

# VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Determinação de padrões de distribuição pluviométrica sob “pivots” com “rotators” e “spinners”

A. Serafim<sup>1</sup>, B. Sequeira<sup>1</sup>, B. Ribeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa

<sup>2</sup>Lagoalva Equipamentos e Serviços, Lda., Quinta da Lagoalva de Cima, 2090-222 Alpiarça

### Resumo

Na extremidade de jusante das rampas polares, “center pivots”, a intensidade precipitação pode ocorrer muito elevada, quando comparada à taxa de infiltração do solo, dando origem a perda de água por escoamento superficial e a perda de solo por erosão. Com o conhecimento prévio do perfil de distribuição pluviométrica de cada tipo de aspersor, juntamente com o conhecimento do tipo de solo sobre o qual a rampa vai operar, é possível estudar a relação *precipitação/infiltração* e, conseqüentemente, efectuar um dimensionamento coerente. Para obtenção dos padrões de distribuição pluviométrica de aspersores Rotator® e Spinner®, ambos produzidos pelo fabricante Nelson Irrigation Corporation, U.S.A., foi construído um banco de ensaios, constituído por uma rampa estacionária, o simulador, e por uma bateria de colectores para recolher a precipitação. Foram produzidas réplicas da extremidade de jusante – regiões distais – de rampas polares para círculos regados de 20, 30, 50 e 70 ha, nas condições propostas pelo fabricante. Com a precipitação recolhida nos colectores obtiveram-se padrões reais de distribuição pluviométrica; posteriormente, procedeu-se à obtenção de diagramas pluviométricos ajustados, bem como à formulação do universo de aplicabilidade dos ensaios efectuados, disponibilizando-se informação de rigor mas prática, para simulação do desempenho pluviométrico e, conseqüentemente, para o dimensionamento coerente de rampas polares quando equipadas com os órgãos de aspersão estudados.

Palavras-Chave: Center pivot, intensidade de precipitação, diagrama pluviométrico, rotator, spinner.

### Abstract

On center pivot irrigation systems the application rate intensity increases from the pivot point to the moving distal end. As a result, application rate often exceeds soil's infiltration capacity. The resulting runoff may cause considerable erosion, severely reduce the uniformity of irrigation and cause losses in water, energy and crop production. To avoid and/or prevent these losses, center pivot irrigation designers must dispose information on sprinkler distribution patterns, sprinkler precipitation profiles, and soil intake rate. In choosing a sprinkler type, the aim is to find the best combination between sprinkler type and soil type. The goal of this experiment was to determine intensity profiles at the distal end of center-pivot irrigation systems equipped with R3000 Pivot Rotator® and N3000 Pivot Spinner® and look for the best theoretical adjusted profile. A stationary lateral was used to reproduce the distal end of center-pivot irrigation systems on 20, 30, 50 and 70 ha irrigated areas, on the basis of 1.2 L/(s·ha) system capacity. The practical way to determine sprinkler's profiles and wetted diameters was to place catch gauges in the precipitation area and record results. After plotting the results, elliptical water application-rate profiles presented a good adjustment, and were selected to represent the desired precipitation profiles. Finally it is possible to develop guidelines for center-pivot irrigation systems design when equipped with those sprinklers under the experimental conditions.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

As rampas polares (RPs) expandiram-se e são populares em Portugal como no resto do Mundo. Esta expansão é acompanhada, com frequência, de implantação inadequada das rampas, resultando em casos de excessivo escoamento superficial, atascamentos e até na queda das próprias rampas.

São bem conhecidas as razões da forte expansão; o funcionamento quase que autónomo dispensando mão-de-obra ou requerendo-a de modo diminuto, o controlo à distância dado o desenvolvimento das telecomunicações, o desenvolvimento de software e hardware adequados, são factores que favorecem a automatização da rega.

Uma das mais elementares regras de dimensionamento de sistemas de rega por aspersão prende-se com o cuidado em estudar a relação precipitação – infiltração; é neste aspecto que se encontram as maiores dificuldades na implantação de rampas rotativas. É sobre este aspecto que este artigo pretende ser um pequeno, mas sério e responsável contributo: a obtenção de perfis pluviométricos de rigor para dois aspersores fabricados em série.

Este género de informações, no estilo como aqui é tratado e obtido, com o rigor desejado e observado, não é disponibilizado pelos fabricantes nos meios habituais – catálogos em papel e online.

Posteriormente cabe aos interessados, estudiosos e projectistas, de posse dos diagramas aqui divulgados, obterem as curvas de infiltração dos solos em causa, e procederem ao estudo da relação precipitação - infiltração, sem esquecer o declive, o armazenamento superficial, etc.

Para as simulações efectuadas foram assumidos os procedimentos mais frequentes na realidade portuguesa:

- 1- Áreas regadas de 20, 30 50 e 70 ha.
- 2- Aspersores implantados em saídas equidistantes.
- 3- Caudal fictício contínuo (cfc) de 1,2 L/(s.ha).

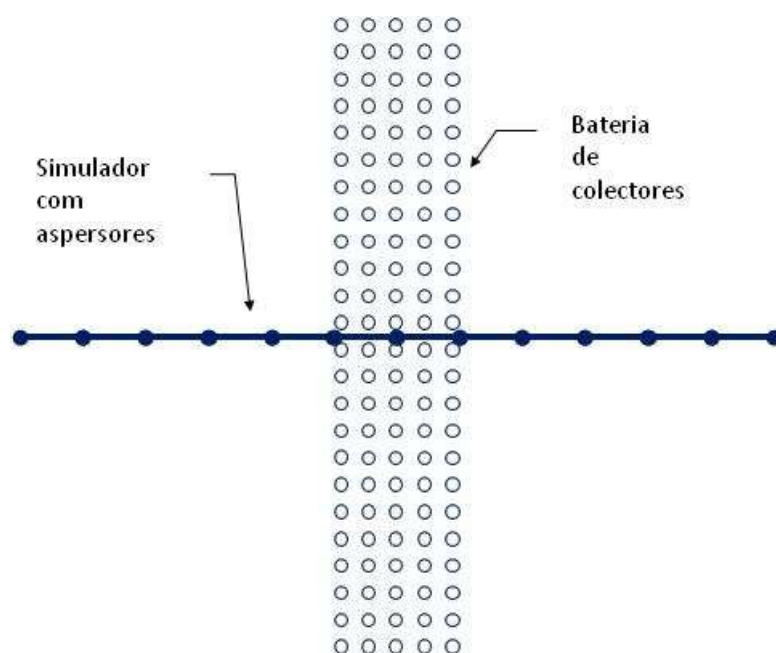
Para além do objectivo imediato dos resultados das simulações, importa ainda avaliar, submetendo à discussão da Comunidade Científica, o método de ajustamento aqui aplicado na obtenção de perfis pluviométricos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS.**

### **2.1. Constituição do Banco de Ensaio.**

O Banco de Ensaio (BE), Fig. 1, foi constituído por:

- Simulador, rampa de aspersores estacionária,
  - com 27,40 m de comprimento, composta por dois tubos galvanizados com 13,70 m cada,
  - de diâmetro nominal 5½ polegadas,
  - com saídas equidistantes de, aproximadamente, 2,25 m,
  - posicionada 3,45 m acima do solo.
- Bateria de 60 colectores,
  - cujas características são:
    - de forma cilíndrica e metálicos,
    - com 24 cm de altura,
    - diâmetro aproximado de 15 cm,
    - área da boca  $191,01 \pm 0,78 \text{ cm}^2$ .
  - dispostos em 5 (cinco) linhas paralelas, perpendiculares ao eixo da rampa – o eixo da rampa constitui um eixo de simetria da colecção de colectores,
  - com 24 colectores por linha,
  - dispostos em malha de 1 m × 1 m.



**Figura 1.** Esquema proporcional do Banco de Ensaio, em planta, composto por 60 colectores e pelo simulador. De notar que o simulador ocupa a posição mediana da bateria de colectores.

## 2.2 Simulações, características e equipamento.

Em cada ensaio o simulador foi equipado, e hidraulicamente alimentado, como a região distal da RP em estudo.

O simulador foi equipado ao longo de todo seu comprimento; porém, a bateria de colectores ocupou apenas a sua porção mediana. Ficou garantido, deste modo, que a bateria de colectores ficasse sob a influência da completa recobertura de aspersores.

Foram programadas e efectuadas simulações referentes a quatro áreas de círculos regados: 20, 30, 50, 70 ha; para cada área foram usados dois aspersores, separadamente: rotator e spinner; ficaram estabelecidos 8 (oito) cenários; para cada cenário foi efectuada uma repetição, totalizando 16 simulações, como se resume no Quadro 1.

*Quadro 1. Cenários e simulações efectuadas.*

Aspersor	Áreas dos círculos regados			
	20 ha	30 ha	50 ha	70 ha
Rotator	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>
Spinner	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>	<i>Uma simulação com repetição</i>

Condições prevalecentes em todos os ensaios:

- $cfc = 1,2 \text{ L}/(\text{s}.\text{ha})$ ;
- saídas com tubos adicionais descendentes, “drops”, posicionando os aspersores a 1,8 m acima do solo;
- aspersores instalados em reguladores de pressão de 15 psi ( $1,03 \times 10^5 \text{ Pa}$ ).

### 2.2.1. Simulações com Rotator.

Os rotators operaram em todas as simulações com o prato laranja.

### 2.2.2. Simulações com Spinner.

Os spinners operaram em todas as simulações com o prato amarelo.

## 2.3 Do diagrama real ao diagrama ajustado.

### 2.3.1. Obtenção de diagrama real.

A composição da bateria de colectores permitiu obter cinco perfis pluviométricos por ensaio e, dado a repetição efectuada, obtiveram-se dez perfis para cada cenário – “área + aspersor”. A média aritmética destes dez perfis passou a constituir um perfil real característico, ou “diagrama real”.

A “área” do diagrama real, que se assume como característico, representa “capacidade de aplicação do diagrama”.

O diagrama real representa-se a duas dimensões, e expressa-se na forma “intensidade de precipitação *versus* comprimento”, Fig. 2.

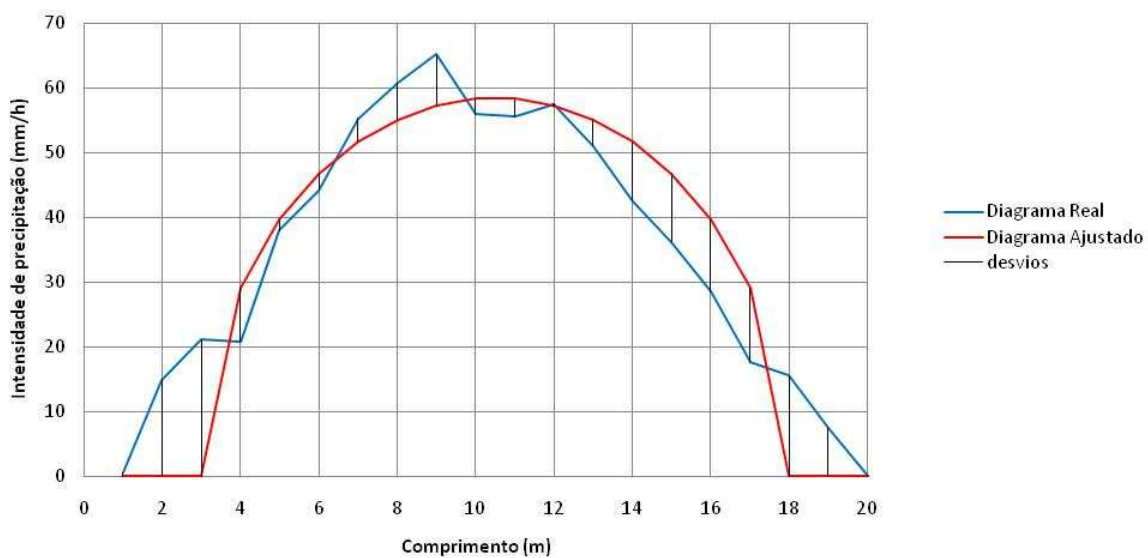


Figura 2. Diagrama real e diagrama ajustado para 20 ha, Rotator. Desvios.

### 2.3.2. Obtenção de diagrama ajustado.

A procura do diagrama ajustado foi feita com base nas seguintes premissas:

- o diagrama ajustado tem forma elíptica;
- o diagrama ajustado tem “área” igual ao diagrama real;
- o diagrama é ajustado pelo método dos mínimos quadrados.

Na Fig. 2 representam-se também os desvios –  $d$  – entre a curvas real e a ajustada, calculados com (1),

$$d = i_{pp\_real} - i_{pp\_ajust} , \quad (1)$$

que serviram de base à aplicação do “Método dos mínimos quadrados”, método pelo qual foi procurada a semi-elipse ajustada.

A procura da curva ajustada é feita de modo a que seja mínima a soma do quadrado dos desvios,

$$\min \Sigma d^2 . \quad (2)$$

A área de uma semi-elipse é dada por (3)

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot i_M \cdot a \quad (3)$$

em que  $i_M$  e  $a$  são as medidas dos semi-eixos da elipse e expressam,

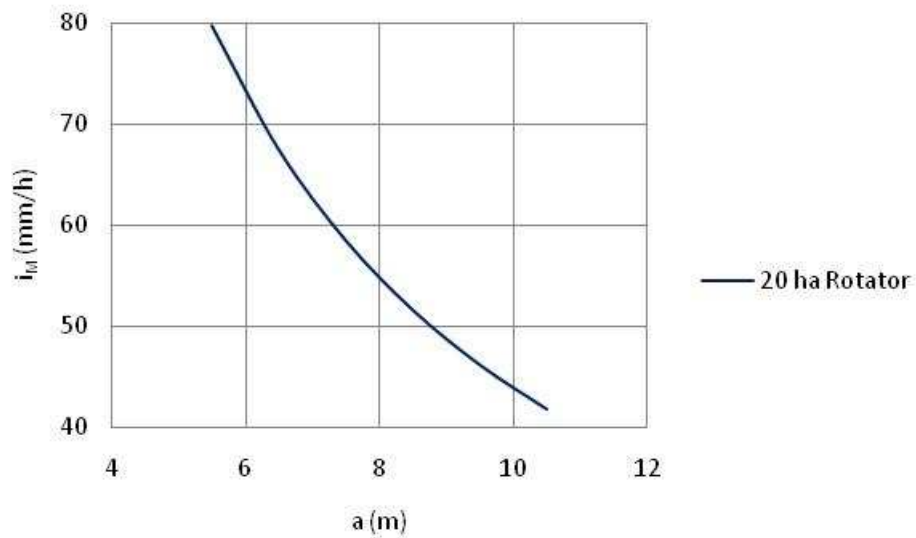
- $i_M$ , a intensidade de precipitação máxima (ordenada máxima),
- $a$ , o semi-diâmetro molhado.

Uma vez imposto o valor de  $A$ , a igualdade (3) transforma-se para

$$i_M = \frac{2A}{\pi} \cdot \frac{1}{a}, \quad (4)$$

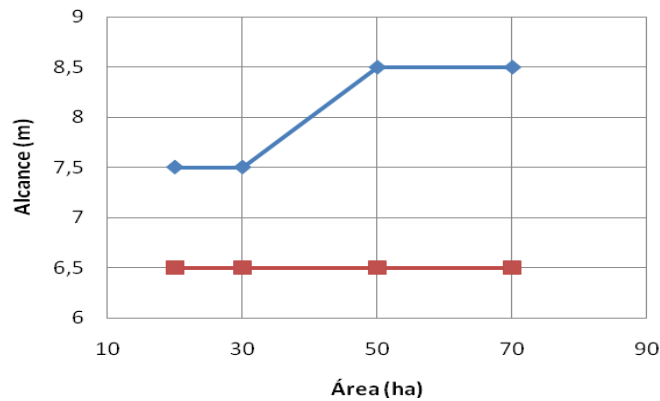
em que (4) representa uma família de hipérbolas, e em que a cada par,  $i_M$  e  $a$ , corresponde uma elipse. E é nesta família de elipses que, pelo método dos mínimos quadrados, se encontrou o diagrama ajustado, elipse à qual corresponde o mínimo do somatório dos quadrados dos desvios.

A Fig. 3 representa graficamente a igualdade (4) para o caso de 20 ha Rotator.



**Figura 3.** Soluções de (4) para 20 ha, Rotator.

Repetido este procedimento para os oito cenários existentes obtiveram-se os alcances  $a$  das igualdades (3) e (4), transpostos para a Fig. 4.



**Figura 4.** Alcance vs. Área para Rotator e Spinner

### 2.3.3. Comparação entre o diagrama ajustado e o diagrama teórico.

A intensidade de precipitação máxima, que ocorre no centro de um diagrama elíptico é, teoricamente, calculado por (5)

$$i_M = 1237 \times \frac{Q_0}{R} \cdot \frac{1}{a}, \quad (5)$$

em que

- $i_M$  representa intensidade de precipitação, em mm/h,
- $Q_0$  representa caudal de alimentação de toda a rampa polar, em m<sup>3</sup>/h,
- $R$  representa raio do círculo regado, em m,
- $a$  representa alcance ou semi-diâmetro molhado, como em (3) e (4), em m.

O cenário de 20 ha Rotator serve de exemplo para a verificação de aderência entre os dois diagramas.

- Para o diagrama ajustado:
  - $a = 7,5$  m;
  - $i_M = 58$  mm/h.
- Para o diagrama teórico
  - $R = 252,3$  m
  - $cfc = 1,2$  L/(s ha);
  - $Q_0 = 86,4$  m<sup>3</sup>/h;
  - $A = 7,5$  m (da Fig. 4);
  - $i_M = 56,5$  mm/h (da igualdade (4)).

No Quadro 2 inscrevem-se as intensidades de precipitação máximas elípticas para os oito cenários simulados.

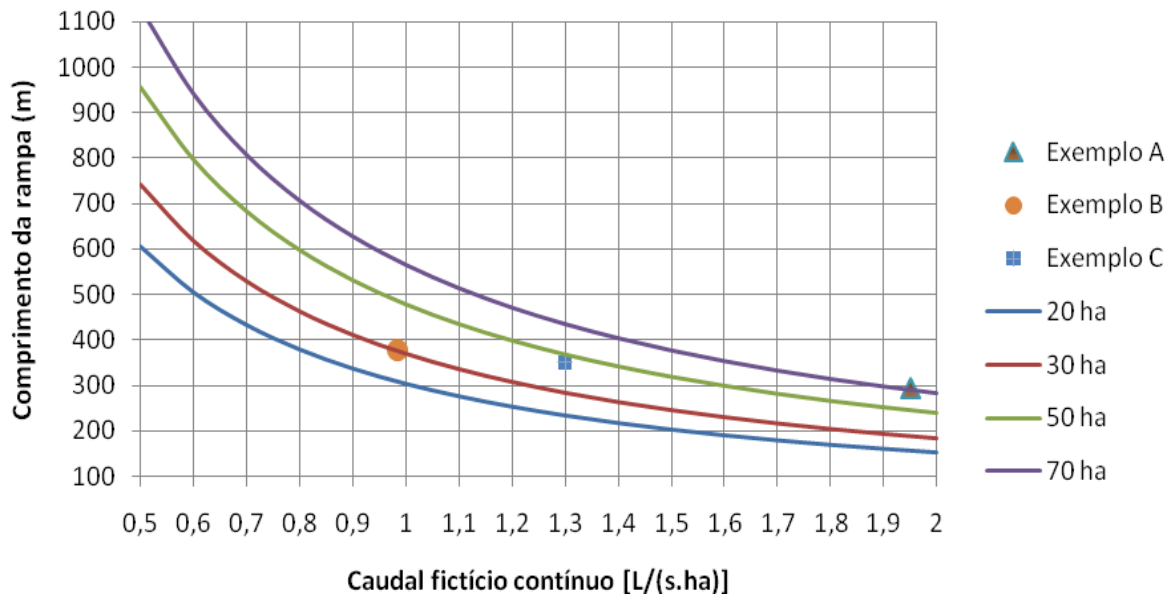
Quadro 2.  $i_M$  sob diagrama elíptico para os oito cenários.

Aspersor	20 ha		30 ha		50 ha		70 ha	
	Ajustada	Teórica	Ajustada	Teórica	Ajustada	Teórica	Ajustada	Teórica
Rotator	58	56	74	69	91	79	100	93
Spinner	64	65	87	80	111	103	131	122

### 3. DOMÍNIO DE APLICAÇÃO.

O comportamento hidráulico, e o desempenho pluviométrico em regiões distais simulados nos oito cenários, podem ocorrer para outras regiões distais com outras áreas de círculo regado, com outros comprimentos de rampa polar, com outros valores de cfc, Fig. 4. Por isso, os resultados das simulações são susceptíveis de serem aplicados em outras situações, como se mostra em 4. Exemplos.

Na Fig. 4 foi traçada uma “curva” para cada área estudada. Seja, por exemplo, a curva “20 ha”; a cada ponto da curva corresponde uma rampa polar caracterizada pelo comprimento da rampa e pelo caudal fictício contínuo; para todas estas rampas a região distal tem funcionamento, tanto hidráulico como pluviométrico, igual ao da rampa “20 ha” estudada.



*Figura 4. Domínio de aplicação. Exemplos.*

## 4. EXEMPLOS.

### 4.1. EXEMPLO A.

Dados: área regada: 27,284 ha; caudal de alimentação: 192 m<sup>3</sup>/h.

Determinações auxiliares: caudal fictício contínuo: 1,95 L/(s ha); (comprimento do raio regado: 294 m).

Transportando para o gráfico o comprimento da rampa e o caudal fictício contínuo, fica estabelecido um ponto na vizinhança da rampa de 70 ha; por isso a rampa polar do exemplo A tem, na região distal o comportamento hidráulico como o da rampa polar de 70 ha.

Determinação das características do diagrama elíptico.

- Para rega com Rotator
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a = 8,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{192}{294 \times 8,5} = 95 \text{ mm/h}$$

- Para rega com Spinner
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a = 6,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{192}{294 \times 6,5} = 124 \text{ mm/h}$$

### 4.2. EXEMPLO B.

Dados: comprimento do raio regado = 378 m; caudal de alimentação: 159 m<sup>3</sup>/h.

Determinações auxiliares: caudal fictício contínuo = 0,98 L/(s·ha); (área regada: 44,89 ha).

Transportando para o gráfico o comprimento da rampa e o caudal fictício contínuo, fica estabelecido um ponto na vizinhança da rampa de 30 ha; por isso, a rampa polar do exemplo B tem, na região distal, o comportamento hidráulico da rampa polar de 30 ha.

Determinação das características do diagrama elíptico.

- Para rega com Rotator
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a=7,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{159}{378 \times 7,5} = 69 \text{ mm/h}$$

- Para rega com Spinner
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a=6,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{159}{378 \times 6,5} = 80 \text{ mm/h}$$

#### 4.3. EXEMPLO C.

Dados: comprimento do raio regado = 350 m;      caudal fictício contínuo = 1,30 L/(s·ha).

Determinações auxiliares: caudal de alimentação: 180 m<sup>3</sup>/h;      (área regada: 38,48 ha).

Transportando para o gráfico o comprimento da rampa e o caudal fictício contínuo, fica estabelecido um ponto na vizinhança da rampa de 50 ha; por isso a rampa polar do Exemplo C tem, na região distal, o comportamento hidráulico da rampa polar de 50 ha.

Determinação das características do diagrama elíptico.

- Para rega com Rotator
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a = 8,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{180}{350 \times 8,5} = 75 \text{ mm/h}$$

- Para rega com Spinner
  - Alcance de aspersores: da Fig. 4 lê-se que  $a = 6,5$  m;
  - Intensidade máxima: da igualdade (5) vem que:

$$I_M = 1237 \times \frac{180}{350 \times 6,5} = 98 \text{ mm/h}$$

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste estudo manifestam gratidão para com a Empresa *Lagoalva Equipamentos e Serviços, Lda*, na pessoa do seu administrador Sr. Miguel Campilho, ao Sr. Professor Pedro Leão de Sousa do ISA, ao COTR na pessoa do Sr. Eng. Fernando Nunes.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- Keller, J. and Bliesner, R. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sequeira, B.G.C. (2004). *Determinação de diagramas pluviométricos sob rampas rotativas*. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Agrónómica. I.S.A.- U.T.L., Lisboa.
- Serafim, A. (1994). *Sobre a implantação de rampas polares. Alguns aspectos em análise e síntese*. Dissertação a obtenção de grau de Doutor em Eng.<sup>a</sup> Agrónómica. I.S.A.- U.T.L., Lisboa.
- <http://www.nelsonirrigation.com/>. Acedido em Junho 2011.