

SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA
27 a 30 de setembro de 2004
Passo Fundo - RS

Painel 03: Eficiência e Otimização do Uso da Água na Agricultura

ASPECTOS CONCEITUAIS DO USO EFICIENTE DA ÁGUA NA AGRICULTURA

*Paulo Emílio Pereira de Albuquerque**

(*Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas, MG)

Agricultura e Água

“A agricultura não é problema, é solução para o Brasil”: essas são as palavras de Francisco Graziano na época em que era Secretário da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (Graziano, 1998). A idéia erroneamente tida acerca da agricultura como a atividade humana que mais degrada o meio ambiente deve ser alterada. Uma das causas desse equívoco é devido ao excesso de água captada para a produção de alimentos num cultivo irrigado. De fato, é sabido que a agricultura consome muita água, principalmente para a irrigação de culturas, que é da ordem de 70% de toda a água captada pelo homem. No entanto, há desperdício no uso da água em todas as atividades humanas, seja nas redes de abastecimento urbano, cheias de vazamentos, seja nos processos industriais e no uso agrícola, que pode ser em equipamentos de irrigação mal projetados e/ou mal manejados, na limpeza de granjas ou no uso em agroindústrias etc. Porém a agricultura é o único segmento que fornece ao meio ambiente água limpa na forma de evapotranspiração.

A Água no Sistema de Produção Agrícola

A água fornecida de modo artificial (irrigação) é um insumo a ser adicionado ao Sistema de Produção Agrícola, além dos agroquímicos, sementes, máquinas, mão-de-obra etc. Diferentemente da agricultura de sequeiro, a agricultura irrigada deve levar em conta todas as interações entre os insumos agrícolas, por isso normalmente a interação entre os outros insumos com a água deve ser otimizada, não somente visando obter o máximo rendimento físico da cultura, mas também o maior retorno econômico. Por isso, é bastante evidenciado o conceito diferente entre a agricultura irrigada e a agricultura de sequeiro adicionada de água de irrigação.

A água como insumo tem um custo, mas, na maioria dos casos, não há cobrança para utilizar esse bem natural. O seu custo está intrínseco no dispêndio de energia necessária ao seu bombeamento e no investimento necessário em equipamentos para conduzi-la do manancial até onde se encontra a área de cultivo.

A decisão de irrigar:

Segundo Andrade (2001), a decisão de irrigar ou não deve levar em consideração diversos fatores, entre os quais a quantidade e distribuição das chuvas (que é o mais importante deles), o efeito da irrigação na produção das culturas, a necessidade de água das culturas e a qualidade e disponibilidade de água da fonte. Outras razões para se utilizar a irrigação são o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto,

a produção na entressafra, o uso mais intensivo da terra e a redução do risco do investimento feito na atividade agrícola.

O caminho da água no sistema de produção:

A água utilizada de modo artificial (que sofre a interferência do homem) na agricultura segue a trajetória conforme os esquemas apresentados nas Figuras 1 e 2. Da fonte de captação até o local de cultivo, pode-se dividir o caminho da água em 6 partes:

- 1) Fonte de captação: lagos, rios, represas, açudes, lençol subterrâneo.
- 2) Unidade de captação: conjunto motobomba (para elevação – Figura 1); água gravitacional (unidade em cota mais elevada - Figura 2).
- 3) Sistema de condução: tubulações (sistema pressurizado); canais abertos (por gravidade).
- 4) Sistema de distribuição: sulcos, inundação (por gravidade); aspersores, microaspersores, gotejadores etc. (pressurizados).
- 5) Solo: local de armazenamento.
- 6) Cultura (plantas) e clima: local de consumo.

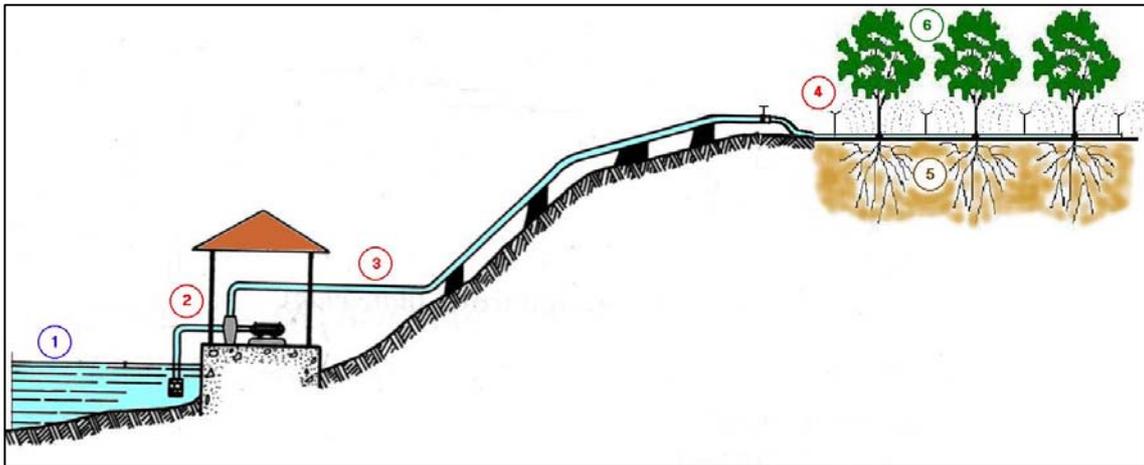


FIGURA 1 – Caminho da água aplicada artificialmente (irrigação) no sistema de produção agrícola, em condição mais comum de captação.

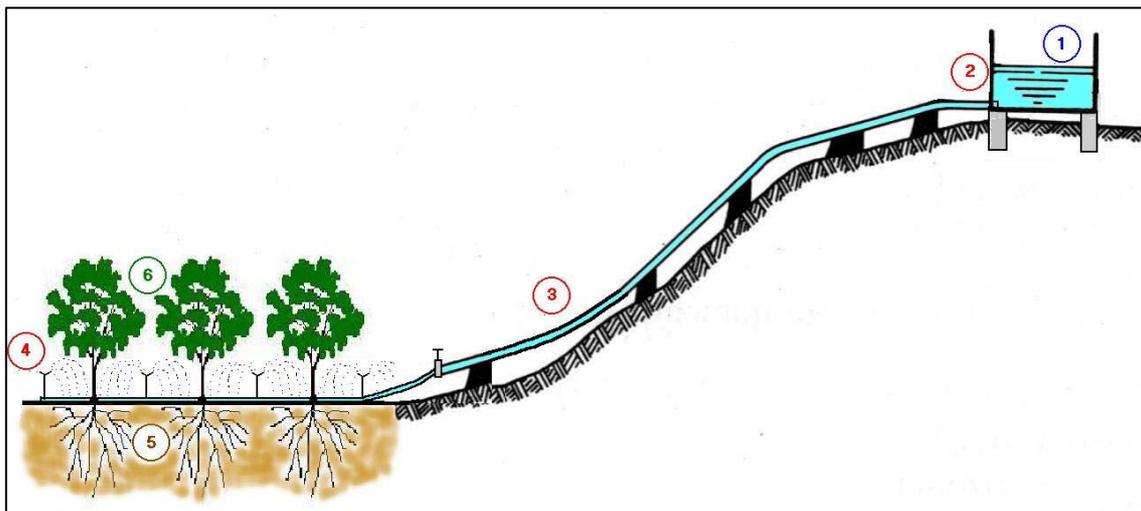


FIGURA 2 - Caminho da água aplicada artificialmente (irrigação) no sistema de produção agrícola, em condição de captação em cota mais elevada.

O conceito do uso eficiente da água de irrigação deve cobrir todas as 6 etapas enumeradas, ou seja, desde a preservação da fonte, ou até mesmo a sua ampliação, até o momento em que a água seja consumida pelas plantas e liberada no ambiente sob a forma de transpiração.

A Etapa 1 e o Conceito do Produtor de Água

Nos tempos atuais, baseando-se na lei recentemente promulgada sobre o uso da água (Lei 9.433), para haver a retirada de água de qualquer fonte natural, é necessário obter a outorga, que é a autorização oficial para a utilização de uma dada vazão de uma certa fonte, que é fornecida por uma agência de controle federal (ANA), estadual ou local.

A etapa 1 é considerada até mesmo antes que a água seja captada para irrigação, conforme os esquemas apresentados nas Figuras 1 e 2. Esta etapa é também a do produtor de água, que é daquele agricultor que está preocupado como a água natural ou da chuva pode intervir em seu meio rural.

A forma como o agricultor atua em sua terra pode causar os mais desastrosos danos ao meio ambiente, pois a água, em seu processo de escoamento superficial pode gerar desde carreamento de solo até erosões acentuadas, como as voçorocas. Podemos citar também os desmatamentos desordenados que podem pôr fim a nascentes de pequenos cursos d'água. Devem-se concentrar todos os esforços para se evitar ou minimizar o escoamento superficial proveniente da água que cai naturalmente (chuva) ou artificialmente (irrigação) sobre o solo agrícola.

É dever do técnico em irrigação minimizar ou anular o escoamento superficial que pode ser causado pela irrigação. Quanto à água da chuva, há meios que possam ser executados que visam transformar o escoamento em infiltração, de modo a favorecer o reabastecimento do lençol freático, o que pode ser realizado através da preservação e/ou implantação de matas ciliares e nas nascentes. Também o escoamento pode ser capturado, antes que assuma grandes proporções, e ser vertido para pequenos lagos construídos (as "barraginhas") que servirão de um volume extra de água (em lagos enlonados) para as atividades agrícolas (irrigação e outras) ou que deixarão a água estagnada até que se infiltre lentamente no solo para reabastecimento do lençol freático (Barros, 2000). A técnica das barraginhas é proveniente dos tempos do rei Salomão, que viveu 10 séculos antes de Cristo, e foi resgatada por Barros (2000). Segundo Barros (2000), as barraginhas contêm enxurradas, evitam a erosão e o assoreamento, filtram as águas, recarregam o lençol freático, revitalizam mananciais e permitem culturas diversas nas áreas umedecidas. As primeiras barraginhas foram abertas há seis anos no norte de Minas Gerais e já existem 25 mil delas em mais de 50 municípios do Estado. As Figuras 3, 4 e 5 mostram o sistema das barraginhas em operação.

Técnicas de manejo e conservação do solo também poderão ser adotadas, como o plantio direto, o terraceamento da área, cultivo em curva de nível, entre outras, para favorecer a infiltração da água.

A Etapa 2: o Sistema de Captação de Água

A etapa correspondente à captação ou à "entrega" da água ao sistema de distribuição é aquela necessária ao bombeamento da água captada, no caso da necessidade de elevar a água a uma cota mais alta (Figura 1), ou é aquela em que a água fica retida numa

represa, num pequeno lago ou numa caixa d'água em cota mais elevada e liberada a um local mais baixo (Figura 2). O caso mais comum é a necessidade de elevar a água, ou seja, do bombeamento, o que implica no dispêndio de energia realizado por um conjunto motobomba, que pode ser alimentado por motores elétricos ou de combustão interna.

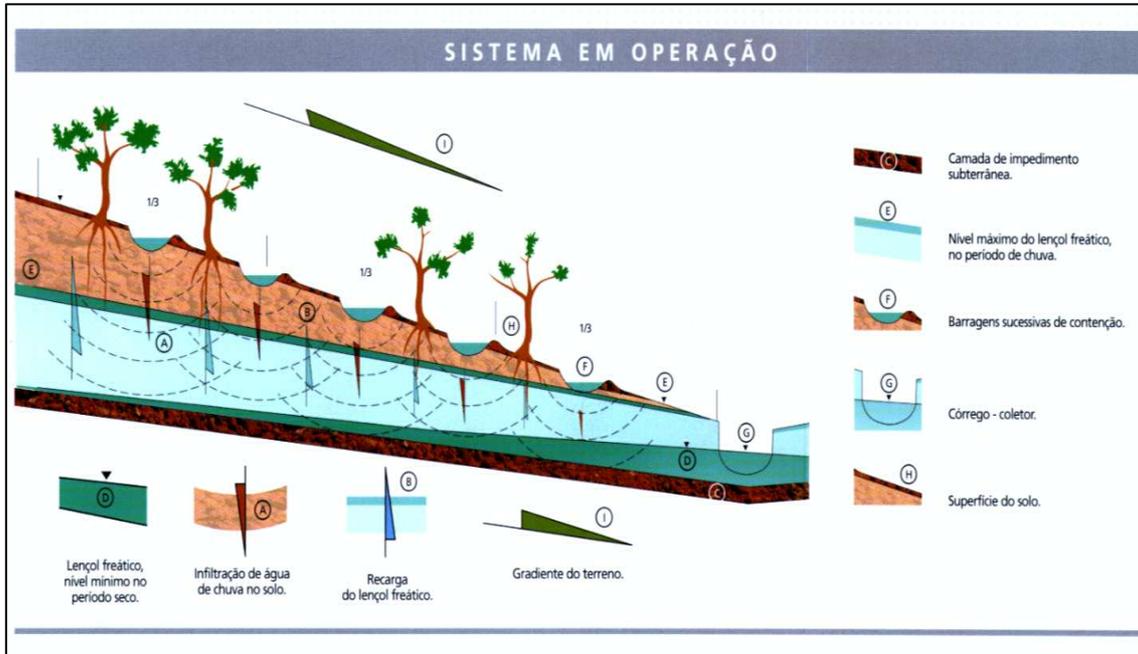


FIGURA 3 – Esquema representativo de um perfil de área agrícola em que é mostrado como é o sistema de barraginhas em operação (Barros, 2000).

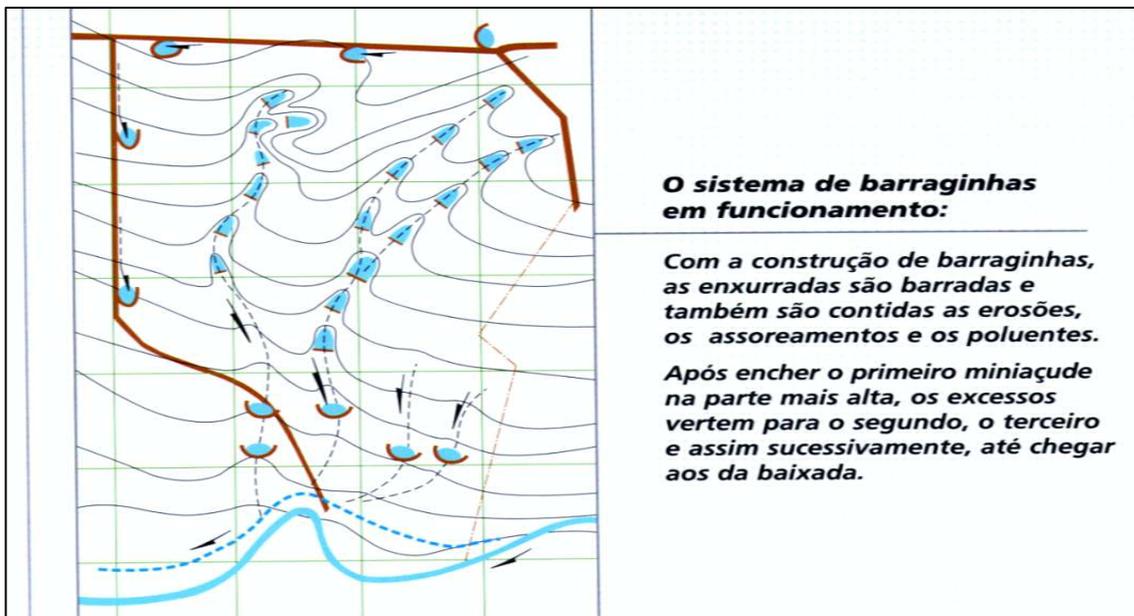


FIGURA 4 - Esquema representativo de um mapa de área agrícola em que é mostrado como é o sistema de barraginhas em funcionamento (Barros, 2000).

A melhor forma de eficientizar o uso de um conjunto motobomba é observar os seus resultados de ensaio funcionando com velocidade constante (número de rotações por minuto - rpm) através de suas curvas características de carga, rendimento e potência absorvida, em relação à vazão. A Figura 6 mostra um diagrama correspondente aos resultados de uma bomba adquirida para recalcar 340 L/s, com uma altura manométrica de 13,5 m e trabalhando com 875 rpm.

Os efeitos de alterações introduzidas nas condições de funcionamento de uma bomba não devem ser avaliadas exclusivamente com base na expressão que permite determinar a sua potência, ou seja:

$$P = (Q \times H) / 75.Ef \quad (1)$$

Em que:

P = potência do conjunto elevatório (cv);

Q = vazão (m³/s);

H = altura manométrica (m);

Ef = eficiência global do conjunto motobomba (em decimal).

É indispensável fazer também o exame das curvas características que indicam a variação do rendimento (ver exemplo na Figura 6).

A escolha correta do conjunto motobomba é de fundamental importância e é determinada, principalmente, pelas condições de operação e de manutenção e, ainda, por considerações econômicas. Naturalmente, o agricultor estará interessado em instalar uma unidade que forneça a vazão desejada (Q) para a altura manométrica (H) dimensionada em seu sistema de irrigação.



FIGURA 5 – Fotografias de barraginha cheia após a chuva (lado esquerdo) e após uma semana de infiltração (lado direito) (Barros, 2000).

A Etapa 3: a Rede Hidráulica de Irrigação

A etapa 3 se consiste do sistema de condução da água até os pontos de distribuição. Esse sistema pode ser constituído por tubulações (sistema pressurizado) ou por canais

abertos (sistema por gravidade). Normalmente, os métodos de irrigação que requerem a água distribuída sob pressão às culturas necessitam de tubulações e aqueles que não requerem utilizam os canais abertos. No entanto, dos canais abertos podem sair pontos de captação de água para sistemas pressurizados, como o sistema linear móvel, em que a água é diretamente bombeada de canais ao longo da área na qual se desloca o sistema de irrigação.

Um sistema de irrigação mais eficiente passa pelo mínimo de perdas de água que possam ocorrer ao longo de toda a rede hidráulica. Portanto, todos os possíveis pontos de vazamentos devem ser verificados. Esses pontos incluem trincas nos canais abertos e nos engates dos tubos, onde normalmente podem existir borrachas ressecadas, trincadas ou partidas, e nos próprios tubos quando há furos, cortes ou pontos amassados. Além disso, nos canais abertos, há perdas por evaporação em função da superfície de água livre.

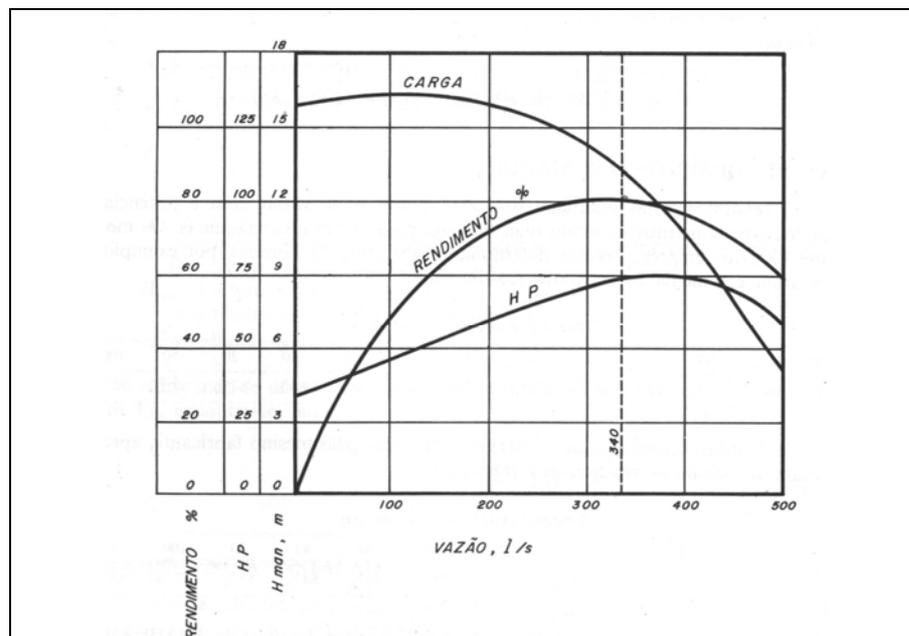


FIGURA 6 – Diagrama correspondente ao ensaio de uma bomba para recalcar 340 L/s, com uma altura manométrica de 13,50 m e rotação de 875 rpm (Azevedo Netto e Alvarez, 1973).

Comprimentos muito extensos de tubulação também devem ser evitados, haja vista que haverá maior perda de carga por atrito da água nas paredes dos tubos, necessitando-se conjuntos de bombeamento maiores, mais caros e menos eficientes. Por isso, um estudo da melhor disposição do sistema no campo e o seu dimensionamento hidráulico devem ser elaborados de tal forma que se minimizem as perdas e os custos de implantação e, conseqüentemente, se maximize a sua eficiência.

A Etapa 4: o Sistema de Irrigação

Um dos fatores a ser enfatizado, quando se pretende o uso eficiente da água de irrigação, é selecionar o sistema de irrigação mais adequado a uma determinada situação.

Não existe um sistema de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente todas as condições de clima, solo, cultura e parâmetros sócio-econômicos. O processo de seleção requer a análise detalhada das condições apresentadas, em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas (Andrade, 2001).

A seleção inadequada do melhor sistema a um caso específico pode causar o insucesso do empreendimento, ocasionando a frustração do agricultor com a irrigação e, muitas vezes, a degradação dos recursos naturais.

Antes de se começar o processo de seleção de algum método de irrigação, deve-se primeiro determinar se há necessidade de irrigação e se é possível irrigar. Muitos agricultores, motivados pelo modismo ou impulsionados pela pressão comercial e facilidade de crédito, adquirem sistemas de irrigação sem mesmo verificar se a cultura que querem explorar necessita ou responde à irrigação ou se a fonte de água de que dispõem é suficiente para atender a necessidade hídrica da cultura (Andrade, 2001).

Principais métodos e sistemas de irrigação:

Método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Basicamente, são quatro os métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação que podem ser empregados. A razão pela qual há muitos tipos de sistemas de irrigação é devido à grande variação de solo, clima, culturas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para os quais o sistema de irrigação deve ser adaptado (Andrade, 2001).

Os principais sistemas para cada método são os seguintes:

- a) por Superfície: sistemas em nível (tabuleiros inundados) e sistemas em declive (sulcos, corrugação, canais em contorno);
- b) por Aspersão: convencional, autopropelido, rolamento lateral ou ramal rolante (rolão), pivô central, deslocamento linear, LEPA (“low energy precision application”) e LESA (“low elevation spray application”);
- c) Localizada: gotejamento, microaspersão, subsuperficiais;
- d) Subirrigação: geralmente associado a um sistema de drenagem.

Vários fatores podem afetar a seleção do método de irrigação. Os principais estão sumarizados na Tabela 1.

Sistemas de irrigação adequadamente selecionados possibilitam a redução dos riscos do empreendimento, uma potencial melhoria da produtividade e da qualidade ambiental que, no final das contas, são alguns dos fatores que contribuem para o uso eficiente da água no meio rural.

Uniformidade de distribuição da água de irrigação:

O dimensionamento do sistema de irrigação deve ser realizado dentro dos mais eficientes critérios hidráulico, físico-biológico, climatológico e econômico possíveis. Entretanto, um outro fator é indispensável para que a aplicação da água seja a mais eficiente: a uniformidade de distribuição da água. Qualquer que seja o sistema de irrigação empregado, a medição desse fator é de fundamental importância.

TABELA 1 – Fatores que afetam a seleção do método de irrigação

Método	Fatores			
	Declividade do solo	Taxa de infiltração	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Efeito do vento
Superfície	A área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas com culturas que cobrem o solo.	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 60 mm/h ou com taxa de infiltração muito baixa.	Adaptável à maioria das culturas. Pode ser prejudicial a culturas que não toleram encharcamento das raízes, como batata.	Usualmente não é importante, mas pode causar problemas quando o solo está nu.
Aspersão	Adaptável a diversas condições.	Adaptável às mais diversas condições.	Adaptável à maioria das culturas. Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares.	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência.
Localizado	Adaptável às mais diversas condições.	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Pequeno efeito no caso de microaspersão.
Subirrigação	Área deve ser plana ou nivelada.	O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes ou lençol freático alto que possa ser controlado.	Adaptável à maioria das culturas. Pode prejudicar a germinação de culturas com semeadura rasa.	Não tem efeito.

Fonte: adaptação feita por Andrade (2001)

Para que a uniformidade seja a máxima possível, os equipamentos de irrigação devem, na medida do possível, funcionar nas faixas de vazão e pressão para os quais foram dimensionados. Também não se devem utilizar equipamentos que sejam de marcas e/ou de características diferentes numa mesma unidade de irrigação, como, por exemplo, aspersores diferentes numa mesma linha lateral.

Como mostra a Tabela 1, alguns métodos de irrigação podem sofrer mais fortemente os efeitos do clima, como, por exemplo, o método de irrigação por aspersão que, por sua própria característica de fracionar a água em gotículas, essas podem ser arrastadas pelo vento e evaporadas mais rapidamente em condições de ar seco (maior déficit de pressão de vapor do ar, ou seja, menor umidade relativa do ar).

Métodos que aplicam a água diretamente sobre a superfície do solo normalmente são os que apresentam as mais baixas eficiências, entretanto o reuso da água no final do sulco pode melhorar essa eficiência, como pode ser observado na Tabela 2. Por outro lado, os que aplicam a água de forma pontual ou em faixas (sistema localizado), que não umedecem completamente a superfície do solo, tendem a ser mais uniformes na distribuição.

A Tabela 2 apresenta as faixas de eficiência, segundo a uniformidade de distribuição, para os diversos sistemas de irrigação.

A baixa uniformidade de irrigação geralmente deve ser compensada com a aplicação de lâminas extras que formarão a lâmina bruta de irrigação (LB). Quanto mais a LB se distanciar da lâmina líquida (LL) recomendada, menos eficiente é o sistema.

TABELA 2 – Faixa de eficiência (Ef) de aplicação de água típica para os diversos sistemas de irrigação

Sistemas por superfície	Ef (%)	Sistemas por aspersão	Ef (%)	Sistemas Localizados	Ef (%)
Sulco com tubo janelado sem reuso	40-75	Lateral portátil	60-85	Gotejamento	65-90
Sulco com tubo janelado com reuso	60-85	Sistema fixo	60-85	Mangueira porosa	60-85
Sulco com tubo sifão	40-75	Pivô central	75-90	Microaspersão	60-85
Faixa em declive	50-85	Rolão	60-80		
Tabuleiros em nível	60-85	Autopropelido	55-75		
		Lateral móvel	70-90		

Fonte: Martin et al. (1992)

Automação de sistemas de irrigação e irrigação de precisão:

A automação de sistemas agrícolas irrigados, visando a irrigação inteligente e a agricultura de precisão, é ainda incipiente no Brasil. A abordagem desse tema usando pontos como as técnicas de microprocessamento, microeletrônica, sensores e atuadores, sensoriamento remoto, geoprocessamento, válvulas solenóides etc. foi feita por Gomide (2001), o qual discute também as opções de automação para o controle, a aquisição, a transferência e o armazenamento de dados envolvidos nas medições de atributos dos sistemas de produção irrigados.

O mais atrativo é que a automação é uma ferramenta que vai auxiliar no processo de tomada de decisão para a programação das irrigações em condições de campo, visando um melhor gerenciamento de áreas irrigadas, principalmente no que concerne à questão de variabilidade espacial e temporal, uma vez que os sensores, tanto de solo quanto de cultura e clima (parâmetros que serão discutidos nas etapas 5 e 6 adiante), facilitam a aquisição o processamento automático dos dados, estimulando o uso de microcomputadores, de técnicas de inteligência artificial e de “softwares” no controle de todos os processos. Com isso será possível uma maior precisão na aplicação de quantidades reais de água para as plantas e uma maior eficiência de uso de água, assegurando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas irrigados e a preservação do meio ambiente (Gomide, 2001).

Atualmente já existe tecnologia para a automação dos equipamentos de irrigação, principalmente os sistemas pressurizados (pivô central, microaspersão e gotejamento).

A aplicação de técnicas de agricultura de precisão nos sistemas agrícolas irrigados possibilita detectar e mapear a variabilidade de solo (ver a etapa 5 adiante) no campo, que é um dos fatores mais importantes, pois influencia diretamente a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas. Isso demanda a coleta automática de dados e informações georreferenciadas, requerendo a utilização intensiva do sistema de posicionamento global (GPS). Para aplicações na agricultura irrigada, faz-se necessário a precisão sub-métrica, com o uso de GPS diferencial (DGPS). Daí, um dos primeiros

passos, é a obtenção do mapeamento da área agrícola explorada, principalmente no que concerne ao tipo de solo (granulometria, textura), fertilidade, pH, compactação, disponibilidade de água e nutrientes etc., uma vez que essas informações servirão de base para todas as análises e operações do sistema de produção.

Outra excelente fonte de informação e diagnóstico das condições de performance de áreas irrigadas são os mapas de produtividade, obtidos por meio de máquinas combinadas, equipadas com antena DGPS e sensores eletrônicos para medição de fluxo de massa e teor de umidade dos grãos.

Os sistemas de informação georreferenciados (SIG) são utilizados para o armazenamento, tratamento, análise e visualização das informações espaciais coletadas nas diferentes áreas irrigadas. O resultado das análises desses dados é que vai permitir a racionalização dos recursos naturais, a otimização de insumos agrícolas e a geração de mapas de aplicação localizada de insumos (manejo sítio-específico), levando em conta a variabilidade espacial e temporal encontrada. Com isso, é possível a aplicação de quantidade correta de insumos de forma diferenciada em toda a extensão das áreas (aplicação com taxa variável, ATV) (Gomide, 2001).

A Etapa 5: o Solo e a Irrigação

O solo agrícola no qual se faz uso da irrigação é um importante componente do sistema de produção. Além de ser a fonte dos nutrientes necessários à cultura, o solo funciona como o sistema físico que armazena a água que é disponibilizada às plantas através das raízes.

O conceito de água disponível:

Se houver água disponível no solo, o movimento de água prossegue da planta para a atmosfera. Não havendo água disponível, o movimento cessa. Quais serão então os níveis ótimos de água no solo? A procura desses níveis é que levou ao conceito de *Água Disponível*.

É um processo complexo o movimento da água do solo para a planta e desta para a atmosfera. Assim sendo, qualquer tentativa de quantificar a água disponível no solo, não pode dar resultados universais. Por outro lado, existe a necessidade da definição da água disponível para a possibilidade de um manejo agrícola racional. Definiu-se então uma quantidade de água disponível baseada em variáveis mais simples de quantificar, desde que se conheçam suas limitações. Esses conceitos são bem discutidos em Reichardt (1996) e estão sumarizados em Albuquerque (2000), onde se discutem os limites superior (capacidade de campo, CC) e o inferior (ponto de murcha permanente, PMP) da água no solo, os quais delimitam a água total disponível no solo (ATD) (Figura 7), que é a de interesse em estudos de irrigação.

Nota-se pelo esquema da Figura 7 que a textura do solo torna a capacidade de armazenamento de água pelo solo mais ou menos restrita. Assim, solos argilosos tendem a possuir maior capacidade de retenção de água, ao passo que solos de arenosos tendem a possuir menor capacidade.

Lixiviação:

A água gravitacional (AG) pode ser aproveitada pelas plantas enquanto permanecer na zona radicular, mas como ela drena rapidamente, em muitas situações ultrapassa a zona das raízes e se perde em horizontes mais profundos. Quando existir AG que possa ultrapassar a zona das raízes é sinal que o manejo de irrigação não está sendo bem

executado. Diz-se que essa água que ultrapassa a zona das raízes é perdida por percolação ou drenagem profunda e deve ser evitada, pois, neste caso, haverá a possibilidade de lixiviar nutrientes e poluir o lençol freático, além de ser água em excesso que não será utilizada pela cultura em seu processo de transpiração. Exceção se faz para o caso de solos salinos em que há necessidade de lâminas extras de irrigação para lixiviar sais que possam ser prejudiciais às culturas.

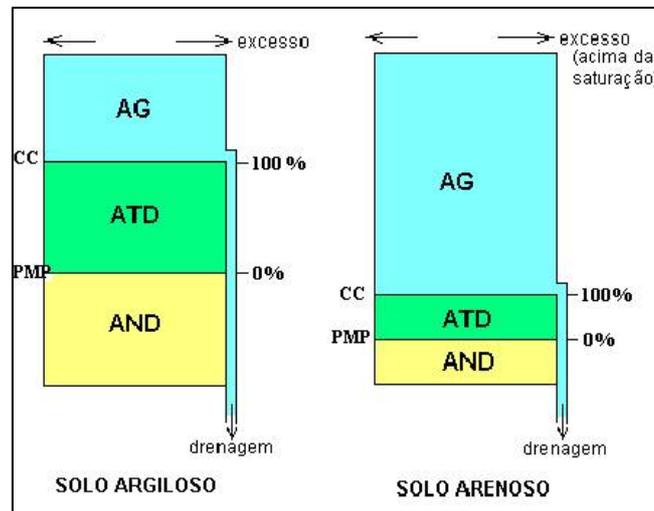


FIGURA 7 - Proporções entre água gravitacional (AG), água total disponível (ATD) e água não-disponível (AND) para solos argiloso e arenoso (CC é a capacidade de campo e PMP o ponto de murcha permanente).

A água é um dos principais veículos para o transporte de poluentes no solo, a quantificação dos fluxos e a análise da sua qualidade é fundamental para se avaliarem os riscos de contaminação que a agricultura pode causar ao meio ambiente. Andrade et al. (2004a), utilizando lisímetros de drenagem em cuja superfície havia a cultura do milho, verificaram que a aplicação de uma lâmina de irrigação 27,6% maior que a requerida proporcionou 143% mais percolação. Concluíram que a manutenção do solo menos úmido ao longo do ciclo da cultura é uma importante medida para reduzir a percolação e para melhorar a produtividade da água, sendo, portanto, fundamental a monitoração da umidade do solo. Andrade et al. (2004b) observaram também que o excesso de irrigação propiciou a movimentação até mesmo do íon amônio. Concentrações de nitrato acima de 10 mg.L^{-1} , que é o limite máximo admissível para água potável, foram observadas no tratamento que recebeu excesso de irrigação. Em outro trabalho, Andrade et al. (2004c) notaram também que o excesso de irrigação propiciou maior lixiviação do herbicida atrazine.

Redução da evaporação da água do solo:

Como será visto na etapa 6 mais adiante, o componente *evaporação* constituinte da *evapotranspiração* ($ET = \text{somatório da evaporação da água no solo e a transpiração das plantas}$) pode e deve ser minimizado. Técnicas mais conservacionistas de preparo do solo, como o plantio direto na palhada, geralmente, reduzem a evaporação da superfície do solo, principalmente na fase inicial do ciclo das culturas, quando o solo ainda não possui a superfície completamente vegetada. A inclusão de restos vegetais

sobre o solo, além de impedir a evaporação, pode manter a umidade mais elevada na superfície, criando condições favoráveis para ocorrência de menores perdas de água das camadas mais superficiais do solo.

A Etapa 6: as Plantas e o Clima

Esta é a etapa principal, é o alvo a ser atingido, ou seja, é a finalidade de todo o processo do caminho da água desde a fonte, num sistema de produção irrigado.

As plantas transpiram e o solo perde água por evaporação. Do somatório desses dois termos (transpiração e evaporação) temos o que se denomina *evapotranspiração*. Como já comentado, a evaporação pode e deve ser reduzida e, na medida do possível, ser anulada. Entretanto, a transpiração é necessária ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Seckler (2003) em seu artigo pergunta: “Por que as plantas necessitam de muita água para a transpiração?”. Sabe-se que a transpiração é o processo de vaporização da água líquida contida nos tecidos vegetais e removida na forma de vapor para a atmosfera. Para a produção de apenas 1 kg de fitomassa, são perdidos 200 a 1000 kg de água transpirada para a atmosfera. Para a produção de grãos ou frutos, esses valores podem ser pelo menos duas vezes maiores.

Um importante produto da fotossíntese é o carboidrato, o qual é constituído pelo hidrogênio, que as plantas adquirem ao quebrar a molécula da água, e pelo carbono, que é obtido pela quebra da molécula de gás carbônico do ar. A água é extraída do solo, através do sistema radicular (etapa 5), e o gás carbônico é capturado do ar, através dos estômatos. Um outro produto da fotossíntese é o oxigênio que as plantas expõem para o ar e que é reciclado pelos animais. Todas as trocas de gases (vapor de água, gás carbônico e oxigênio) na planta se processam nos estômatos, portanto a transpiração é necessária para que as plantas possam capturar o gás carbônico do ar e se desenvolverem.

Dois outros efeitos benéficos da transpiração são: auxiliar o resfriamento das plantas em condições de altas temperaturas e auxiliar também no movimento da seiva, de nutrientes e da água das raízes até as folhas. Segundo Seckler (2003), um terceiro efeito da transpiração, que o autor julga ser o mais importante, é gerar o fluxo de massa da solução do solo constituída de nutrientes para as raízes das plantas.

O conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c):

A evapotranspiração da cultura (ET_c) depende de diversas variáveis ligadas ao clima, ao solo e à própria planta, por isso é um fator difícil de se medir, envolvendo equipamentos e aparatos sofisticados e caros os quais são mais apropriados ao setor da pesquisa como forma de aferir e calibrar métodos mais simples de estimá-la. Um modo de tornar a estimativa da ET_c mais simples é utilizar a evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_o) e correlacioná-la com uma cultura qualquer. Anteriormente, a ET_o era definida para a grama ou alfafa cultivada num campo extenso, em pleno desenvolvimento vegetativo, com suprimento hídrico adequado; nos dias de hoje, a definição de ET_o mais aceita seria para uma cultura hipotética semelhante à grama ou alfafa, cujos parâmetros foram fixados pela FAO para o modelo de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A relação ET_c/ET_o origina o chamado coeficiente de cultura (K_c), portanto K_c é dependente do tipo de cultura e de sua fase do ciclo fenológico. Como provém da própria evapotranspiração, o K_c também sofre fortemente os efeitos do

clima, principalmente o déficit de pressão de vapor do ar e a velocidade do vento. Uma das primeiras publicações sobre K_c foi da FAO em seu manual 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977), o qual apresenta tabelas para as diversas culturas em função de faixas de umidade relativa do ar e de velocidade do vento. Por exemplo, para a cultura do milho, os valores apresentados para o K_c na fase intermediária (K_c -med) do ciclo da cultura variam de 1,05 a 1,20. Uma proposta mais recente da FAO está em seu manual 56 (Allen et al., 1998), que descreve uma nova metodologia para uso do K_c utilizando o novo conceito de ETo conforme o modelo de Penman-Monteith. Esse novo método apresenta valores de K_c para uma condição padrão de umidade relativa mínima do ar (UR_{min}) de 45% e velocidade do vento diária (u) de 2,0 m/s. Para o caso do milho, nessa condição padrão, o valor do K_c -med é de 1,20. Para a condição local de clima que se afastar da condição padrão de UR_{min} e u faz-se necessário corrigir os valores do K_c da metade (K_c -med) e do fim (K_c -fim) do ciclo da cultura por meio de uma equação que é função de ambas variáveis climáticas. Os trabalhos apresentados no Brasil até o momento sobre coeficientes de cultura têm sido mais de caráter pontual, não sendo apresentados para uso de recomendação mais amplo. Por isso, há necessidade de obtenção desses valores de modo a cobrir áreas maiores e que sejam prontamente obtidos quando houver necessidade. Albuquerque e Guimarães (2004a, b) obtiveram valores mensais dos coeficientes de cultura (K_c) para culturas de ciclo anual na fase inicial (K_c -ini) e na fase de florescimento para (K_c -med) para o milho e o sorgo, no Estado de Minas Gerais, através da apresentação de mapas com isolinhas referentes às faixas de valores de K_c . Um exemplo do K_c -med está apresentado na Figura 8 para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais, em dois meses (fevereiro e agosto) de condições extremas (mínima e máxima).

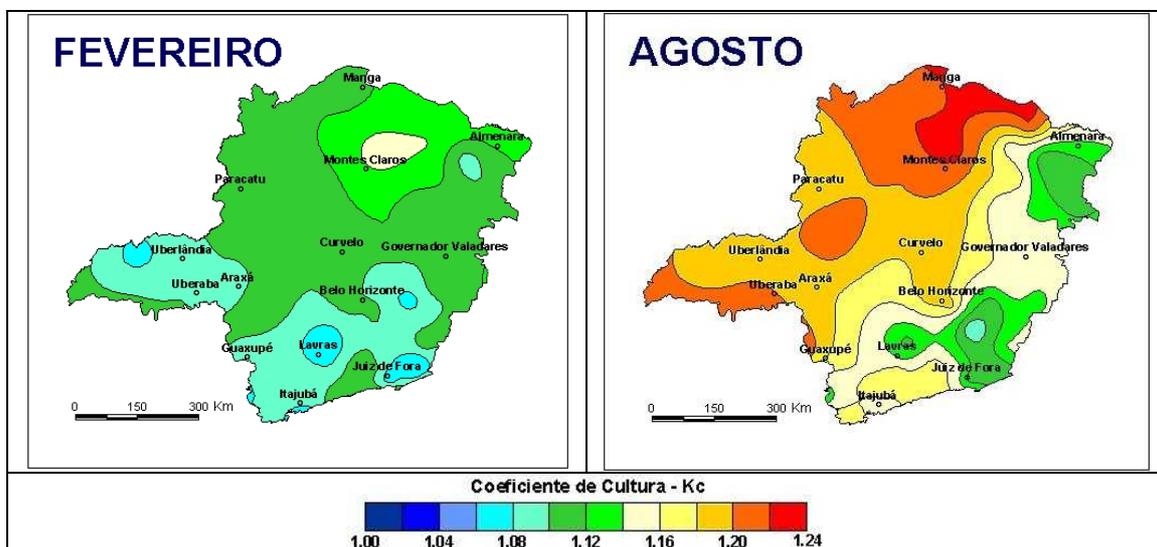


FIGURA 8 - Isolinhas de valores de coeficientes de cultura da fase de florescimento (K_c -med) para o milho no Estado de Minas Gerais, em dois meses de valores extremos (mínimo e máximo) do ano.

A técnica das redes neurais artificiais (RNA) tem prestado também como ferramenta para se fazerem previsões da ETo , como está mostrada nos trabalhos de Resende et al. (2002) e Guimarães et al. (2003).

Nos dias atuais, há grande facilidade na obtenção de dados climatológicos para estimar a ETo e o Kc. Existem as estações climatológicas automáticas programáveis para coleta de dados em tempo real. Também há disponibilidade de imagens obtidas de fotografias aéreas e de satélites que podem servir para estudos de ETo e de estresse hídrico, baseados no balanço de energia na superfície terrestre. Entretanto, são alternativas de custos mais elevados, que poderiam ser utilizados por grandes empresas agrícolas, cooperativas ou associações de produtores.

A necessidade de fazer o manejo de irrigação:

O manejo ou a programação inadequados da água de irrigação é uma das principais razões para a baixa eficiência do uso da água. Há necessidade de criar, difundir e transferir tecnologias para os agricultores, de modo que esses passem a assimilar técnicas simples e fáceis de programar a irrigação das suas culturas. Albuquerque e Andrade (2001) lançaram uma planilha eletrônica para programar a irrigação de culturas anuais. Essa planilha se baseia no requerimento de água das culturas (etapa 6 do processo) e nas características físico-hídricas do solo (etapa 5). Mais recentemente, Albuquerque (2003) apresenta essa planilha para uso específico em pivôs centrais.

O conceito de eficiência de irrigação e produtividade da água:

O conceito clássico de *eficiência de irrigação* usado pelos engenheiros omite os parâmetros econômicos. Para a determinação da eficiência de irrigação em seu nível ótimo, os economistas procuram conhecer o valor da água de irrigação e o custo do acréscimo no sistema de produção ao controlar ou manejá-la. Quando a água torna-se um bem escasso, o crescimento da produtividade da água ou reduções no volume captado se torna um fator de alto valor agregado. Porém, produtividades mais elevadas de água não necessariamente significam eficiência econômica maior.

Como foi visto, a necessidade total de água para uma cultura é oriunda da sua evapotranspiração (ETc). A lâmina real ou líquida de água necessária para a cultura é definida como:

$$LL = ETc - Pe \quad (2)$$

Em que:

LL = lâmina líquida necessária (mm);

ETc = evapotranspiração da cultura (mm);

Pe = precipitação efetiva (mm).

O conceito clássico de *eficiência de irrigação* (Ei) é dado por:

$$Ei = LL/Ld \quad (3)$$

Em que:

Ld = lâmina de água derivada ou captada de uma fonte (mm).

Os novos conceitos de eficiência de irrigação são abordados por Seckler et al. (2003), os quais incluem o conceito de reuso, reutilização ou reciclagem da água para algum lugar do sistema. Um desses novos modos é chamado de *eficiência líquida* (EL) e é dado por:

$$EL = Ei + Er.(1 - Ei) \quad (4)$$

Em que:

EL = eficiência de irrigação clássica (equação 3);

(1 – Ei) = ineficiência clássica, que é percentagem da água derivada que não é usada para as exigências da LL;

Er = é percentagem de (1 – Ei) que está potencialmente disponível para recuperação, reuso ou reciclagem em algum lugar do sistema.

Há outras formas de apresentar a eficiência baseando-se no reuso da água, como a da *eficiência efetiva* (EE) de Keller e Keller, citados também por Seckler et al. (2003).

Há diversas formas de se expressar a produtividade da água (Kijne et al., 2003):

- a) produtividade puramente física – que é a quantidade de produto gerado dividido pela quantidade de água captada da fonte, em kg/m^3 ;
- b) produtividade combinada física e econômica – que é o valor presente bruto ou líquido do produto dividido pela quantidade de água captada, em $\$/\text{m}^3$;
- c) produtividade econômica – que é o valor presente bruto ou líquido do produto dividido pelo valor da água captada, definido em termos do seu custo de oportunidade.

Brito et al. (2000, 2003) estudaram o desempenho de indicadores para avaliar perímetros de irrigação público e privado. Esses indicadores se basearam em parâmetros físicos (como o volume de água captado, evapotranspiração, consumo de água etc.) e econômicos (custos de água, energia e produtos gerados), como especificados nas análises de produtividade. Os diagnósticos foram realizados para o perímetro de irrigação Paracatu-Entre Ribeiros, no noroeste de Minas Gerais, e para o Distrito de Irrigação Nilo Coelho, em Petrolina, Pernambuco. Medidas de intervenção não foram adotadas, mas os resultados obtidos servirão de base para que sejam, de modo a melhorar o uso da água nos locais e que se alcance também o incremento da produtividade da água.

Plantas tolerantes à seca como produtos do melhoramento genético e organismo geneticamente modificado (OGM):

Finalmente, como uma das alternativas para incrementar a eficiência do uso da água, tanto na agricultura irrigada como na de sequeiro, é melhorar geneticamente as espécies de plantas ou transformá-las geneticamente (transgenia), de modo a torná-las mais tolerantes à seca ou mais eficientes no uso da água.

É sabido, desde os primórdios da ciência, que sem água não há vida, por isso não haverá espécie viva que não necessite de água, no entanto, a quantidade de água requerida pode ser reduzida, como pode ser observada a seleção natural ocorrida com as plantas xerófitas que se adaptaram geneticamente a uma condição ambiental hostil de escassez hídrica. Esse é um dos motivos e o momento adequado para o desenvolvimento e disponibilização de genótipos comerciais tolerantes a estresses hídricos cíclicos e/ou contínuos, bem como eficientes para o uso de água, sendo, portanto, uma estratégia desafiadora e adequada. Como o rendimento de grãos sob estresse hídrico constitui-se em uma característica complexa, a identificação e caracterização de genótipos contrastantes (tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico), baseando-se em características secundárias de planta e associadas ao rendimento de grãos, tornam-se ferramentas potentes para o melhoramento vegetal a transgenia.

A *Embrapa Milho e Sorgo* vem trabalhando para a seleção de genótipos de milho, sorgo e milheto, desenvolvendo os conceitos de sítios específicos em áreas de terreno para fenotipagem para seca, protocolos de características de planta para fenotipagem e

técnicas de “screening”, objetivando caracterizar a deficiência hídrica e descrever, sumariamente, o esforço no desenvolvimento de material genético competente para o melhoramento visando tolerância à seca em milho. Associam-se os conhecimentos quanto às estratégias de melhoramento na definição de grau genético adequado, quanto à identificação e descrição de características morfo-fisiológicas secundárias e do rendimento de grão, como parâmetros úteis à fenotipagem, e quanto ao potencial de uso de técnicas moleculares como ferramentas de auxílio ao melhoramento (Durães et al., 2004).

Literatura Citada

ALBUQUERQUE, P.E.P. de. *Planilha eletrônica para a programação de irrigação em pivôs centrais*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2003. 9p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 25).

ALBUQUERQUE, P.E.P. *Requerimento de água das culturas para fins de manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação localizada*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 54p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 1).

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE, C.L.T. *Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 10).

ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARÃES, D.P. Estimativa de coeficientes de cultura (Kc) da fase inicial de culturas anuais no Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25, Cuiabá, 2004. *Resumos expandidos em Cd-rom*. Cuiabá: ABMS/Embrapa/Empaer, 2004a.

ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARÃES, D.P. Estimativa de coeficientes de cultura (Kc) da fase de florescimento para milho e sorgo no Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25, Cuiabá, 2004. *Resumos expandidos em Cd-rom*. Cuiabá: ABMS/Embrapa/Empaer, 2004b.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ANDRADE, C.L.T. *Seleção do sistema de irrigação*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 18p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 14).

ANDRADE, C.L.T.; ALVARENGA, R.C.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COELHO, A.M.; TEIXEIRA, E.G. Dinâmica de Água e Solute em um Latossolo Cultivado com Milho Irrigado: 1 – Percolação e Produtividade da Água. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, Porto Alegre, 2004. *Resumo expandido em cd-rom*. ABID/Funarbe. (no prelo).

ANDRADE, C.L.T.; ALVARENGA, R.C.; COELHO, A.M.; MARRIEL, I.E.; TEIXEIRA, E.G. Dinâmica de Água e Solute em um Latossolo Cultivado com Milho Irrigado: 2 – Lixiviação de Nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, Porto Alegre, 2004. *Resumo expandido em cd-rom*. ABID/Funarbe. (no prelo).

ANDRADE, C.L.T.; ALVARENGA, R.C.; PRATES, H.T.; KARAM, D.; TEIXEIRA, E.G. Dinâmica de Água e Solute em um Latossolo Cultivado com Milho Irrigado: 3 – Lixiviação de Atrazine. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, Porto Alegre, 2004. *Resumo expandido em cd-rom*. ABID/Funarbe. (no prelo).

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. *Manual de hidráulica*. São Paulo: Edgard Blücher, ed.6, v.1, 1973. 333p.

BARROS, L.C. *Captação de águas superficiais de chuvas em barraginhas*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 16p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 2).

BRITO, R.AL.; BASTINGS, I.W.A.; BORTOLOZZO, A.R. The Paracatu/Entre-Ribeiros irrigation scheme in Southeasten Brazil. *Irrigation and drainage systems*. Netherlands, v.17, p.285-303, 2003.

BRITO, R.AL.; SOUZA, G.H.F.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V. Performance indicators for evaluation of irrigation districts. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2000, Midwest Express Center Milwaukee, Wisconsin. 2000. 9p. (Paper No. 002106. An ASAE Meeting Presentation).

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and drainage paper, 24).

DURÃES, F.O.M.; SANTOS, M.X.; GAMA, E.E.G.; MAGALHÃES, P.C.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARÃES, C.T. *Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2004. 17p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 39).

GOMIDE, R.L. Importância da automação nos sistemas agrícolas irrigados, visando a irrigação inteligente e a agricultura de precisão. In: MATSURA, E.E. et al. (ed.). *Aplicações da técnica de TDR na agricultura*. Campinas: Unicamp/Feagri, 2001. p.1-36.

GRAZIANO, F. Agricultura: a produção de água limpa. *Agroanalysis*. Rio de Janeiro: FGV, v.18, n.3, 1998. p.60-63.

GUIMARÃES, D.P.; ALBUQUERQUE, P.E.P. de; SANS, L.M.A. Uso de redes neurais artificiais para a estimativa da ETo de Penman-Monteith com um reduzido número de variáveis. Resumo expandido para o *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 13, Santa Maria: UFSM, 2003.

KIJNE, J.W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. Improvement water productivity in agriculture: editors' overview. In: KIJNE, J.W. et al. (eds.). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Sri Lanka: CABI Publishing/IWMI. v.1, 2003. p. xi-xix.

MARTIN, D.L.; STEGMAN, E.C.; FERERES, E. Irrigation scheduling principles. In: HOFFMAN, G.J. *Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, 1992. p.155-206.

REICHARDT, K. *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. Piracicaba: USP/Esalq, ed.2, 1996. 505p.

RESENDE, M.; SOUZA, L.M.; CAMINHAS, W.M.; PATARO, C.D.M.; FARIA, C.M. Utilização de redes neurais artificiais na correção e predição da evapotranspiração para programação de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. *A inserção da agricultura irrigada no ciclo hidrológico com segurança alimentar, revitalização hídrica e sustentabilidade ambiental*: [anais]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. CD-ROM.

SECKLER, D. A note on transpiration (Appendix A). In: KIJNE, J.W. et al. (eds.). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Sri Lanka: CABI Publishing/IWMI. v.1, 2003. p. 311-318.

SECKLER, D.; MOLDEN, D.; SAKTHIVADIVEL, R. The concept of efficiency in water-resources management and policy. In: KIJNE, J.W. et al. (eds.). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Sri Lanka: CABI Publishing/IWMI. v.1, 2003. p. 37-51.