

# Irrigação por Superfície

Raimundo Nonato Távora Costa<sup>1</sup>

Danielle Ferreira de Araújo<sup>2</sup>

## 1. Introdução

A irrigação por superfície é o método mais antigo e o mais utilizado em todo o mundo. De acordo com Cuenca (1989), a história da irrigação começa com a aplicação de água ao solo utilizando-se a sua superfície para o escoamento por gravidade. Conforme Walker e Skogerboe (1987), a civilização da antiga Mesopotâmia prosperou entre os Vales dos rios Tigres e Eufrates, há mais de 6000 anos, utilizando, embora de forma rudimentar, o método de irrigação por superfície.

Loiola e Souza (2001) em estudo compreendendo estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996, afirmaram que o método de irrigação por superfície continua a ser o mais utilizado no país. Ainda conforme os autores, o método de irrigação por superfície predomina em duas regiões – Nordeste (56,8%) e Sul (57,2%). Em relação ao Estado do Ceará, Girão et al. (2001) verificaram que o método de irrigação por superfície é o mais utilizado, equivalendo a 61,2% dos estabelecimentos agrícolas do estado.

Um dos principais problemas da irrigação por superfície é a baixa eficiência de aplicação, traduzida nos valores de perdas de água por escoamento superficial e percolação, na maioria das vezes superior a 40%. Coelho (1986) verificou no Distrito de Irrigação do Estreito, Estado da Bahia, eficiência de aplicação da ordem de 32%. Segundo os mesmos autores, no Distrito de Irrigação de Bebedouro estudos indicaram eficiência de aplicação, também, de 32%.

Dentre as razões que acarretam a baixa eficiência dos sistemas de irrigação por superfície, destacam-se a inadequação do projeto hidráulico e do manejo da irrigação. No que diz respeito ao projeto hidráulico, deve-se ter uma combinação adequada das variáveis: comprimento da área, declividade do terreno, vazão aplicada e tempo de aplicação. No tocante ao manejo da irrigação, é comum o agricultor não seguir as orientações técnicas, aplicando na maioria das vezes uma quantidade excedente de água.

---

<sup>1</sup> Professor Associado I do Departamento de Engenharia Agrícola, UFC. Av. Mister Hull s/n, Campus do Pici, CEP: 60.455-970. Fone: (85) 3366-9764, Fax: (85) 3366-9755. E-mail: rntcosta@ufc.br

<sup>2</sup> Doutoranda do curso de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola/UFC. Av. Mister Hull s/n, Campus do Pici, CEP: 60.455-970. Fone: (85) 3366-9764, Fax: (85) 3366-9755. Email: dani2904@yahoo.com

O setor de irrigação é o maior usuário dos recursos hídricos, com destaque para as bacias hidrográficas que possuem perímetros irrigados com predominância da irrigação por superfície. A irrigação nesses perímetros irrigados, de um modo geral, é caracterizada pelo baixo nível tecnológico, resultando em baixa eficiência na utilização dos recursos hídricos. Nesse caso, o manejo da irrigação, visando economia no uso de água na agricultura irrigada, deve ter como objetivo reduzir os desperdícios de água, levando-se em conta a sustentabilidade do sistema do ponto de vista econômico, social e ambiental.

De outra forma, têm-se, também, atualmente, exemplos de experiências positivas, no que diz respeito à condução da irrigação por superfície, como é o caso de algumas áreas irrigadas no Vale do São Francisco, em que além da adequação das variáveis hidráulicas citadas anteriormente, tem-se obtido através do uso de politubos janelados (Fig. 1), redução nas perdas de água por condução, além de um menor custo com mão-de-obra. As perdas de água por condução nos canais não revestidos têm sido um agravante nos perímetros irrigados por este método.

A empresa AGROVALE, sediada no município de Juazeiro-BA, possui uma área irrigada de 15000 ha com a cultura da cana-de-açúcar. Deste total, 13920 ha (92,8%) são irrigados através do método de irrigação por superfície, onde 8950 ha são constituídos por solos do tipo vertissolo, cujo teor de argila varia de 40 a 60%. O uso de informações de solo, clima e planta, propiciaram a elaboração de um calendário de irrigação em conformidade com a idade do canavial, e como consequência, um manejo da irrigação com uso mais racional do recurso hídrico.

## **2. Principais componentes de um sistema de irrigação por superfície**

De acordo com Walker (1989), dentre os componentes de um sistema de irrigação por superfície, destacam-se as fontes hídricas, as estruturas de condução, de medição, de controle e de derivação da água, as parcelas irrigadas e as estruturas de drenagem do excesso de água. As Figs. 2, 3, 4, 5, ilustram alguns destes componentes do sistema.

No Nordeste brasileiro, os solos aluviais situados à jusante dos açudes, tornaram-se, naturalmente, as áreas irrigadas, isto devido à situação topográfica das mesmas em relação aos reservatórios, permitindo distribuição de água sem utilização de energia elétrica, como também os próprios açudes se prestaram como a opção mais racional de disponibilidade de água para irrigação.

### **3. Classificação dos sistemas de irrigação por superfície**

O método de irrigação por superfície apresenta os seguintes sistemas: sulcos, faixas e inundação. Na irrigação por sulcos, a água é aplicada em pequenos canais denominados sulcos, infiltrando-se ao longo do perímetro molhado e movimentando-se nas direções vertical e lateral (Fig. 6). Os sulcos são construídos através de um implemento denominado sulcador. Comparativamente aos demais sistemas, o sistema de irrigação por sulcos apresenta uma menor dependência da topografia do terreno no que se refere à uniformidade de distribuição de água. Quando esses sistemas são utilizados em pomares, o maior espaçamento entre fileiras de plantas, permite o uso de sulcos lateralmente a estas fileiras, caracterizando assim um caso particular de irrigação localizada e minimizando as perdas por evaporação.

A irrigação por faixas consiste da inundação total da área por condução da água na superfície do solo, por um tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação. As faixas podem ser construídas em nível ou com gradiente longitudinal, porém a declividade transversal deve ser nula, para proporcionar uma maior uniformidade na distribuição de água. As faixas são separadas por elevações denominadas diques, os quais são construídos por um implemento denominado borda-discos (Fig. 7). Em razão das elevadas vazões aplicadas às faixas, associadas aos maiores gradientes de declive, se comparadas aos sistemas de irrigação por sulcos, cuidados especiais devem ser considerados quando das primeiras irrigações, sobretudo em solos que não apresentem boa estrutura.

Na irrigação por inundação a água é aplicada em tabuleiros de forma contínua ou intermitente (Fig. 8). O sistema de irrigação por inundação contínua é, tradicionalmente, o mais utilizado, empregando-se submersão com água parada ou corrente. Com água parada a eficiência de irrigação é, normalmente maior, não havendo riscos de perdas de nutrientes carreados pela água (MEDEIROS, 1995). Dotto et al. (1990), em estudo comparativo de sistemas de irrigação para cultivo do arroz, verificaram que o sistema de irrigação por inundação contínua propicia maior produtividade.

O sistema de inundação intermitente é, geralmente, mais utilizado em regiões com restrições de disponibilidade de água. Sua principal vantagem em relação à inundação contínua é a economia de água (MEDEIROS, 1995).

### **4. Vantagens e limitações dos sistemas de irrigação por superfície**

Dentre as principais vantagens e limitações que caracterizam os sistemas de irrigação por superfície, destacam-se:

**Vantagens:**

- Apresentam, geralmente, o menor custo anual por unidade de área;
- Potencialidade para minimizar o consumo de energia para irrigação;
- Podem utilizar águas de baixa qualidade física e química;
- Não interferem nos tratamentos fitossanitários da parte aérea da cultura;
- O vento não interfere na uniformidade de distribuição de água.

**Limitações:**

- Inadequados para solos rasos ou com elevada capacidade de infiltração;
- Os sistemas passam a integrar as áreas as quais foram implantadas;
- Dificuldade de técnicos especializados para um dimensionamento e manejo adequados dos sistemas;
- Geralmente, apresentam necessidade de sistematização do terreno.

## **5. Sistematização de terrenos para irrigação por superfície**

A sistematização consiste na técnica de cortar, transportar e aterrar o solo, ou simplesmente movê-lo e aplainá-lo, mudando a configuração original do terreno, com o objetivo de tornar sua superfície com declividades uniformes em uma ou nas duas direções, conforme se observa na Fig. 9.

## **6. Vantagens e limitações da sistematização**

**Vantagens:**

- Maior eficiência no controle e na aplicação da água;
- Melhora a drenagem superficial do solo;
- Diminui a erosão do solo e proporciona uma menor lixiviação de fertilizantes.

**Limitações:**

- Custo de investimento elevado;
- Possibilidade de expor o subsolo infértil;
- Queda temporária de produtividade nas zonas de corte.

Os processos largamente utilizados na demarcação e na execução do trabalho de sistematização, consistem na marcação com tinta vermelha das estacas de corte e de tinta azul

das estacas de aterro. Deve haver uma equipe de topografia acompanhando a execução dos trabalhos, através de uma referência de nível externa à área trabalhada. Não há necessidade que as cotas calculadas apresentem aproximação maior que o centímetro, tendo em vista que a precisão das máquinas é da ordem de dois centímetros. Na Fig. 10 visualiza-se uma estaca pintada em cor vermelha contendo a respectiva altura de corte e na Fig. 11, a execução de um trabalho de sistematização. Dentre os procedimentos de cálculo, destacam-se os métodos dos mínimos quadrados e do centróide. Existem diversos programas de computação disponíveis, tal como o Plano Fácil (SANTOS, 2002), que agilizam o procedimento de cálculo.

## 7. Fases da irrigação por superfície

Um sistema de irrigação por superfície, com drenagem livre ao final da parcela irrigada, apresenta quatro fases: avanço, reposição, depleção e recessão.

A fase de avanço inicia-se com a aplicação de água e termina quando a água atinge o final da parcela irrigada. Para obtenção da equação representativa deste processo em irrigação por sulcos, colocam-se estacas regularmente espaçadas no campo a partir da cabeceira do sulco, anotando-se os tempos de avanço da água nas respectivas estacas. Este processo pode ser representado por uma equação do tipo potencial, tal como aquela obtida por Oliveira Júnior et al. (2000), em solo de textura franco-argilosa:

$$T_a = 0,027.X^{1,5432}$$

sendo:

T<sub>a</sub>: tempo de avanço (min);

X : distância do ponto de derivação (m).

A fase de reposição começa quando a frente de avanço atinge o final da parcela irrigada e termina quando a vazão é cortada no início da área. É prática comum entre os irrigantes proceder ao corte de água ao final da fase de avanço. Tal prática acarreta num menor rendimento da cultura no final da parcela irrigada, face ao déficit hídrico.

A fase de depleção corresponde ao tempo entre o corte de fornecimento de água no início da parcela irrigada e o surgimento de um ponto de remoção de água ao longo da área. Esta fase, geralmente, é a de menor duração e, em irrigação por sulcos, é praticamente imperceptível, podendo, por esta razão, ser desprezada.

A fase de recessão inicia-se ao final da fase de depleção e termina quando não há mais água na superfície do solo. Em condições normais, a recessão inicia-se junto do ponto de derivação de água à parcela. Em sulcos com reduzida seção de escoamento e pequeno gradiente de declive, a fase de recessão é tão rápida que pode ser considerada desprezível. Para estas condições, a fase de recessão pode ser representada por uma reta paralela ao eixo da abscissa, não acarretando inconvenientes nos cálculos das lâminas infiltradas ao longo do comprimento da parcela.

Na Fig. 12 visualizam-se as fases características de um processo típico de irrigação por superfície. Para um ponto qualquer ao longo da parcela irrigada, o tempo entre as curvas de avanço e recessão é chamado de tempo de oportunidade para infiltração naquele ponto.

## 8. Infiltração de água no solo

A água proveniente de uma chuva ou de uma irrigação, ao chegar na superfície do solo pode ser considerada como “água livre”, no que diz respeito ao processo de retenção pela matriz do solo. Tendo em vista que a água no interior do solo está sob retenção, por esta razão ocorre a sua passagem na interface solo-ar, atendendo uma diferença de potencial total (a água no interior do solo encontra-se num estado energético inferior à água livre na superfície do solo). A este processo denomina-se infiltração de água no solo.

O processo de movimento da água no perfil de solo, atendendo às diferenças de potenciais totais, denomina-se de redistribuição de água no solo. Na Fig. 13 ilustra-se o processo de infiltração de água no solo, o qual pode ser quantificado através da equação de Darcy-Buckingham, descrita a seguir:

$$q = -K(\theta) \cdot \frac{\partial \psi_t}{\partial Z}$$

sendo:

$q$ : taxa de infiltração de água no solo, [L T<sup>-1</sup>]

$K(\theta)$ : condutividade hidráulica em função da umidade no solo, [L T<sup>-1</sup>]

$\frac{\partial \psi_t}{\partial Z}$ : gradiente de potencial total, [L L<sup>-1</sup>].

As características de infiltração de água no solo constituem um dos principais parâmetros requeridos para dimensionamento, operação, manejo e avaliação dos sistemas de irrigação por superfície, sendo de difícil mensuração em razão da grande variabilidade

espacial e temporal dos solos, sobretudo nos neossolos, onde se apresentam como os de maior percentual dentre aqueles irrigados por superfície.

Dentre as técnicas de determinação das características de infiltração de água no solo tem-se o cilindro-infiltrômetro, sulco-infiltrômetro, entrada e saída e balanço de volume. A técnica de entrada e saída é bastante utilizada, recomendando-se, porém, a técnica do balanço de volume.

O processo de infiltração pode ser ajustado a uma equação do tipo potencial, na forma:  $I = k.t^a$ , sendo I, a infiltração acumulada [L], t, o tempo de infiltração [T], k e a, os parâmetros de ajuste da equação. Dentre outras limitações, a equação sugere que a velocidade de infiltração tende a zero para tempo de irrigação muito longo, quando na verdade tende para um valor conhecido na literatura como velocidade de infiltração básica (CASTRO; SOUZA, 1999).

Dessa forma deve ser introduzida na equação uma componente de correção, passando a mesma a ser descrita na forma:  $I = k.t^a + f_o.t$ , sendo  $f_o$ , a velocidade de infiltração básica [L T<sup>-1</sup>].

## 9. Dimensionamento de um sistema de irrigação por sulcos

As principais variáveis envolvidas no dimensionamento de sistemas de irrigação por superfície são: o comprimento do sulco, da faixa ou do tabuleiro, a vazão derivada e o tempo de aplicação de água às parcelas. Ao tratar-se, especificamente, do sistema de irrigação por sulcos, destacam-se, ainda, a forma do sulco, que exerce influência na eficiência da irrigação, o espaçamento entre sulcos, que deve ser uma função da textura de solo, da cultura e de aspectos relacionados à mecanização, e a declividade dos sulcos, a qual não deve proporcionar uma velocidade excessiva da água de irrigação, para não causar erosão.

Exemplo ilustrativo - Sistema de irrigação por sulcos

Os seguintes dados do solo, da cultura e do clima são necessários:

Dados do solo:

- Umidade na capacidade de campo: 33%
- Umidade no ponto de murcha permanente: 9%
- Densidade do solo: 1,5 g cm<sup>-3</sup>
- Equação de infiltração:  $I = 2,63.T^{0,67}$  sendo I em mm e T em minutos.

Dados da cultura e do clima:

- Cultura: feijão-de-corda
- Profundidade efetiva do sistema radicular: 40 cm
- Fator de disponibilidade (F): 0,45
- Espaçamento entre linhas (sulcos): 1,0 m
- Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>): 7,25 mm dia<sup>-1</sup>
- Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>): 1,1

A quantidade de água armazenada no solo até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e que está disponível para as plantas, também denominada de disponibilidade real de água no solo (DRA), é calculada pela seguinte equação:

$$DRA = (U_{cc} - U_{pmp}) \cdot ds \cdot F \cdot Z$$

sendo:

DRA: disponibilidade real de água armazenada no solo (mm)

U<sub>cc</sub>: umidade do solo na capacidade de campo (g g<sup>-1</sup>)

U<sub>pmp</sub>: umidade do solo no ponto de murcha permanente (g g<sup>-1</sup>)

ds: densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

F: fator de disponibilidade

Z: profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm).

Substituindo estes valores na equação, tem-se uma DRA de 64,8 mm. Considerando-se os valores de DRA, de evapotranspiração de referência e de coeficiente de cultivo, calcula-se o turno de rega (TR) máximo, ou o tempo máximo a ser adotado entre duas irrigações consecutivas, o qual é calculado conforme a seguinte equação:  $TR = \frac{DRA}{(ET_0 \cdot K_c)}$ . Substituindo

os valores, tem-se TR máximo de 8,13 dias, podendo o mesmo ser ajustado para um período de sete dias, proporcionando assim uma folga de um dia semanal ao irrigante, o qual pode ser utilizado em trabalhos de manutenção do sistema de irrigação.

A lâmina líquida de irrigação (LL), também conhecida como lâmina de irrigação necessária ou requerida, deve ser calculada pelo produto entre o turno de rega ajustado, a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultivo. Assim:  $LL = TR \cdot ET_0 \cdot K_c$ . Desta forma, tem-se uma lâmina líquida de 55,83 mm. Neste cálculo utilizaram-se, para fins de dimensionamento, valores máximos de ET<sub>0</sub> e K<sub>c</sub>; todavia, quando do manejo da irrigação serão considerados os valores em conformidade com as condições climáticas atuais e o respectivo estágio de desenvolvimento da cultura.

O tempo de oportunidade de infiltração para que a lâmina líquida seja infiltrada no final do sulco, é calculada a partir da equação de infiltração acumulada, substituindo o valor de LL e explicitando o valor de T. Assim procedendo, tem-se um tempo de 95 minutos, significando dizer que após completar a fase de avanço, o irrigante deverá cortar a água somente após ter decorrido o referido tempo.

Considerando que as irrigações serão realizadas com sifões de uma e meia polegada, com carga hidráulica disponível de 16 cm, tem-se, portanto, sifões operando com vazão de  $1,31 \text{ L s}^{-1}$ , cujo valor será necessário para o cálculo da lâmina média aplicada, a qual relacionada à lâmina de irrigação necessária, fornecerá a eficiência de aplicação, que traduz a soma das perdas por percolação e por escoamento superficial ao final do sulco de irrigação.

Análises de avaliação do sistema de irrigação devem ser realizadas periodicamente após sua implantação visando, sobretudo, medir as eficiências de aplicação e de armazenamento, bem como a uniformidade de distribuição da infiltração de água ao longo do sulco. Referidas análises fornecerão elementos que virão nortear sugestões relacionadas ao manejo da irrigação para uma melhoria dos índices de eficiência e uniformidade. É comum ver sistemas de irrigação por superfície operando com eficiência de armazenamento de 100% e eficiência de aplicação entre 20 e 40%.

Existem programas de computação que agilizam o dimensionamento e a avaliação de sistemas de irrigação por sulcos, tais como os desenvolvidos por Rivera (1995) e por Marques (2000).

## **10. Estudos sobre eficiência da irrigação por superfície no Vale do Jaguaribe, CE**

Castro (1997) realizou análise da irrigação por sulcos em cultura de feijão-de-corda na Fazenda Experimental do Perímetro Irrigado de Morada Nova utilizando a metodologia do balanço de volume de Walker e Skogerboe (1987). Dentre outras conclusões, o estudo permitiu verificar que a eficiência de aplicação ( $E_a$ ) teve seu valor aumentado durante a estação de cultivo. Na primeira irrigação o valor de  $E_a$  foi de 40,8% e na última irrigação de 74,5%. O índice de escoamento superficial passou de 3,4% na primeira irrigação para 25,2% na quarta irrigação. Já o índice de percolação teve seu valor reduzido ao longo da estação de cultivo, de 55,9% para apenas 0,38% de perdas por percolação. A eficiência de armazenamento sofreu pequenas alterações ao longo do ciclo, já o coeficiente de uniformidade de Christiansen passou de 87,5% na primeira irrigação para 92,4% na última, apresentando assim uma tendência de ascensão.

Colares (2004) desenvolveu um estudo no Distrito de Irrigação Morada Nova com o objetivo de avaliar as eficiências de aplicação e de uso da água em algumas unidades texturais de solo utilizadas para o cultivo do arroz irrigado por inundação. Na Tabela 1 apresentam-se as necessidades de irrigação líquida da cultura.

No estudo foi estimada da eficiência de aplicação ( $e_a$ ) para cada evento de irrigação nas unidades de solo com texturas argilo-siltosa e areia franca.

$$e_a = \frac{V_n}{V_n + W}$$

sendo:

$e_a$  : eficiência de aplicação [ $L^3 L^{-3}$ ]

$V_n$  : volume necessário para suprir a evapotranspiração [ $L^3$ ]

$W$  : volume para formação da lâmina superficial, perdas por percolação, etc [ $L^3$ ].

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores de eficiência de aplicação ( $E_a$ ) dos sistemas de irrigação referentes às unidades texturais argilo-siltosa e areia franca, a partir do segundo evento de irrigação. Observa-se que na textura argilo-siltosa a média da eficiência de aplicação situa-se em torno de 77,2%, enquanto que na unidade textural areia-franca o valor não supera 38,0%.

A eficiência de uso da água ( $E_{UA}$ ) foi obtida pelo quociente entre a produtividade da cultura e a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, de acordo com a seguinte equação:

$$E_{UA} = \frac{Y}{I}$$

sendo:

$E_{UA}$ : eficiência de uso da água,  $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$  ou  $kg\ ha^{-1}\ m^{-3}$ ;

$Y$ : produtividade da cultura,  $kg\ ha^{-1}$ ;

$I$ : lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, mm.

Na Tabela 4 apresentam-se os valores de eficiência de uso da água ( $E_{ua}$ ) nas quatro unidades texturais de solo cultivadas com arroz. Os resultados demonstraram uma amplitude nos valores entre 0,5 e 0,18  $kg\ m^{-3}$ , significando que para a textura argilo-siltosa produziu-se 0,5 kg de arroz em casca para cada 1,0  $m^3$  de água aplicada. Já para a textura franca, produziu-se apenas 0,18 kg para cada 1,0  $m^3$  de água aplicada.

## 11. Racionalização de recursos hídricos

Nas bacias hidrográficas do semi-árido do Nordeste brasileiro, onde o recurso hídrico é escasso, a otimização do uso da água é um desafio para os gerenciadores, pois o planejamento da irrigação requer cuidado especial, a fim de compatibilizar o balanço hídrico com a demanda, tanto no que se refere à quantidade como a sua repartição espacial e temporal. A bacia hidrográfica é, por conseguinte, a unidade básica de planejamento mais adequada para o aproveitamento e o controle racional da água (RODRIGUES, 2000).

O Distrito de Irrigação de Morada Nova desenvolve no município de Morada Nova e Limoeiro do Norte, Ceará, uma agricultura irrigada, baseada na utilização de sistemas de irrigação por superfície com disponibilidade de recursos hídricos provenientes da bacia do rio Jaguaribe.

A escassez acentuada dos recursos hídricos, culminando com os baixos níveis de reserva de água no ano de 2001, levou o Governo do Estado do Ceará em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA) à elaboração e execução do “Plano Águas do Vale”. No ano agrícola de 2001, o Plano propunha o pagamento de bônus aos produtores do Perímetro de Irrigação de Morada Nova e demais regiões da bacia do rio Jaguaribe que não realizassem o cultivo de arroz. Todavia, o Distrito de Irrigação programou e executou para 2002 uma área de 1246 ha, ano que o preço unitário (kg) de venda do arroz em casca alcançou o valor de R\$ 0,55. No segundo semestre de 2003 ocorreu uma expansão na área cultivada com arroz de aproximadamente 50%, período em que o valor unitário (kg) do arroz em casca alcançou R\$ 0,72.

Segundo Christofidis (2001), atualmente a água não é utilizada de forma tecnológica e com adequada eficiência para irrigação. A média observada de uso da água para irrigação, nos países em desenvolvimento, situa-se acima de  $13000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem superior ao valor de  $7500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , obtido através de manejo adequado nas mesmas regiões. As eficiências na condução da água, na sua distribuição pelos sistemas e na aplicação aos cultivos, são baixas, motivo que leva a indicar um esforço na otimização do uso da água.

## 12. Referências bibliográficas

CASTRO, L. C. A. **Análise da irrigação por sulcos utilizando a metodologia do balanço de volume**. 1997, 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CASTRO, L. C. A.; SOUZA, F. Análise dos parâmetros da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis na irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.167-172, 1999.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília. n.49, p.8-13, 2001.

COELHO, S. A. **Avaliação da eficiência de irrigação em nível de parcela no Projeto de Irrigação do Estreito**. Bahia. Viçosa: Imprensa Universitária, 1986. 110p.

COLARES, D. S. **Análise técnico-econômica do cultivo de arroz no Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará**. 2004, 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CUENCA, H. R. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 552p.

DOTTO, C. R. D.; RICHES, A. A.; CARLESSO, R. Consumo de água e produtividade da cultura do arroz sob três sistemas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1990, Piracicaba. **Anais**: Piracicaba: SBEA, 1990. p. 396-409.

LOIOLA, M. L.; SOUZA, F. Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 171-180, 2001.

MARQUES, P. A. **Desenvolvimento de um software para dimensionamento de irrigação por sulcos**. 2000, 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MEDEIROS, R. D. **Efeitos do manejo de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado**.1995, 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA JÚNIOR, N. M. ; COSTA, R.N.T.; SAUNDERS, L.C.U.; BISERRA, J.V. Análise econômico-comparativa de planos de cultivo em solo sódico submetido a um manejo integrado de recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.165-169, 2000.

RIVERA, R. C. **Desenvolvimento de um software para o desenvolvimento de sistema de irrigação por sulcos via balanço de volume**. 1995, 111p. Dissertação (Mestrado em

Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RODRIGUES, J. A. L. **Plano ótimo de cultivo no Projeto de Irrigação Morada Nova, Ceará, utilizando modelo de programação linear**. 2000, 81f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SANTOS, W. L. **Plano fácil**: programa aplicado ao cálculo de sistematização de terrenos. Versão 1.4b, Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, 2002.

WALKER, W. R. **Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems**, Rome: FAO, 1989, 138p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper 45).

WALKER, W. R., SKOGERBOE, G. V. **Surface irrigation**: theory and practice. New Jersey: Prentice-Hall, 1987. 386p.



**Fig. 1.** Irrigação por sulcos com uso de politubo janelado



**Fig. 2.** Condução de água através de canal principal.



**Fig. 3.** Estrutura para derivação de água em canais



. **Fig. 4.** Medição de água através de calha Parshall.



**Fig. 5.** Irrigação através de sifão plástico.



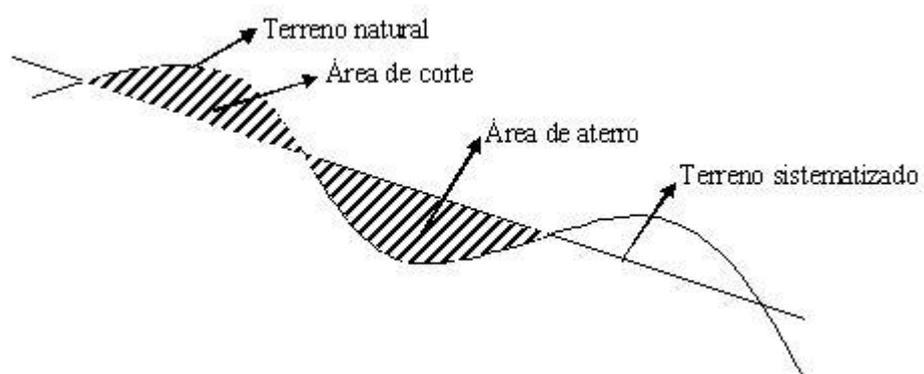
**Fig. 6.** Sistema de irrigação por sulcos



**Fig. 7.** Cultivo de grama com irrigação por faixas.



**Fig. 8.** Cultivo de arroz com irrigação por inundação.



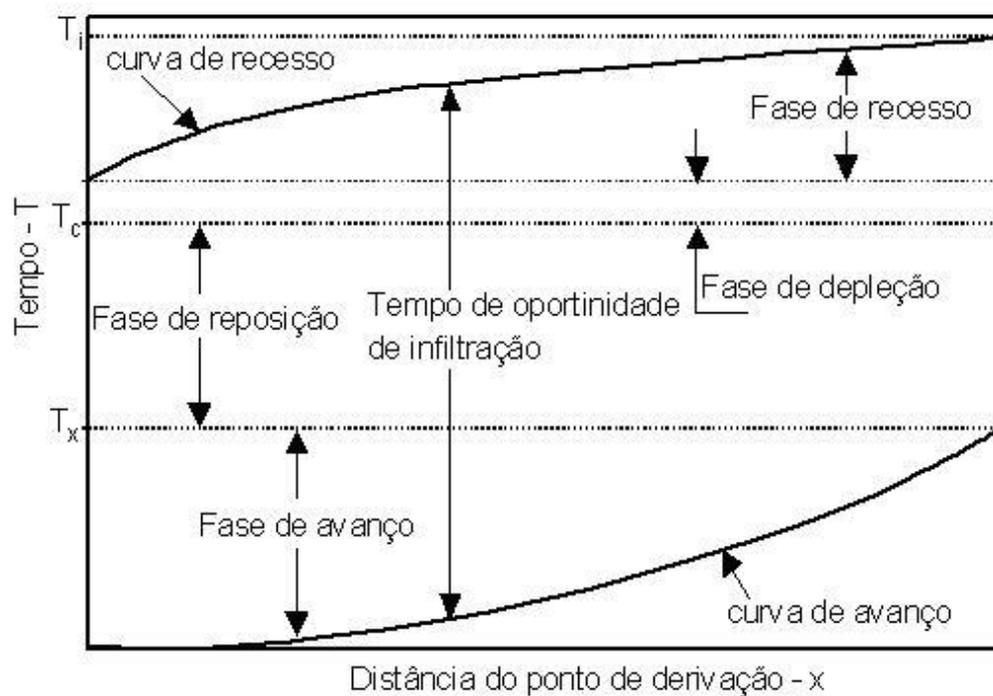
**Fig. 9.** Áreas de corte e de aterro para obtenção de plano sistematizado.



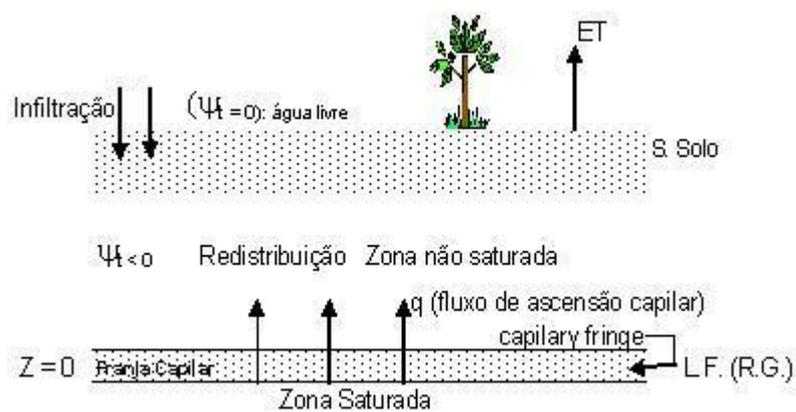
**Fig. 10.** Estaca marcando altura de corte.



**Fig. 11.** Trabalho de sistematização.



**Fig. 12.** Fases da irrigação por superfície (WALKER, 1989).



**Fig. 13.** Ilustração do processo de infiltração de água no solo.

**Tabela 1.** Necessidade líquida de irrigação - cultura do arroz, Morada Nova, CE.

<b>Mês</b>	<b>ET<sub>o</sub> (mm)</b>	<b>K<sub>c</sub></b>	<b>N.I. L<sup>(1)</sup> (mm)</b>
Agosto	189,1	1,10	208,0
Setembro	200,4	1,15	230,5
Outubro	204,6	1,20	245,5
Novembro	189,0	1,00	189,0
<b>Total</b>	<b>783,1</b>		<b>873,0</b>

**Tabela 2.** Eficiência de aplicação ( $E_a$ ) para textura argilo siltosa.

<b>Irrigação</b>	<b>ET<sub>o</sub></b> <b>(m</b> <b>m)</b>	<b>Kc</b>	<b>NIL</b> <b>(m</b> <b>m)</b>	<b>L<sub>ap</sub></b> <b>(mm)</b>	<b>E<sub>a</sub> (%)</b>
2 <sup>a</sup>	97,6	1,10	107, 4	169,8	63,2
3 <sup>a</sup>	136, 5	1,10	150, 2	249,7	60,1
4 <sup>a</sup>	133, 6	1,15	153, 6	197,1	77,9
5 <sup>a</sup>	118, 8	1,15	136, 6	127,5	100,0
6 <sup>a</sup>	65,7	1,20	78,8	103,6	76,1
7 <sup>a</sup>	63,0	1,20	75,6	80,8	93,6
8 <sup>a</sup>	81,9	1,20	98,3	113,7	86,4
9 <sup>a</sup>	55,2	1,00	55,2	78,4	70,4
10 <sup>a</sup>	46,4	1,00	46,4	68,8	67,4

**Tabela 3.** Eficiência de aplicação ( $E_a$ ) para textura areia franca.

<b>Irrigação</b>	<b>ET<sub>o</sub>(mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>N. I. L. (mm)</b>	<b>L<sub>ap</sub> (mm)</b>	<b>E<sub>a</sub> (%)</b>
2	62,4	1,10	68,6	210,2	32,7
3	73,2	1,10	80,5	180,8	44,5
4	73,2	1,15	84,2	210,2	40,1
5	76,2	1,15	87,6	226,7	38,6
6	80,4	1,15	92,5	238,8	38,7
7	93,7	1,20	112,4	189,4	59,4
8	66,0	1,20	79,2	263,8	30,0
9	39,6	1,20	47,5	82,9	57,3
10	52,8	1,00	52,8	205,2	25,7
11	77,4	1,00	77,4	264,8	29,2
12	57,2	1,00	57,2	261,2	21,9

**Tabela 4.** Eficiência do uso da água nas unidades texturais de solo.

Textura	Lâmina (mm)	Prod. (kg.ha <sup>-1</sup> )	E <sub>ua</sub> (kg.m <sup>-3</sup> )
Argilo-siltosa I	1309,6	6600	0,504
Argilo-siltosa II	1441,7	5240	0,363
Franca	2262,6	4031	0,178
Areia-franca	2590,6	5796	0,224

**Tabela .** Relação da vazão em função da carga hidráulica para sifões com 2,0 m de comprimento

<b>H (cm)</b>	<b><math>\Phi = 1''</math></b>	<b><math>\Phi = 1^{1/4}''</math></b>	<b><math>\Phi = 1^{1/2}''</math></b>	<b><math>\Phi = 2''</math></b>
	<b>Q (L s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Q (L s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Q (L s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Q (L s<sup>-1</sup>)</b>
30	0,80	1,24	1,80	3,10
40	0,92	1,44	2,10	3,60
50	1,03	1,60	2,30	4,00
60	1,13	1,76	2,50	4,52
70	1,22	1,90	2,75	4,73
80	1,30	2,00		5,06
90	1,38	2,20		
100	1,46	2,30		