

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Departamento de Engenharia Rural - Setor de Irrigação e Drenagem

Irrigação por Aspersão Convencional

Prof. Dr. Rubens Coelho

Classificação dos aspersores

➔ Quanto ao sistema de funcionamento

- Fixos
- Rotativos (Reação/Impacto)

➔ Quanto ao raio de ação

- Círculo completo
- Setorial

➔ Quanto ao ângulo de saída do jato

- Convencional ($27 - 33^\circ$)
- Sub copa ($4 - 7^\circ$)

➔ Quanto ao número de bocais

- Um bocal
- Dois ou mais bocais

➔ Quanto à pressão de serviço

- Baixa: 25 mca
- Média: 25 – 50 mca
- Alta: 50 – 80 mca

➔ Quanto ao alcance do jato

- Pequeno alcance: < 12 m
- Médio alcance: 12-25 m
- Grande alcance: >25 m

➔ **Quanto à intensidade de precipitação**

- Pequena intensidade: < 5 mm/h
- Média intensidade: < 5 – 15 mm/h
- Grande intensidade: > 15 mm/h

➔ **Quanto à vazão**

- Aspersores pequenos: < 5 m³/h
- Aspersores médios: 5 – 20 m³/h
- Aspersores grandes: 20 – 50 m³/h
- Canhão hidráulico: > 50 m³/h

Tipos, modelos e fabricantes de aspersores

Aspersores do tipo Impacto





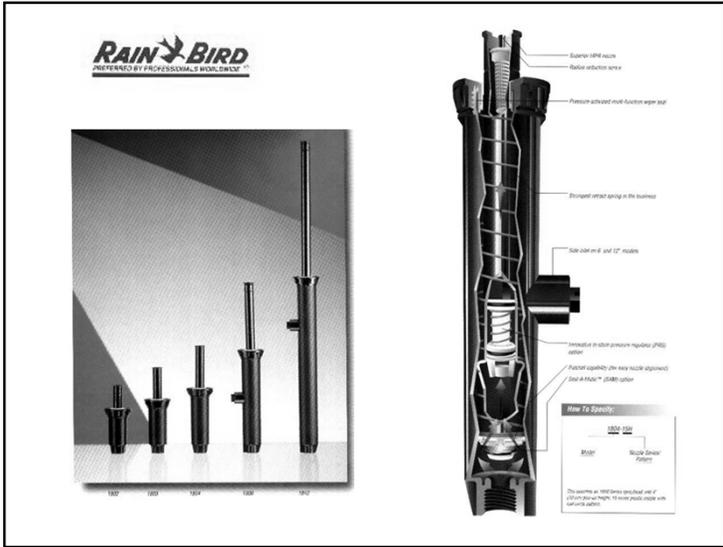


Aspersores do tipo Canhão





Aspersores do tipo Spray





Aspersores do tipo Rotor

RAIN BIRD
POWERED BY PROFESSIONAL WISDOM™

Standard rubber covered nozzle housing with small 2" exposed diameter reduces possibility of clog. Also available in purple for non-pollute water applications.

Nozzle retracts open for nozzle rotation and up to 25% radius reduction.

Flow Control™ Nozzle with 20° trajectory for superior water application uniformity. Nozzles are retained from the head for easy interchangeability. Two nozzles available. Case for four more nozzles to be available in early 1995.

Superior rotor stem with "Push & Start" feature to ensure positive pop down. Four inch pop up height to center line of nozzle.

Wiper seal to assure positive pop down.

Patented, pressure activated wiper seal to reduce flow by which allows use of a stronger offset spring for positive pop down.

Case seal eliminates cover-to-body leaks.

Trip assembly allows "Wet or dry" and adjustment from 45° to 200° arc and circle operation. Full circle model available.

Water lubricated gear drive assembly for reliable, durable rotation.

Self adjusting rotor eliminates need for manual changing when changing nozzles with existing "Universal" rotation.

Extra heavy-duty retract spring for positive pop down and positive "SAMP" seal to eliminate top head damage.

Large heavy-duty screen to protect internal mechanism from large debris.

"O-ring" uses "SAMP" seal holds back up to 20" (1/2" of head) to prevent low-head damage when not causing pressure loss.

Heavy-duty ABS case for long life.

Internal 1" steel inserts for maximum strength and durability.

Patrol Nozzle Colors

Head	Color
04	Black
06	Green
12	Blue
16	White



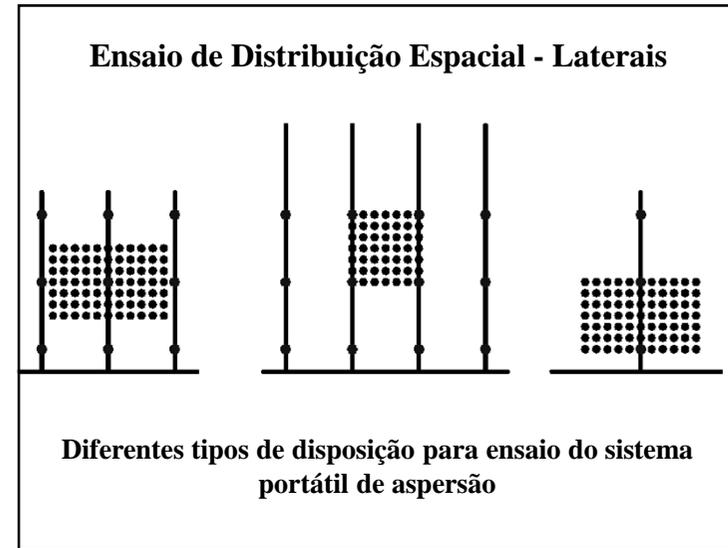
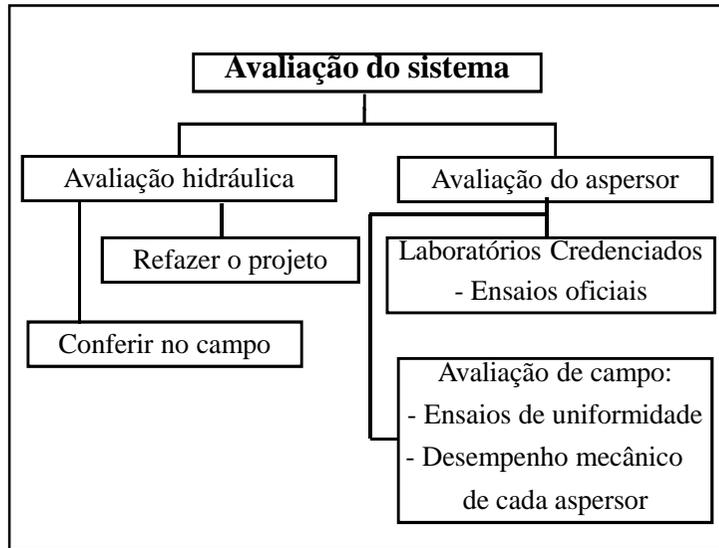
Avaliação do Desempenho

➔ Sistemas portáteis

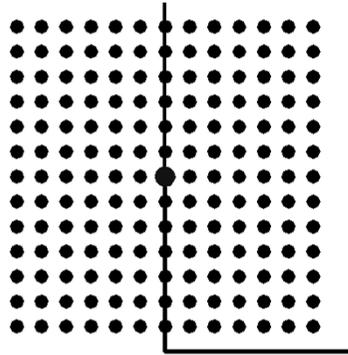
Desempenho do Sistema portátil

Desempenho hidráulico do sistema

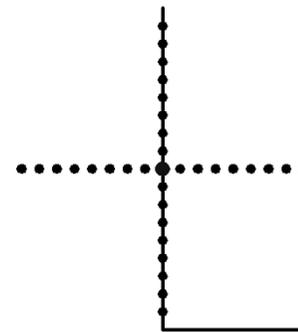
Desempenho do aspersor na distribuição de água

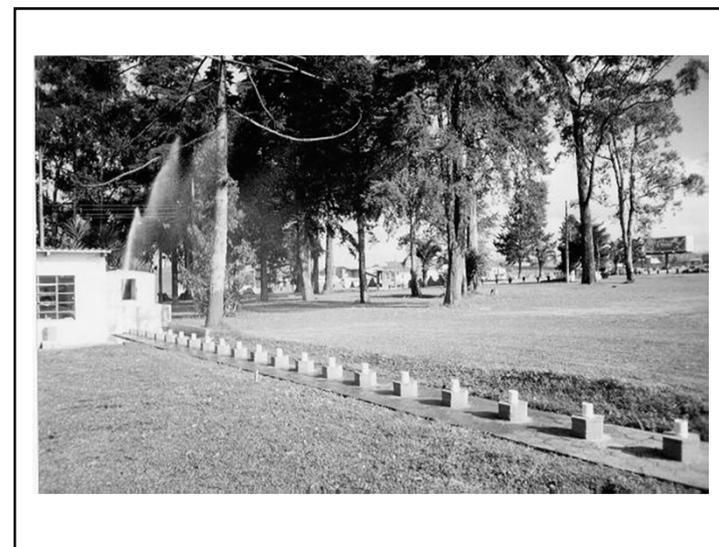
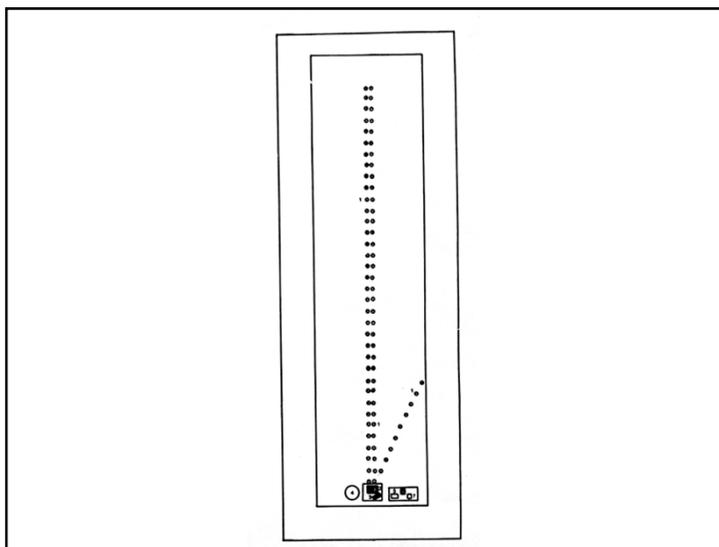


Ensaio de Distribuição Espacial – 1 Aspensor



Ensaio de Distribuição Radial – 1 Aspensor



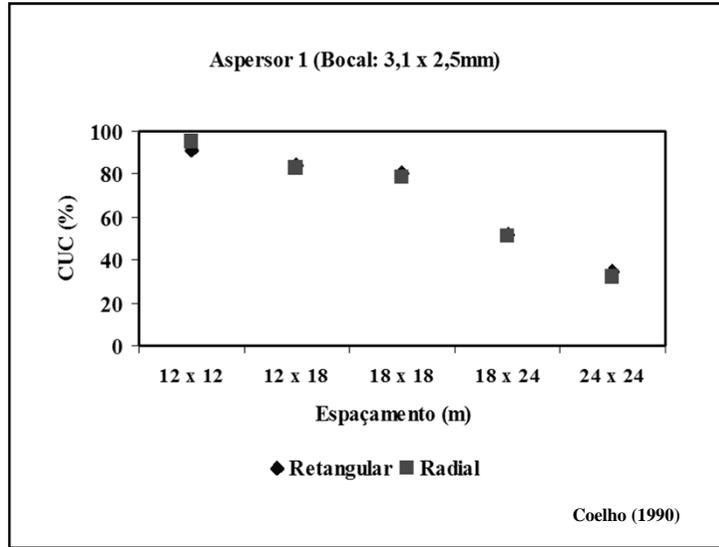


Matriz Gerada – Ensaio Radial

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	3,20	3,91	3,91	3,20	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,54	3,20	4,35	4,76	4,97	4,97	4,76	4,35	3,20	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	3,20	4,55	5,20	5,69	5,96	5,96	5,69	5,20	4,55	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	1,83	4,35	5,20	5,96	6,58	6,95	6,95	6,58	5,96	5,20	4,35	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,20	4,76	5,69	6,58	7,38	7,92	7,92	7,38	6,58	5,69	4,76	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,91	4,97	5,96	6,95	7,92	8,79	8,79	7,92	6,95	5,96	4,97	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,91	4,97	5,96	6,95	7,92	8,79	8,79	7,92	6,95	5,96	4,97	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,20	4,76	5,69	6,58	7,38	7,92	7,92	7,38	6,58	5,69	4,76	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	1,83	4,35	5,20	5,96	6,58	6,95	6,95	6,58	5,96	5,20	4,35	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	3,20	4,55	5,20	5,69	5,96	5,96	5,69	5,20	4,55	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,54	3,20	4,35	4,76	4,97	4,97	4,76	4,35	3,20	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	3,20	3,91	3,91	3,20	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 1. Valores de CUC, para os diversos espaçamentos entre aspersores, nas metodologias de disposição retangular (RE) e Radial (RA) de coletores, para diversos bocais do aspersor MD 20 A – Dantas.

Bocal (mm)	3,1 x 2,5		3,4 x 2,5		3,9 x 2,5		4,9 x 2,5		
Espaçamento (m)	ASP - 1	ASP - 2	ASP - 3	ASP - 4	ASP - 5	ASP - 6	ASP - 7	ASP - 8	
12 x 12	RE	91,21	89,01	93,18	90,09	95,04	86,04	88,45	86,90
	RA	94,90	91,90	93,60	92,30	95,80	90,00	91,50	94,50
12 x 18	RE	84,14	86,72	91,25	84,89	93,66	79,09	88,19	87,80
	RA	82,70	86,60	93,40	84,40	95,60	85,80	92,10	94,60
18 x 18	RE	80,03	84,03	87,22	78,80	91,43	78,70	82,18	82,40
	RA	78,10	83,30	88,50	79,40	93,50	80,90	89,40	91,50
18 x 24	RE	51,74	58,16	66,03	52,76	74,06	49,43	71,80	67,60
	RA	50,70	55,20	63,00	51,50	71,20	53,20	71,30	72,30
24 x 24	RE	34,60	41,69	57,78	36,20	65,75	35,31	61,50	60,30
	RA	31,90	37,10	52,10	32,90	64,00	35,70	61,00	62,90
Velocidade média do vento (Km/h)	1,2	0,0	0,0	2,4	0,0	3,4	1,4	0,9	



Coeficientes de Uniformidade de aplicação de água

- Christiansen (1942)

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|}{x_m}$$

- Wilcox e Swailes (1947)

$$UWS = 1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|^2}{n-1}}}{x_m}$$

- Hart (1961)

$$UH = 1 - 0,797 \times \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|^2}{n-1}}}{x_m}$$

- Kruse (1978)

$$UD = \frac{x_{25}}{x_m}$$

- Outros

Tabela 3. Valores de coeficientes de uniformidade.

Tipo de cultura	CUC (%)	UD (%)
Cultura de alto valor econômico ou com raízes rasas	> 88	> 80
Cultura com sistema radicular médio	82 - 88	70 - 80
Cultura com sistema radicular profundo e/ou para irrigação suplementar	70 - 82	50 - 70

Fonte: Merriam & Keller (1978)

Tabela 6. Níveis dos parâmetros da qualidade da irrigação.

Eficiências	Excelente	Satisfatório	Insatisfatório
Es	$\geq 0,8$	$\geq 0,5 < 0,8$	$< 0,5$
Ea	$\geq 0,8$	$\geq 0,8 < 0,8$	$< 0,5$
CU	$\geq 0,9$	$\geq 0,7 < 0,9$	$< 0,7$
Ed	$\geq 0,8$	$\geq 0,6 < 0,8$	$< 0,6$

Fonte: Hart et al. (1979)

Influência de fatores climáticos na uniformidade de distribuição

• **Vento**

- **distorção do perfil**
- **redução da área coberta**
- **diminuição da sobreposição**

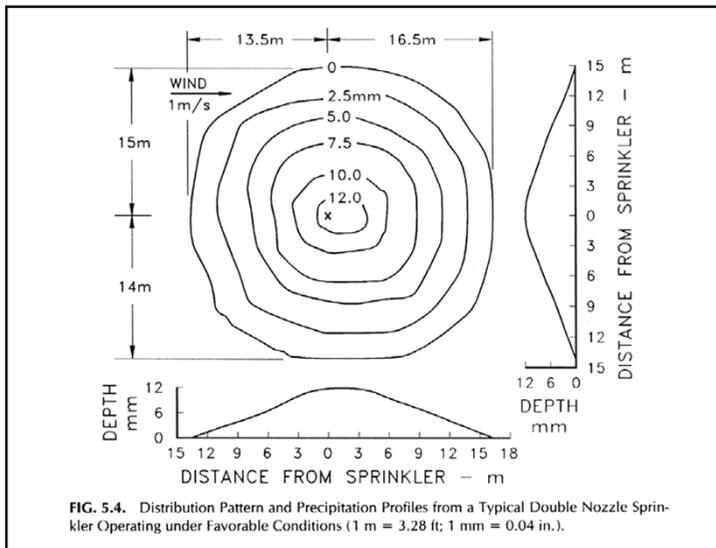


FIG. 5.4. Distribution Pattern and Precipitation Profiles from a Typical Double Nozzle Sprinkler Operating under Favorable Conditions (1 m = 3.28 ft; 1 mm = 0.04 in.).

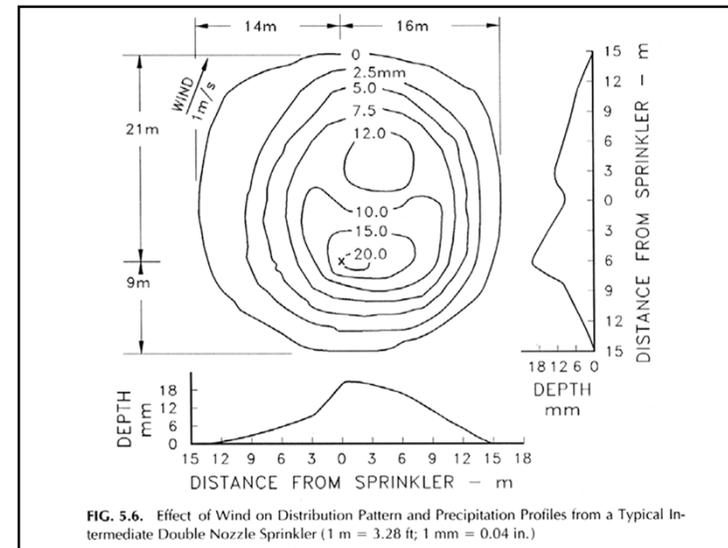
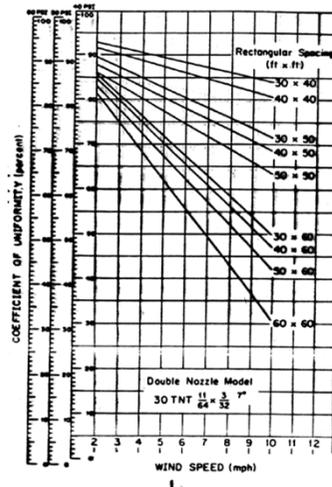


FIG. 5.6. Effect of Wind on Distribution Pattern and Precipitation Profiles from a Typical Intermediate Double Nozzle Sprinkler (1 m = 3.28 ft; 1 mm = 0.04 in.).

Efeito do vento no coeficiente de uniformidade



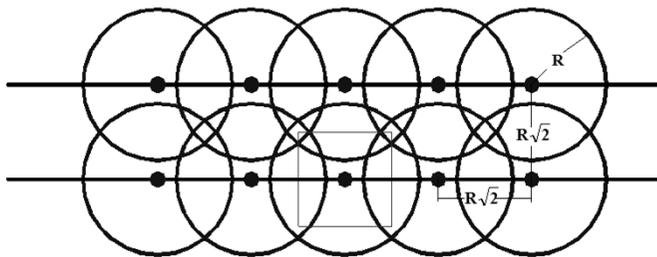
Disposição dos Aspersores na área

- Retangular → V = 1 m/s CUC = 82%
V = 7 m/s CUC = 23%
- Triangular → V = 1 m/s CUC = 82%
V = 7 m/s CUC = 27%

Obs.: Locais de ventos predominantemente fortes optar pela disposição triangular

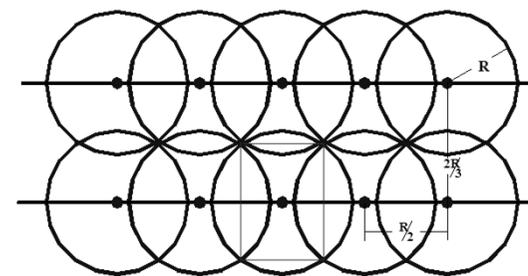
(Azevedo et al., 2000)

Disposição dos Aspersores



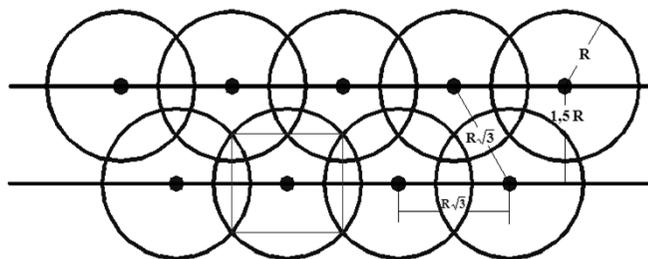
Disposição em Quadrado

Disposição dos Aspersores



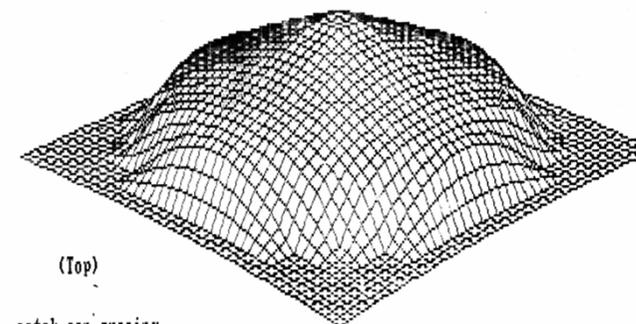
Disposição em Retângulo

Disposição dos Aspersores



Disposição em Triângulo

Espaçamento: sobreposição



(Top)
catch can spacing
2,00 m
press return? █

Funções de Produção

Tabela 9. Caracterização das culturas no PSNC

Cultura	Função de produção Y (Kg ha ⁻¹) e W (mm)	R ²	Época de semeadura	Preço do produto (US\$/kg)	Custo produção (US\$/ha)
Feijão Phaseolus	$Y = 8 \times 10^{-2} e^{(5,823 \times 10^{-2} W - 3,508 W^2)}$	0,99	Maio/Setembro	0,58	450,0
Feijão Vigna	$Y = 436,32 e^{(2,92 \times 10^{-3} W - 1,622 \times 10^{-6} W^2)}$	0,78	Janeiro	0,54	400,0
Melancia	$Y = -2301,15 - 81,09 W - 0,0457 W^2$	0,88	Fevereiro/Outubro	0,08	750,0
Milho	$Y = -8481,94 - 20,686 W - 1151,92 W^{0,5}$	0,98	Maio/Dezembro	0,15	432,2
Melão	$Y = 6,0331 \times 10^{-2} W^{(5,6045 - 0,6065 W)}$	0,99	Fevereiro	0,16	908,0
Pimentão	$Y = 9453,68 e^{(6,744 \times 10^{-4} W - 4,4217 \times 10^{-7} W^2)}$	0,98	Setembro	0,15	889,0
Tomate	$Y = -23000 - 271,9355 W - 0,23948 W^2$	0,98	Maio	0,08	1645,0
Cebola	$Y = -115910 - 378,924 W - 0,2299 W^2$	0,62	Fevereiro	0,20	1530,0
Banana	$Y = -36848 - 63,25504 W - 0,01097 W^2$	0,99	-	0,18	1200,0

Obs.: A cultura da banana é considerada neste estudo como estando no segundo ano
Fonte: Dantas Neto (1994)

Exemplo de Aplicação

Exemplo: Dados de um teste de precipitação (distribuição espacial – 1 aspersor), em cm³, com pluviômetros espaçados de 3m.

Aspersor: modelo PX

Altura do tubo de elevação: 1,50 m

Pressão de serviço: 3,0 atm

Vazão do aspersor: 1,2 l/s

Velocidade de rotação: 1,5 rpm

Duração: 120 min

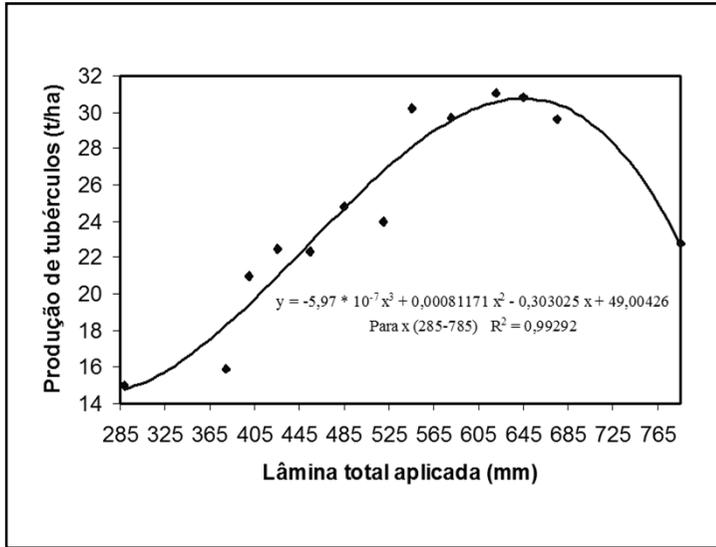
Fonte: Bernardo (1989)

Grade: 3 x 3 – volumes em cm³

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	14	21	26	21	27	14	4	0	0
0	0	0	21	29	27	33	21	27	27	17	5	0
0	0	15	29	33	49	61	33	49	30	26	15	0
0	1	28	30	48	60	75	74	57	45	27	23	4
0	4	30	31	55	71	66	68	64	48	31	24	7
0	6	31	30	54	62	65	63	60	49	31	24	11
0	2	27	28	47	55	62	63	57	44	24	30	8
0	0	21	28	32	46	52	53	44	32	26	26	0
0	0	5	23	26	28	32	33	28	26	26	7	0
0	0	0	8	22	21	26	26	28	23	6	0	0
0	0	0	0	3	8	16	15	12	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Espaçamento: 18 x 18

6+63+	31+60+	30+49+	54+31+	62+24+	65+11+
0+0	0+0	0+0	0+0	0+0	0+0
2+63+	27+57+	28+44+	47+24+	55+30+	62+8+
0+21	0+27	0+14	14+4	21+0	26+0
0+53+	21+44+	28+32+	32+26+	46+26+	52+0+
0+21	0+27	21+27	29+17	27+5	33+0
0+33+	5+28+	23+26+	26+26+	28+7+	32+0+
0+33	15+49	29+30	33+26	49+15	61+0
26+0+	0+28+	8+23+	22+6+	21+0+	26+0+
1+74	28+57	30+45	48+27	60+23	75+4
0+15+	0+12+	0+0+	3+0+	8+0+	16+0+
4+68	30+64	31+48	55+31	71+24	66+7



Produção nas grades em função da lâmina aplicada

457	601	519	563	569	500
24,4	28,8	26,9	28,01	28,01	26,2
569	738	569	588	701	638
28,1	26,7	28,1	28,3	27,7	28,5
488	607	713	688	688	563
25,8	28,5	27,5	28,0	28,0	28,0
438	644	713	738	657	613
23,45	28,5	27,5	26,7	26,4	28,5
669	751	701	682	688	695
28,3	26,3	27,7	28,1	28,04	27,9
576	701	519	588	682	588
28,2	27,7	26,9	28,38	28,14	28,38

Média = 27,63 ton/ha

Redução em relação à produção máxima: 0,95 ton/ha ➔ 3,32%

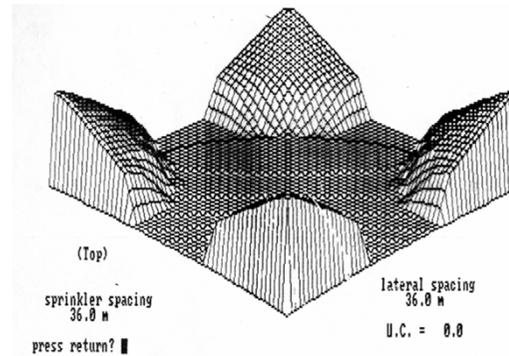
Espaçamento: 24 x 30

63	60	49	31	30	42	30	54	62	65
63	57	44	24	32	35	28	47	55	62
53	44	32	26	26	21	28	32	46	52
54	59	40	30	7	5	23	40	49	58
47	55	50	23	5	0	29	51	48	59
48	61	30	26	15	15	29	36	57	77
74	57	45	27	24	32	30	48	60	75
68	64	48	31	28	37	31	55	71	66

Média = 42,32 cm³

CUC = 64,40%

Resultado da sobreposição



Relação dos volumes coletados com o volume médio

1,48	1,41	1,15	0,73	0,70	0,99	0,70	1,27	1,46	1,53
1,48	1,34	1,03	0,56	0,75	0,82	0,66	1,11	1,29	1,46
1,25	1,03	0,75	0,61	0,61	0,49	0,66	0,75	1,08	1,22
1,27	1,29	0,94	0,70	0,16	0,11	0,54	0,94	1,15	1,37
1,11	1,29	1,18	0,54	0,11	0,00	0,68	1,20	1,13	1,39
1,13	1,44	0,70	0,61	0,35	0,35	0,68	0,85	1,34	1,81
1,74	1,34	1,06	0,63	0,56	0,75	0,70	1,13	1,41	1,77
1,60	1,51	1,13	0,73	0,66	0,87	0,73	1,29	1,67	1,55

Produção nas grades em função da lâmina aplicada

15,0	18,7	27,18	24,5	23,7	28,5	23,7	24,2	16,2	12,2
15,0	21,7	28,5	17,9	25,2	26,8	22,0	27,9	23,4	16,3
24,9	28,5	25,2	20,1	20,13	14,1	22,0	25,2	28,1	25,6
24,2	23,4	28,4	23,7	0	0	16,7	28,4	27,1	20,7
27,9	23,49	26,72	16,7	0	0	22,9	26,2	27,5	19,7
27,5	17,5	23,7	20,1	4,8	4,8	22,9	27,3	21,7	0
0	21,7	28,3	21,1	17,9	25,2	23,7	27,5	18,6	0
7,6	13,6	27,5	24,5	22,0	27,7	24,5	23,4	2,4	10,7

Média = 19,97 ton/ha

Redução em relação à produção máxima: 8,60 ton/ha → 30%

Custos da Irrigação por Aspersão Convencional em função da pressão de operação, diâmetros dos bocais e espaçamentos dos aspersores

João Luis Zocoler
(DER - ESALQ/ 1994)

Condições do Projeto:

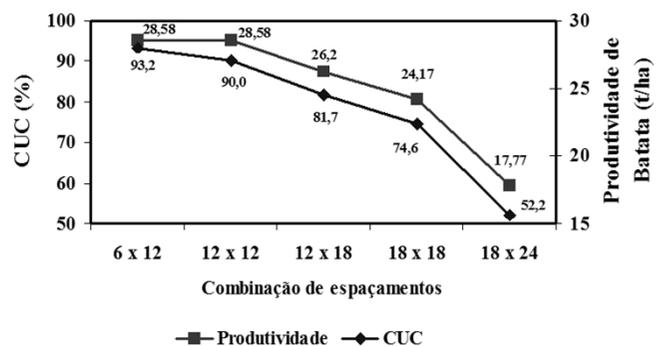
- Aspersor Fabrimar A – 1823
- Operação: 8horas/dia x 128dias/ano = 1024horas/ano
- Lâmina de irrigação: 32 mm/4 mm dia⁻¹ = 8 dias (turno de rega)
- Eficiência: 75% (Evaporação, Deriva)
- Tubulação: PVC Tigre/EMS
- Área: 7,77 ha
- Linha Lateral: 108 m

- Custo para mudar 1 linha: U\$ 2.50
- Linha principal: 306 m
- Critério ΔP : 20%
- Altura do aspersor: 1 m; Sucção: 2 m; Desnível geométrico: 11 m; Total: 14 m
- Perda de carga da sucção: desprezível
- Custo de manutenção: 3% ao ano
- Rendimento: 65%
- Vida útil: 15 anos

Tabela 11. Composição do custo anual total de um hectare irrigado em função do bocal e pressão dos aspersores para o espaçamento 12 x 12 m.

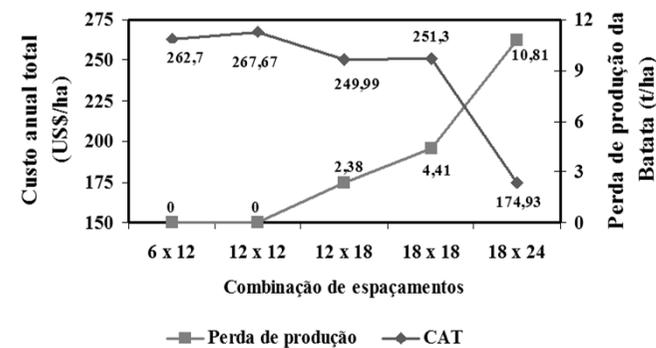
DB	PS	Q	I	TIP	NMPD	NLLN	DLL	DLP	EAB	GABO	GAMR	CFAE	CAT
2,4	30	0,83	5,76	6,94	1,15	6,51	50,34	105,94	992,74	76,26	38,13	110,36	255,62
3,2	40	1,04	7,22	5,54	1,44	5,19	50,47	98,47	1301,29	99,96	34,28	99,22	264,33
50	40	1,21	8,40	4,76	1,68	4,46	50,40	93,56	1609,85	123,67	32,10	92,91	279,55
20	50	1,36	9,44	4,24	1,89	3,97	50,33	89,99	1918,40	147,37	30,68	88,78	297,69
20	20	1,12	7,78	5,14	1,56	4,82	56,41	107,40	992,74	76,26	36,12	104,53	247,77
2,4	30	1,39	9,65	4,14	1,93	3,88	56,35	100,06	1301,29	99,96	32,82	94,98	258,63
4,0	40	1,62	11,25	3,56	2,25	3,33	56,31	95,30	1609,85	123,67	30,92	89,48	274,93
50	50	1,81	12,57	3,18	2,51	2,98	56,11	91,79	1918,40	147,37	29,70	85,95	293,89
20	20	1,58	10,97	3,65	2,19	3,42	64,29	109,66	992,74	76,26	34,53	99,94	241,60
2,4	30	1,95	13,54	2,95	2,71	2,77	64,09	102,53	1301,29	99,96	31,71	91,77	254,30
5,0	40	2,28	15,83	2,53	3,17	2,37	64,12	97,98	1609,85	123,67	30,08	87,05	271,65
50	50	2,56	17,78	2,25	3,56	2,11	64,01	94,66	1918,40	147,37	29,03	84,03	291,30
20	20	2,22	15,42	2,59	3,08	2,43	73,16	112,67	992,74	76,26	33,63	97,33	238,08
2,4	30	2,75	19,10	2,09	3,82	1,96	73,03	105,89	1301,29	99,96	31,17	90,21	252,21
6,2	40	3,18	22,08	1,81	4,42	1,70	72,76	101,46	1609,85	123,67	29,78	86,19	270,50
50	50	3,52	24,44	1,64	4,89	1,53	72,24	98,13	1918,40	147,37	28,89	83,61	290,73

DB: diâmetros dos bocais (mm); PS: pressão de serviço(mca); Q: vazão do aspersor ($m^3 h^{-1}$); I: intensidade de aplicação ($mm h^{-1}$); TIP: tempo de irrigação por posição (h); NPL: número de posições de laterais (60); NPLID: número de posições de laterais irrigadas por dia (7,5); NMPD: número de mudanças possíveis por dia por linha lateral; NLLN: número de linhas laterais necessárias; DLL: diâmetro da linha lateral (mm); DLP: diâmetro da linha principal (mm); EAB: energia consumida anualmente com bombeamento ($kWh ha^{-1}$); GABO: gasto anual com bombeamento ($US\$ ha^{-1}$); GAMO: gasto anual com mão-de-obra ($US\$ ha^{-1}$); GAMR: gasto anual com manutenção e reparos ($US\$ ha^{-1}$); CFAE: custo fixo anual com equipamentos ($US\$ ha^{-1}$); CAT: custo anual total com a irrigação ($US\$ ha^{-1}$).



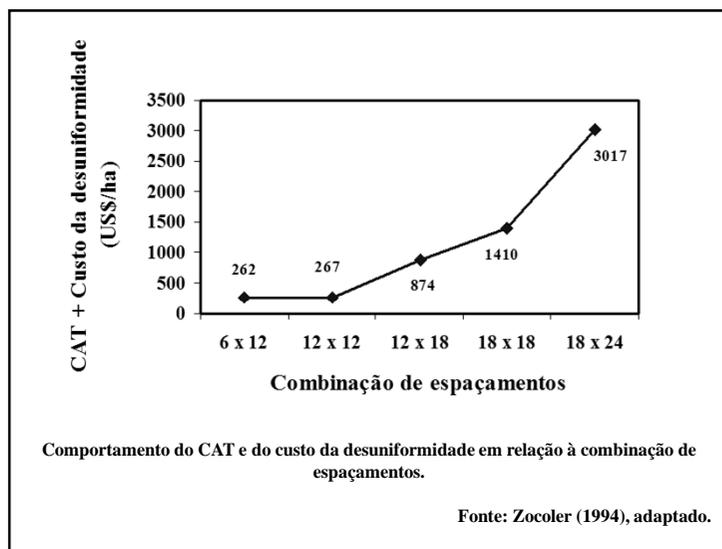
Comportamento do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e da produtividade da batata em relação à combinação de espaçamentos.

Fonte: Zocoler (1994), adaptado.



Comportamento do custo anual total e da perda de produção da batata em relação à combinação de espaçamentos.

Fonte: Zocoler (1994), adaptado.



Referência Bibliográfica

- Manual de irrigação – **Salassier Bernardo**
- Os métodos de irrigação – **Antonio F. L. Ollita**
- Sprinkle and Trickle irrigation – **Kack Keller, Ron D. Bliesner**
- Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas – **Rubens D. Coelho**
- Custos da irrigação por aspersão convencional em função da pressão de operação, diâmetros dos bocais e espaçamentos dos aspersores – **João L. Zocoler**
- Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência – **José A. Frizzone**