

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas**  
**NEAS - Núcleo de Engenharia de Água e Solo**  
Campus Universitário de Cruz das Almas, Bahia

---

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias**  
**Mestrado e Doutorado**

**Área de Concentração**

**Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Projetos  
Hidroagrícolas**



**Aureo S. de Oliveira**

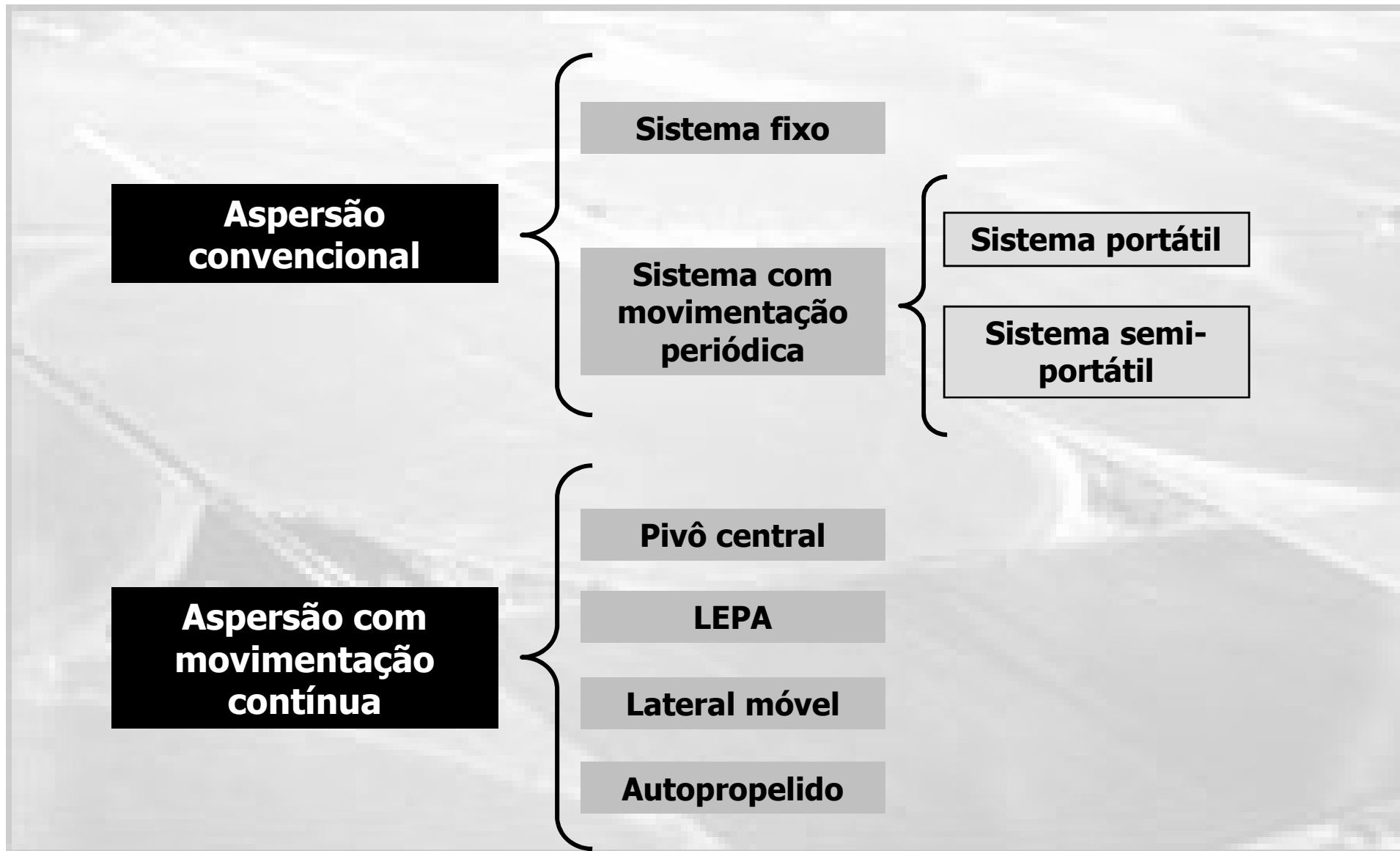
**Prof. Adjunto IV**

BSc, Universidade Federal da Bahia, 1988

MSc, Universidade Federal do Ceará, 1991

PhD, Universidade do Arizona, 1998

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

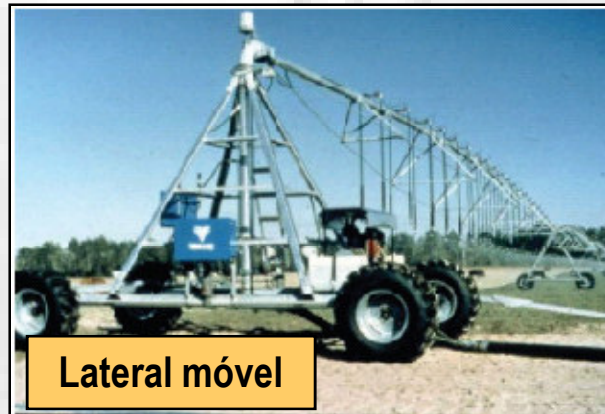


# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

- **Aspersão com movimentação contínua:** neste tipo, os aspersores irrigam enquanto o equipamento movimenta-se segundo trajetórias curvilíneas ou retilíneas. Os principais sistemas deste grupo são o pivô central, a lateral móvel e o canhão hidráulico autopropelido.



Pivô central



Lateral móvel



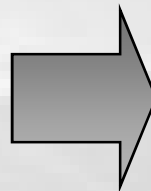
Autopropelido



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ ASPERSÃO COM MOVIMENTAÇÃO CONTÍNUA : Pivô Central

- Os sistemas pivô central consistem de uma única lateral em aço-galvanizado ou alumínio e que gira em círculo em torno de um ponto pivô fixo no centro do campo.



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

**(A)** uma extremidade é fixa e a outra é móvel;

**(B)** a lateral é constituída de vários "spans" (lances), com comprimentos variando de 30 a 60 m;

**(C)** os lances são sustentados 3 a 4 m acima do solo, e são conectados por meio de juntas flexíveis;

**(D)** entre dois lances há uma torre em formato de "A" movida por duas rodas, possuindo cada torre acionamento individual, geralmente por motor elétrico (0,5 a 1,0 kW).



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Algumas características específicas

**(E)** as laterais diferem em comprimento (100 a 800 m) e diâmetro (100 a 250 mm);

**(F)** o suprimento de água é feito via ponto pivô através de uma tubulação (linha principal) enterrada ou direto de poço profundo;

**(G)** uma volta completa do pivô pode variar de 12 a 100 h (TROUT & KINCAID, 2007) dependendo da quantidade de água a ser aplicada por rotação;

**(H)** lâminas de irrigação tipicamente aplicadas com pivô central variam de 5 a 30 mm. O pivô central efetivamente presta-se a irrigações com lâminas pequenas e frequentes;



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

**(I)** para percorrer a mesma velocidade angular no mesmo intervalo de tempo, a velocidade linear da lateral do pivô central aumenta do centro para a periferia da área. Assim, emissores mais distantes do ponto pivô deslocam-se a velocidades maiores relativamente aos mais próximos;

**(H)** a velocidade de rotação da lateral é função da velocidade da última torre; o alinhamento da lateral entre a última torre e o ponto pivô é garantido por “switches” que se ativam de acordo com o ângulo relativo entre lances adjacentes;

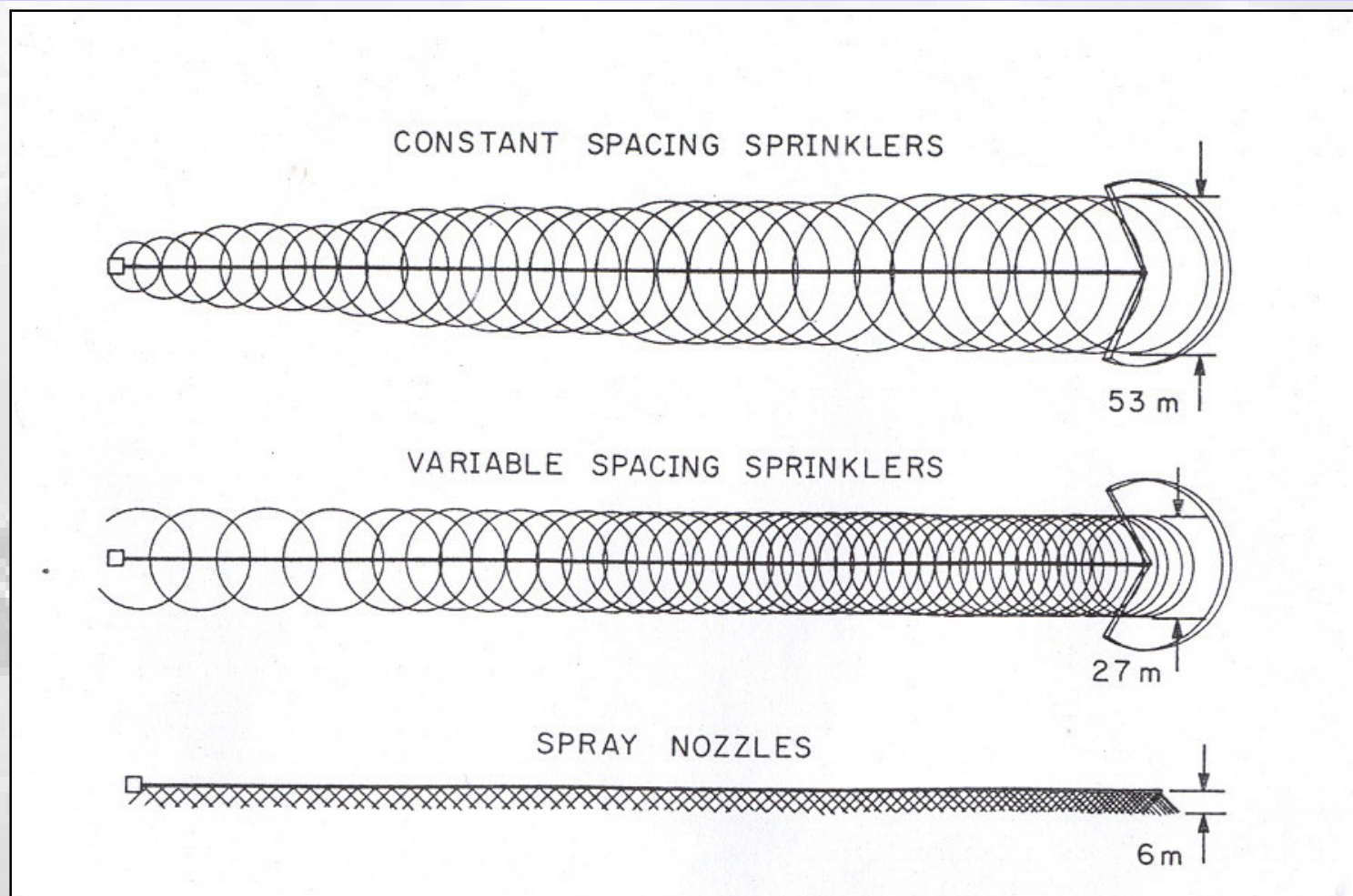
**(J)** uma a uma, da última torre para a primeira, a deflexão ativa o motor de acionamento da torre fazendo-a se movimentar e alinhar-se com o restante da lateral;



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Algumas características específicas

**(K)** como a lateral se move em círculos, aplicação uniforme de água é alcançada aumentando-se linearmente a vazão com a distância do ponto pivô. Isto é feito variando-se o diâmetro do bocal do emissor ou o espaçamento entre eles;



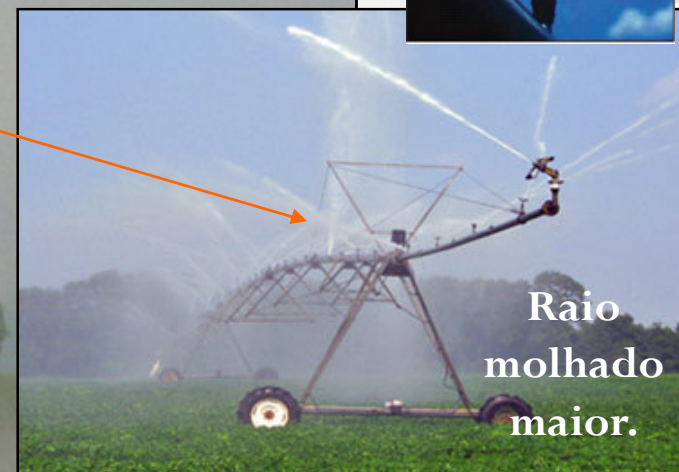
**Figura 1** – Diferentes configurações de espaçamento entre emissores e área molhada (CUENCA, 1989).

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Algumas características específicas

**(L) emissores (aspersores) usados em pivô central podem ser do tipo "spray" ou de impacto;**

Requer 25 a 50% menos pressão e, portanto, requer menos energia.



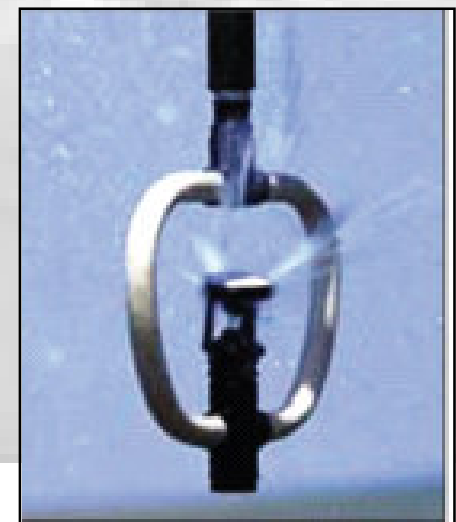
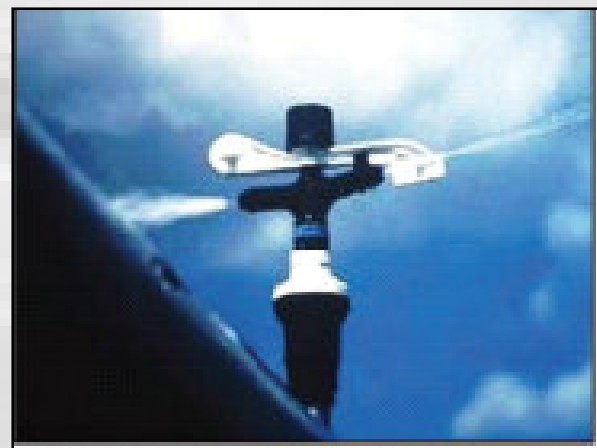
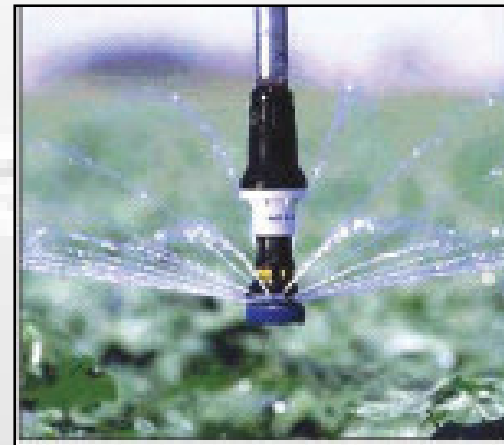
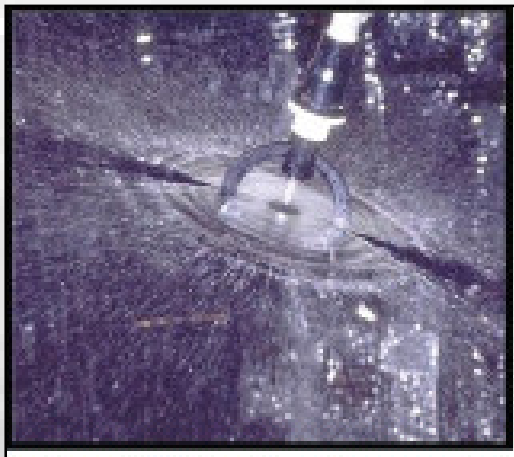
Reduz o número de emissores e a taxa instantânea média de aplicação de água.

Tubo de descida do emissor (*drop tube*)

Reduz efeito negativo do vento

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Algumas características específicas



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

**(M)** erosão ocorre com frequência em áreas irrigadas por pivô central → resíduos vegetais sobre o solo melhoram a infiltração da água e reduz o escoamento superficial;



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

**(M)** a velocidade de rotação do pivô, e conseqüentemente a lâmina aplicada por revolução e o intervalo entre irrigações, depende da taxa de infiltração da água no solo, capacidade de retenção de água do solo e profundidade do sistema radicular da cultura;

**(N)** a capacidade de infiltração do solo com frequencia limita a lâmina de irrigação permitida por passagem do pivô;

**(O)** irrigações frequentes associadas a pequenas lâminas d'água podem manter a umidade do solo uniforme, mas aumentam as perdas por evaporação e causam maior desgaste nos mecanismos de acionamento do pivô;

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central** : Algumas características específicas

**(P)** para solos com adequada infiltração e capacidade de armazenamento de água, aplicação de 20 a 30 mm é comum em cada rotação, resultando em intervalos típicos de irrigação da ordem de 4 dias;

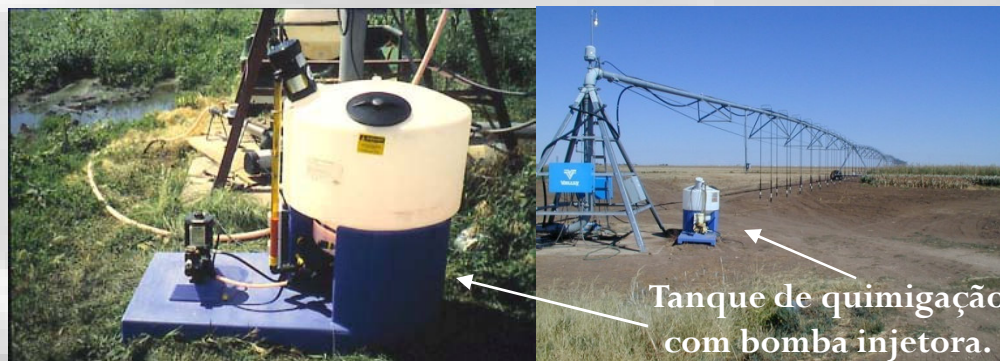


**(Q)** solos com baixa capacidade infiltração de água podem limitar o uso do pivô central, especialmente se equipado com "sprays" de alta taxa de aplicação;

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vantagens

- ☺ **Automatização por meio de painel programável cabeado ou acionado remotamente do escritório;**
- ☺ **Possibilidade de se aplicar pequenas lâminas de irrigação;**
- ☺ **Alta uniformidade de aplicação de água;**
- ☺ **Quimigação;**



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ **Pivô Central : Desvantagens**

☹ **Custo moderadamente alto** : o custo por unidade de área diminui com aumento do comprimento da lateral; no entanto vários fatores limitam o comprimento máximo da lateral;

☹ **Taxas altas de aplicação de água** : a taxa de aplicação de água no final da lateral é muito alta, causando problemas de empoçamento, escoamento superficial e possivelmente erosão, dependendo da topografia do terreno;

☹ **Irriga áreas circulares apenas** : o pivô central irriga aproximadamente 80% da área de um quadrado de lado  $2R$ ,  $R$  = raio do círculo;



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Desvantagens

☹ **Custo moderadamente alto** : o custo por unidade de área diminui com aumento do comprimento da lateral. No entanto vários fatores limitam o comprimento máximo da lateral;

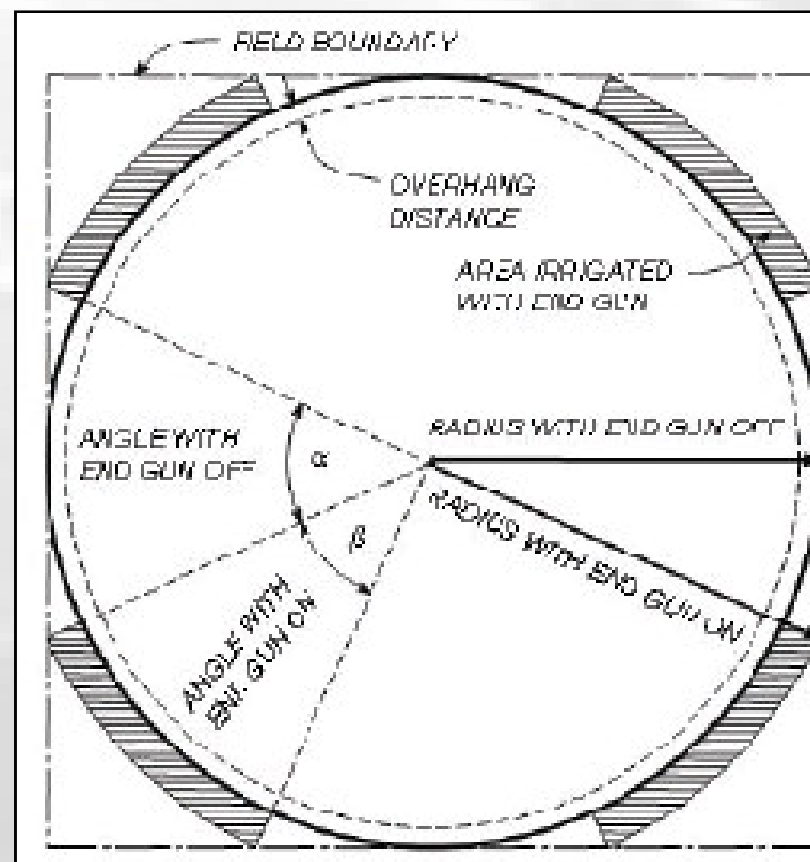
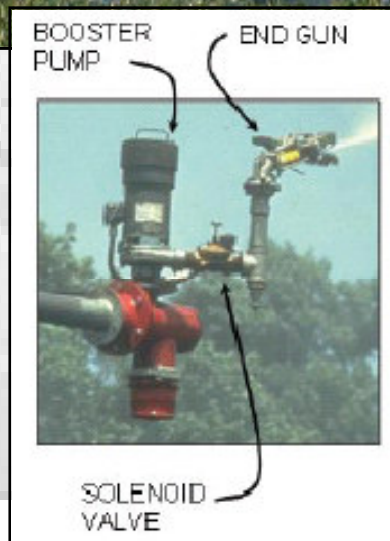
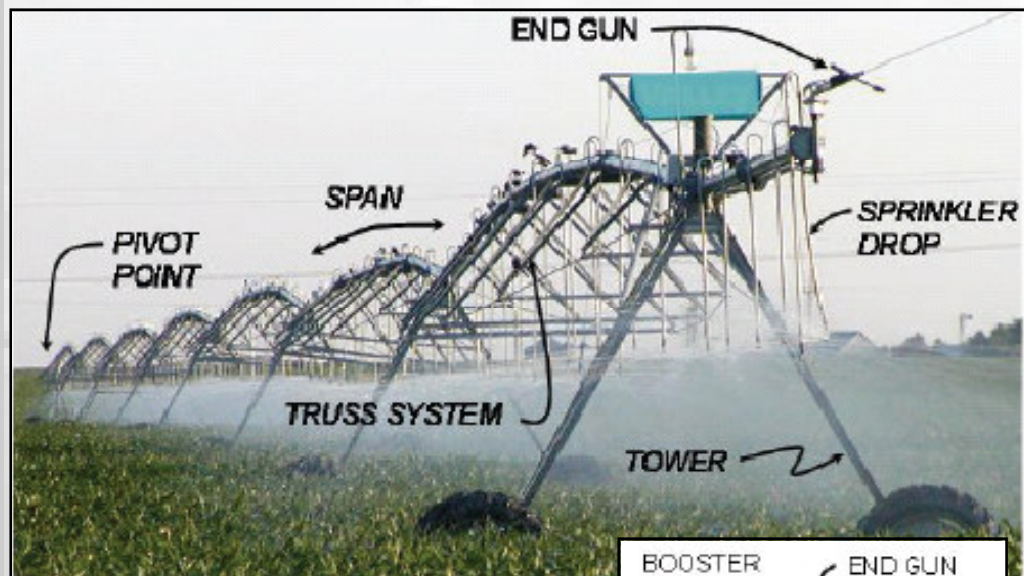
**Tabela 1.** Custo comparativo de sistemas de irrigação por aspersão nos Estados Unidos.

System Type	Typical Field Size (ha)	Capital Cost (\$/ha)	Energy Use (kWh per 1000 m <sup>3</sup> )	Labor Required (hours per 1000 m <sup>3</sup> )
Hand move or portable	65	500-750	85-215	1.65
Side roll	65	1300-1500	85-215	1.17
Traveling gun	32	960-1200	350-490	0.68
Center pivot:				
without corner system	55-80	800-1250	85-235	0.10
with corner system	60	1000-1450	100-245	0.10
Linear move (ditch fed)	130	1375-2500	85-235	0.19
Linear move (hose fed)	130	1625-2750	125-265	0.19
Solid set aluminum	65	3250-4000	85-215	0.97
Permanent	65	2500-3750	85-215	0.10

Fonte:  
SOLOMON  
et al. (2007)

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

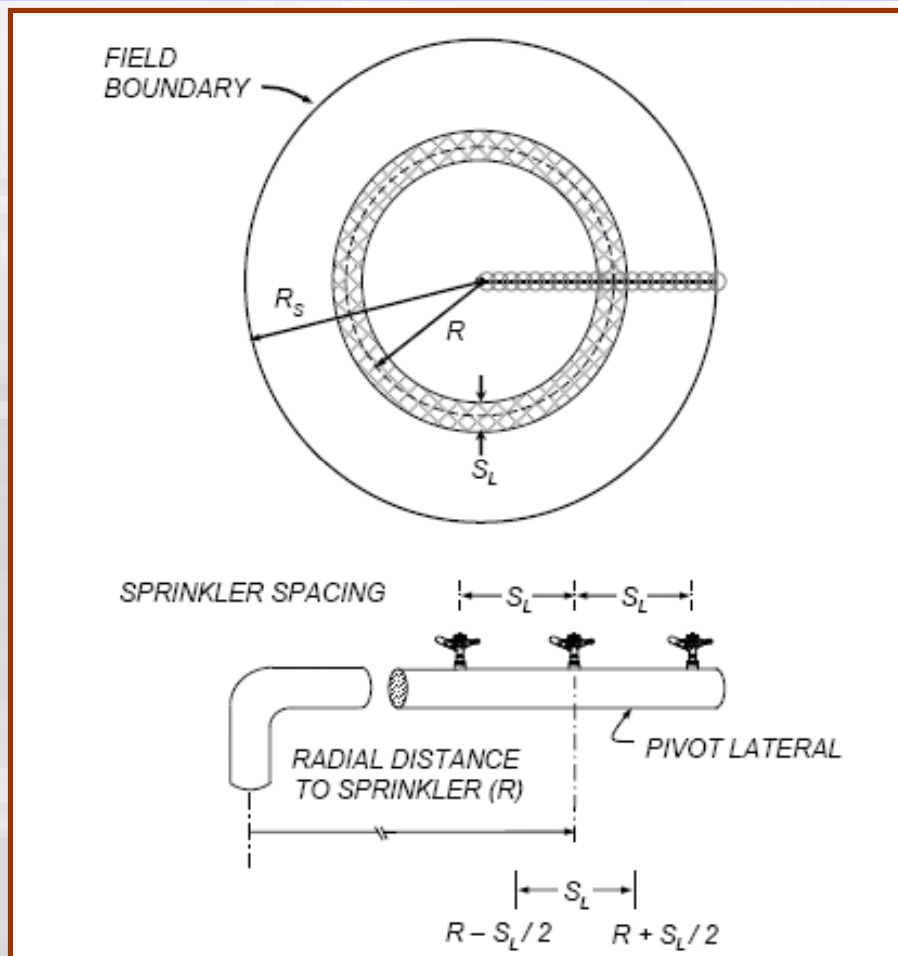
## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



**Figura 2** – Componentes e layouts de campo para sistemas típicos de irrigação por pivô central. (MARTIN et al., 2007).

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



$R_s$  = raio do sistema primário (L), ou seja, sem canhão hidráulico.

$R$  = distância radial qualquer (L)

$S_L$  = espaçamento local entre emissores na lateral (L)

$$A_R = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot S_L$$

$A_r$  = área representativa para o emissor à distância  $R$  do ponto pivô ( $L^2$ )

**Figura 3** – Diagrama de área representativa para determinação da vazão de aspersores em uma lateral de pivô central. (MARTIN et al., 2007).

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

$$q_{aR} = \frac{D_b \cdot A_R}{t_{op}}$$

$q_{aR}$  = vazão de um aspersor à distância R do ponto pivô ( $L^3/T$ )  
 $D_b$  = lâmina bruta de irrigação (L)  
 $t_{op}$  = tempo de operação do sistema para aplicar  $D_b$  (T)

$$D_b = \frac{D_n}{E_a}$$

$D_n$  = lâmina líquida de irrigação (L)  
 $E_a$  = eficiência de aplicação (decimal)

$$Q_s = \frac{D_b \cdot A_{ti}}{t_{op}} = \frac{D_b \cdot \pi \cdot R_s^2}{t_{op}}$$

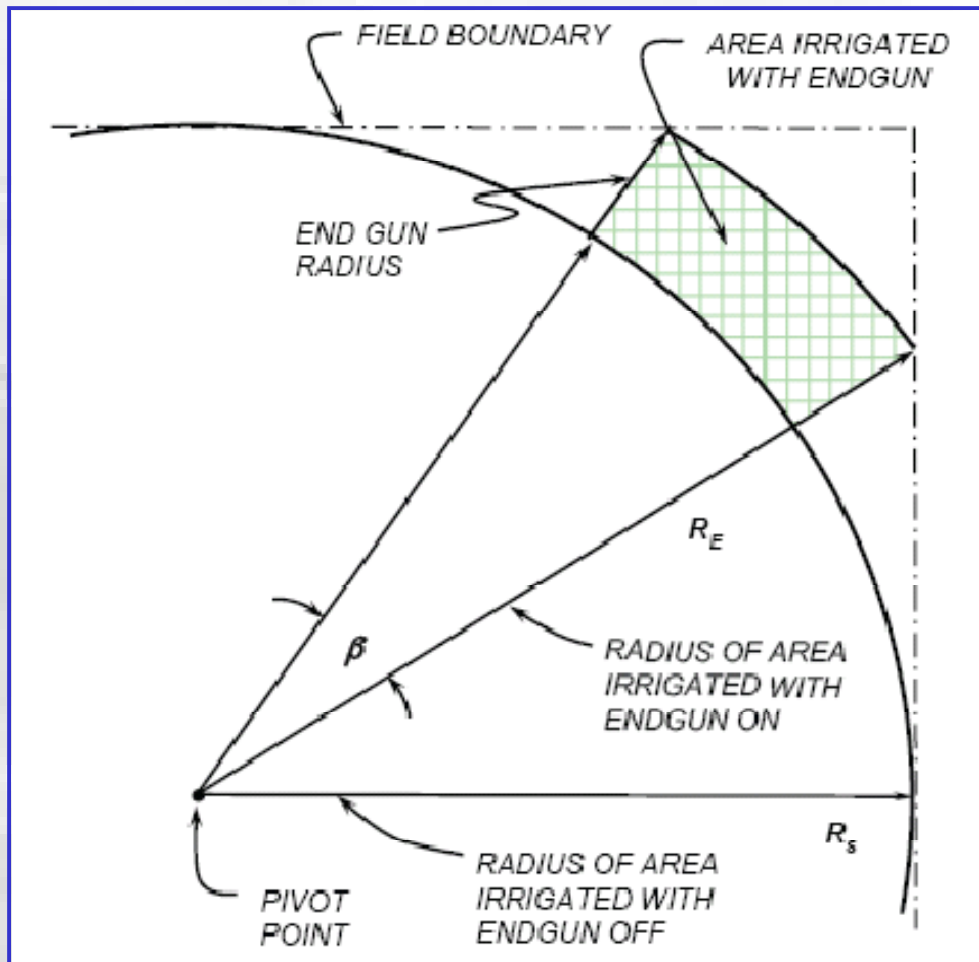
$Q_s$  = vazão do sistema ( $L^3/T$ )  
 $A_{ti}$  = área total a ser irrigada pelo sistema ( $L^2$ )

Semelhante à primeira equação acima tem-se para o cálculo de  $q_{aR}$ :

$$q_{aR} = \frac{2 \cdot Q_s \cdot R \cdot S_L}{R_s^2}$$

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{R_S}{R_E}\right) \quad \beta = \text{ângulo central}$$

$R_E$  = comprimento radial total irrigado com o canhão em funcionamento (L)

$A_E$  = área irrigada em cada canto (L<sup>2</sup>)

$$A_E = (R_E^2 - R_S^2) \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \cos^{-1}(\beta)\right)$$

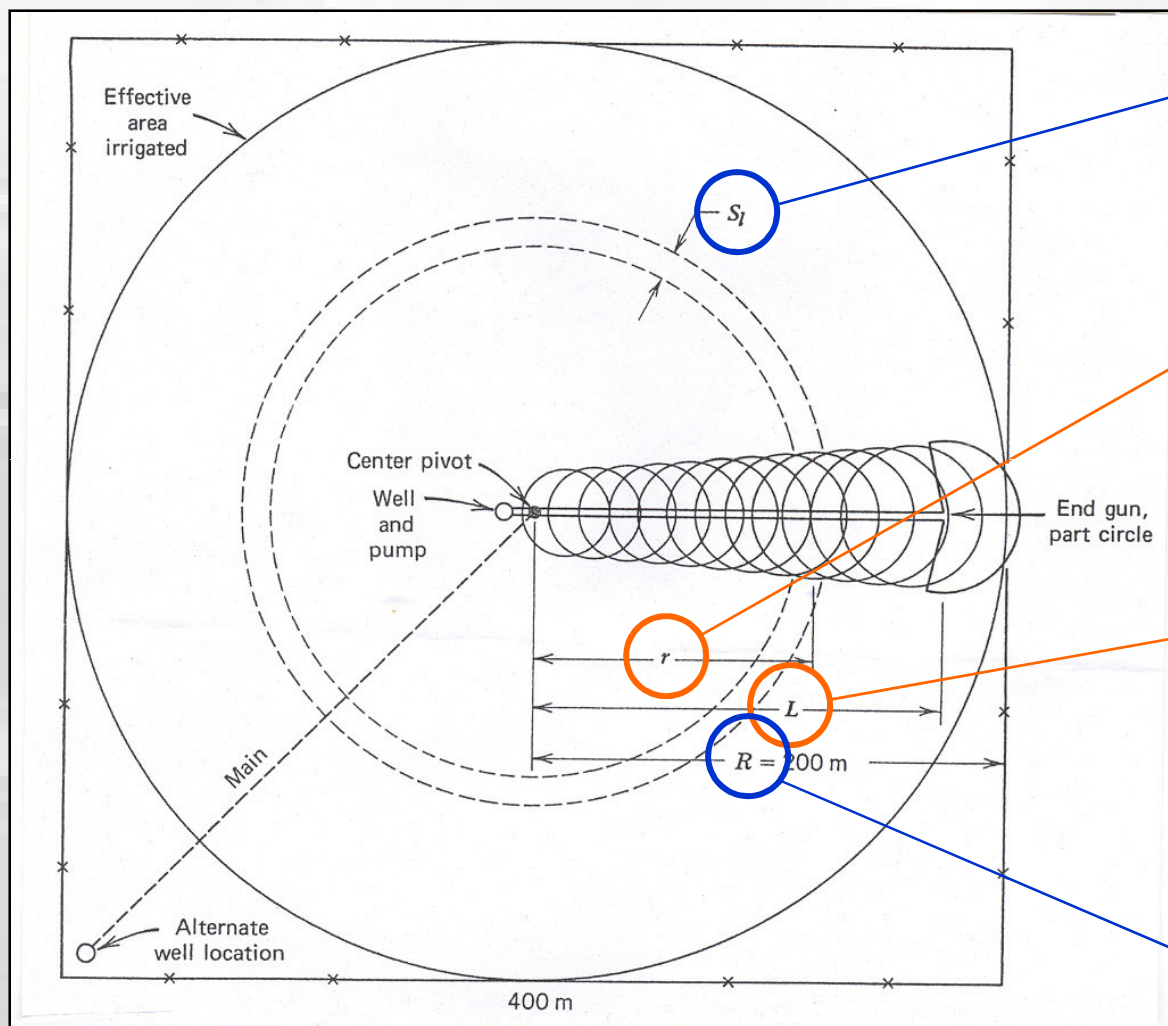
$q_E$  = vazão do canhão hidráulico no final da lateral (L<sup>3</sup>/T)

$$q_E = Q_S \cdot \frac{(R_E^2 - R_S^2)}{R_S^2}$$

Figura 4 – Diagrama para descrição do tamanho da área irrigada nos cantos pelo uso de canhão hidráulico (MARTIN et al., 2007).

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros



$S_1$  = espaçamento local entre emissores (L)

$r = R$  = distância do ponto pivô na lateral (L)

$L = R_S$  = comprimento da lateral (L)

$R = R_E$  = raio da área efetivamente irrigada (L)

Figura 5 – Pivô central para uma área de 16 ha. (SCHWAB et al., 1993).

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

$$q_R = Q_s \left( 1 - \frac{R^2}{R_E^2} \right)$$

$q_R$  = vazão da lateral a qualquer distância R do ponto pivô ( $L^3/T$ )

Obs.: Através da equação acima é possível o cálculo da vazão requerida no final da lateral ( $q_E$ ) para acionamento do canhão hidráulico. Para isso basta fazer  $R = L$ .

# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

### Exemplo de Aplicação 01

Um pivô central deverá irrigar uma área de pastagem conforme mostra a **Figura 5**, ou seja, área circular inscrita num retângulo = **16 ha**. A lâmina líquida de irrigação será = **40,5 mm** e deverá ser aplicada a uma taxa máxima = **15 mm/h**. Assumir eficiência de aplicação = **70%**. O campo é para ser irrigado em **2 dias** com uma revolução por dia. Um canhão hidráulico no final da lateral cobre uma área de aproximadamente **15 m** além do sistema primário (lateral sem o canhão).

Determine:

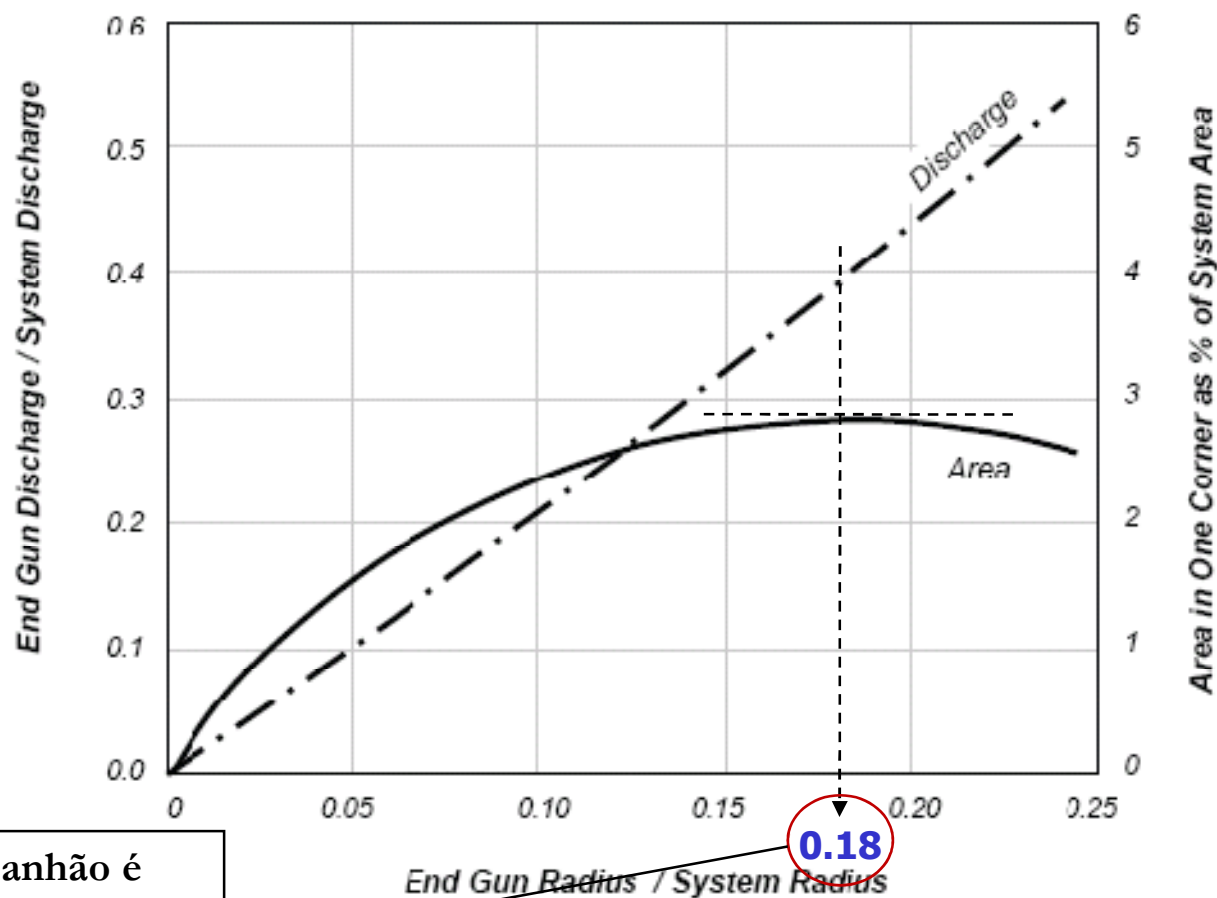
- (a) a lâmina bruta de irrigação;
- (b) a vazão do sistema pivô central;
- (c) o comprimento da linha lateral;
- (d) a vazão requerida para um aspersor no espaçamento de 10 m e posicionado a 100 m do ponto pivô;
- (e) a vazão do canhão hidráulico no final da lateral.



# SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

## ➤ Pivô Central : Vazão e outros parâmetros

**Figura 6 – Vazão** requerida por um canhão hidráulico ao final da lateral do pivô como uma porcentagem da vazão do sistema e a área num canto relativa à área no campo principal (MARTIN et al., 2007).



A área irrigada pelo canhão é maximizada quando o alcance do jato ( $R_E - R_S$ ) é aproximadamente 18% do raio do sistema ( $R_S$ ).

## Referências Bibliográficas

**CUENCA, R. H. Irrigation System Design: an engineering approach. New Jersey: Prentice Hall, 1989, 552p.**

**MARTIN, D. L.; KINCAID, D. C.; LYLE, W. M. Design and operation of sprinkler system. In: G. J. HOFFMAN; EVANS, R. E.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L. & ELLIOTT, R. L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2<sup>nd</sup> ed. St. Joseph: ASABE. 2007. 861p. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 16, p. 557-631.**

**SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. Soil and Water Conservation Engineering. New York: John Wiley & Sons. 4<sup>th</sup> ed. 1993, 507p.**

**SOLOMON, K. H.; EL-GINDY, A. M.; IBATULLIN, S. R. Planning and system selection. Design and operation of sprinkler system. In: G. J. HOFFMAN; EVANS, R. E.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L. & ELLIOTT, R. L. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2<sup>nd</sup> ed. St. Joseph: ASABE. 2007. 861p. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Chapter 3, p. 58-75.**

**TROUT, T. J.; KINCAID, D. C. On-Farm System Design and Operation and Land Management. In: R. J. LASCANO & SOJKA R. E. Irrigation of Agricultural Crops. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: ASA, CSSA, SSSA. 2007. 664p. American Society of Agronomy, Chapter 5, p. 133-179. (Agronomy Monograph no. 30)**