..... Observador.....
- Data.....
2. Cultura..... Prof. radical.....(m)
3. Solo....., Humidade disponível.....(mm/m)
4. Aspersor/enrolador marcas...../..... Modelos...../.....
5. Orifícios: Dimensão.....(mm), Tipo....., Pressão.....(kPa),  
Caudal.....(l/s)
6. Tubagem: Comprimento.....(m), Diâmetro.....(mm)
7. Unidade indutora do movimento.....
8. Percurso do canhão: Esp. entre passagens sucessivas..... (m),  
Comprimento.....(m)  
Declive.....(%)
9. Perdas de evaporação.....(mm)
10. Velocidade do canhão.....(m/h)
11. Total: Caudal.....(l/s), Perda de pressão.....(kPa)
12. Intensidade de precipitação:  

$$ip = \frac{3600 * (caudal do asp.....(l/s)) * (360)}{(espaçamento entre passagens sucessivas.....)^2 * (sector regado.....)} \quad (\text{mm/h})$$
13. Dotação média aplicada:  

$$D = 60 * \frac{(caudal do asp.....(l/s))}{(espaçamento entre passagens sucessivas.....) * (vel. do canhão.....)} \quad (\text{mm/h})$$
14. Volume médio de água recolhido nos pluviômetros:  
 ■ Sistema (mm) = 
$$\frac{\text{Soma dos volumes recolhidos em todos os pluviômetros}}{\text{numero total de pluviômetros}}$$

$$\blacksquare \text{ Quartil inferior (mm)} = \frac{\text{Soma dos volumes em } 1/4 \text{ dos pluviômetros}}{\text{numero correspondente a } 1/4 \text{ dos pluviômetros}}$$

## 15. Vento:

velocidade.....(m/s)

direcção.....

## 16. Comentários

.....  
 .....

Afastamento entre recipientes (m)	lado esq. da passag.		Lado dir. da passag.		Direito + Esquerdo Totais (ml)
	recipiente	volume	recipiente	volume	
	nº	(ml)	nº	(ml)	
42	1				
39	2				
36	3				
33	4				
30	5			10	
27	6			9	
24	7			8	
21	8			7	
18	9			6	
15	10			5	
12				4	
9				3	
6				2	
3				1	

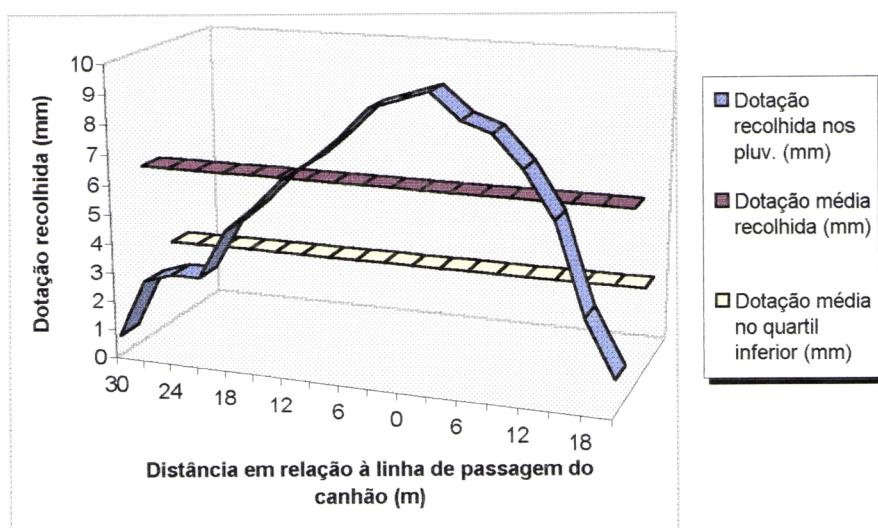
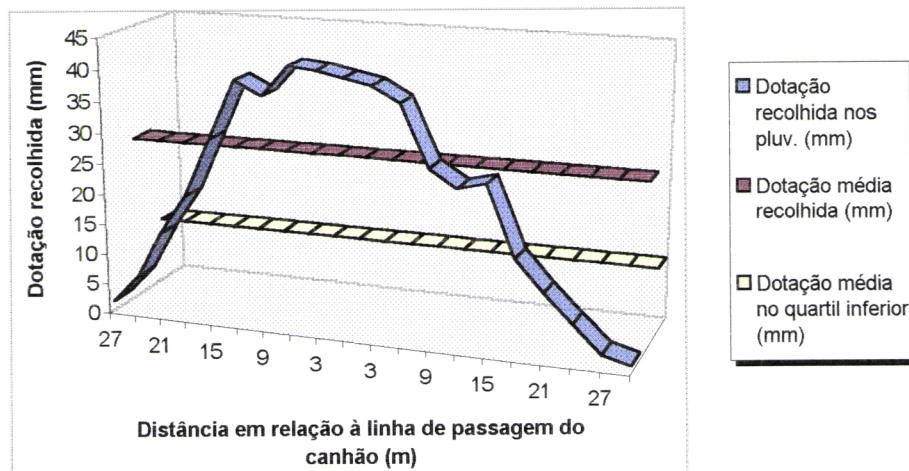
Volume total recolhido.....

Média.....

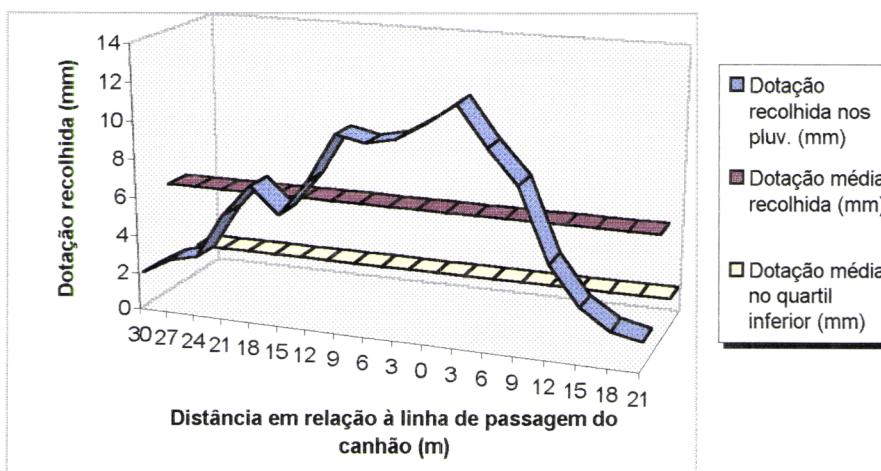
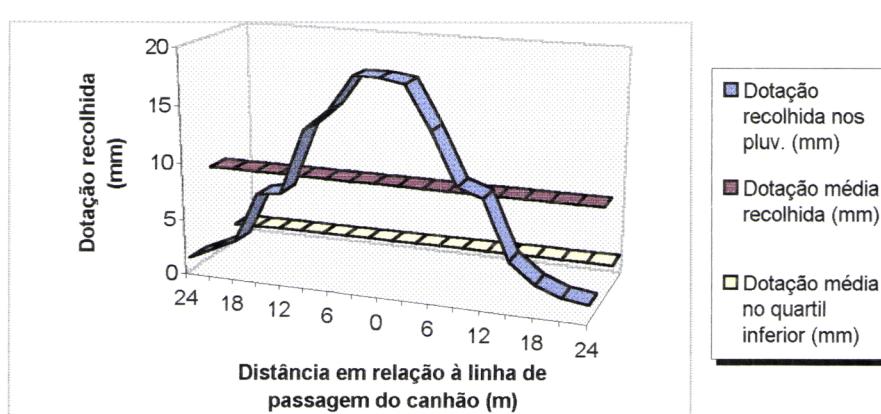
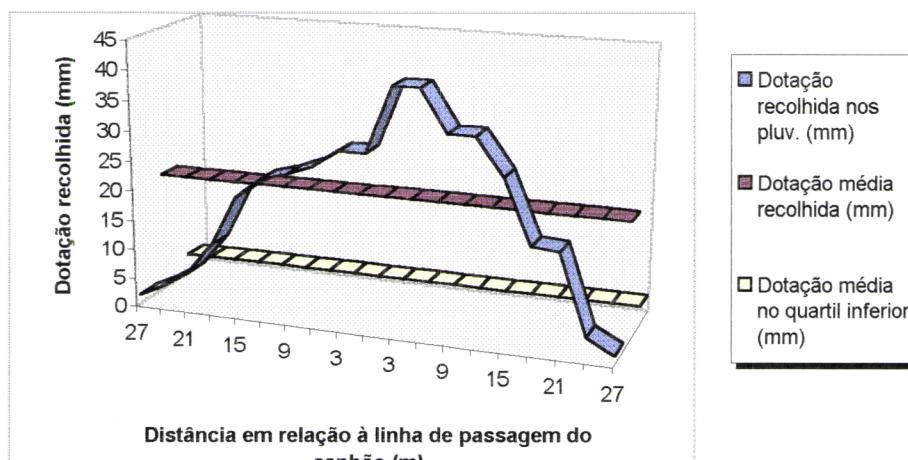
Soma dos vol. recolhidos em  $\frac{1}{4}$  dos pluviômetros.....

que apresentam os valores mais baixos

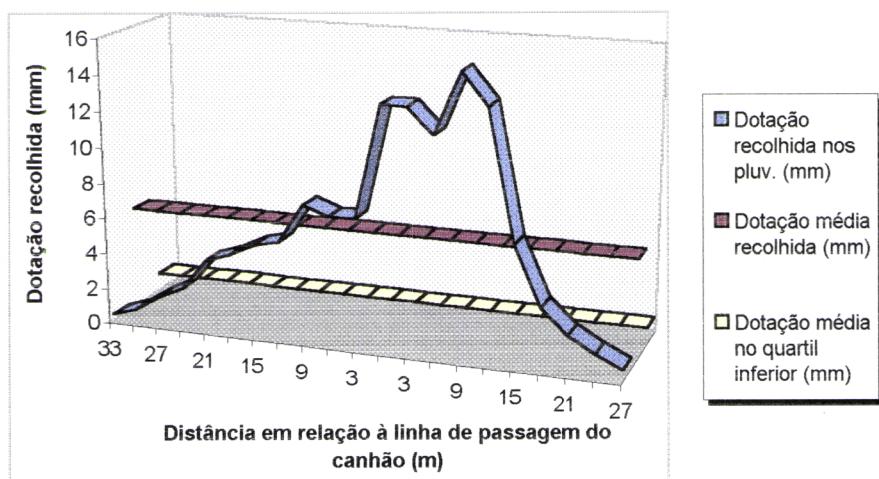
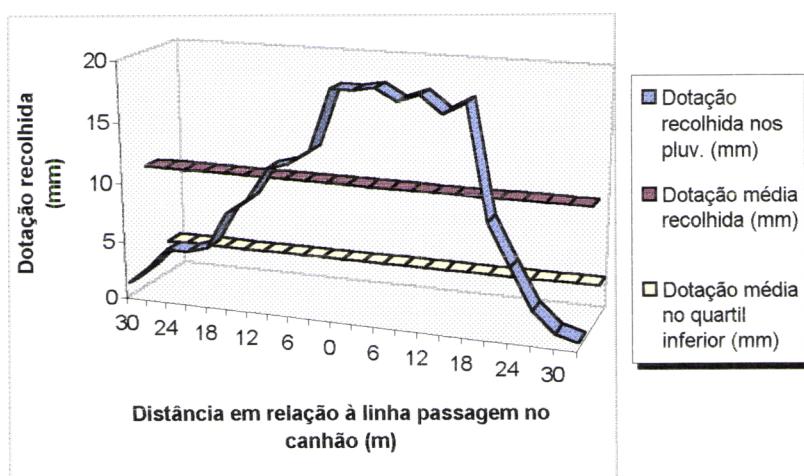
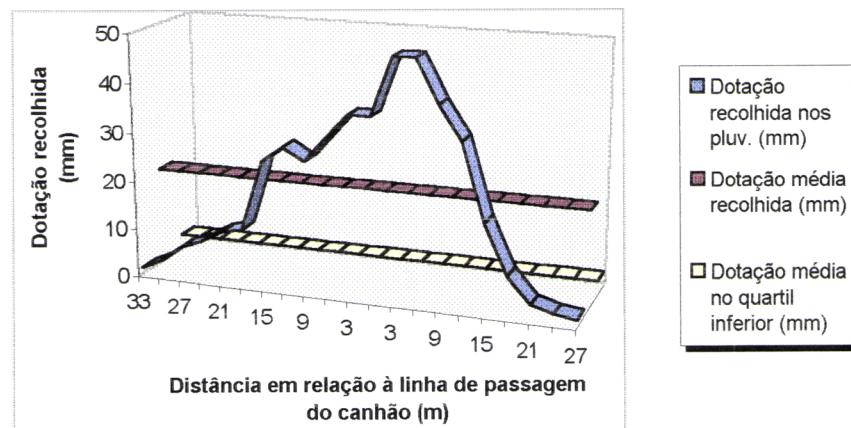
Anexo VI - Diagramas pluviométricos obtidos com o canhão bico 16 mm, pressão 300 kPa, com uma velocidade de deslocação de 10 e 50 m/h, respectivamente.



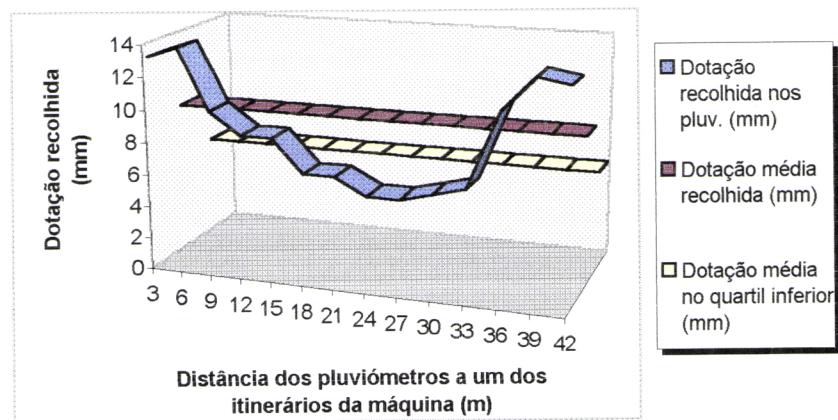
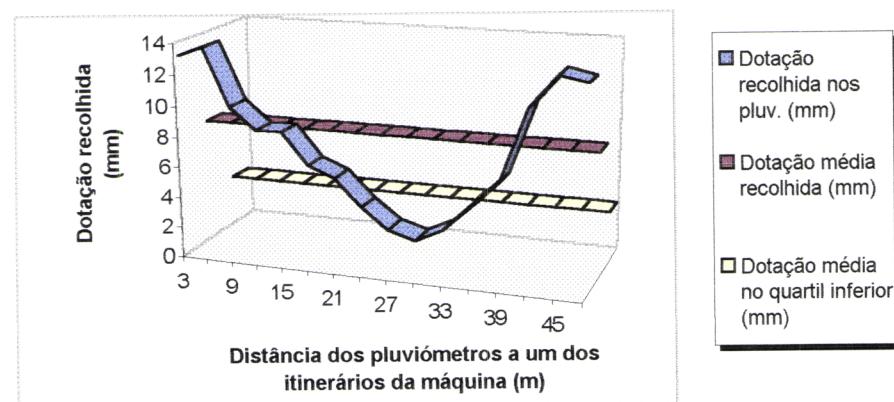
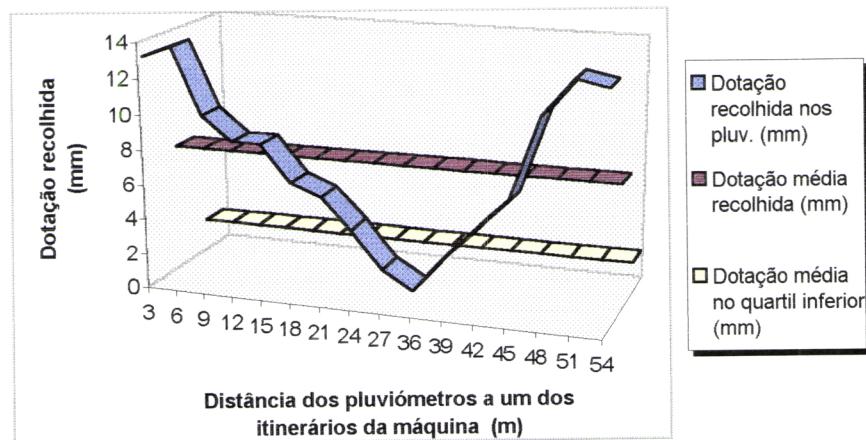
Diagramas pluviométricos obtidos com o canhão bico 14 mm, pressão 450 kPa, com uma velocidade de deslocação de 10, 30 e 50 m/h, respectivamente.



Diagramas pluviométricos obtidos com o canhão bico 14 mm, pressão 650 kPa, com uma velocidade de deslocação de 10, 30 e 50 m/h, respectivamente.



Anexo VII - Diagramas da precipitação recolhida entre faixas adjacentes, no canhão modalidade bico 14 mm-velocidade 30 m/h, para uma pressão de serviço de 450 kPa (considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição).



Anexo VIII - Diagramas da precipitação recolhida entre faixas adjacentes, no canhão modalidade bico 14 mm-velocidade 30 m/h, para uma pressão de serviço de 650 kPa (considerando 15%, 25% e 35% de sobreposição).

