

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Arroz e Feijão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# A Cultura do Arroz no Brasil

*2ª Edição  
Revisada e ampliada*

Alberto Baêta dos Santos  
Luís Fernando Stone  
Noris Regina de Almeida Vieira  
**Editores Técnicos**

*Embrapa Arroz e Feijão  
Santo Antônio de Goiás, GO  
2006*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

**Embrapa Arroz e Feijão**

Rod. GO 462, Km 12  
Caixa Postal 179  
CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás , GO  
Fone: (62) 3533-2110  
Fax: (62) 3533-2100  
sac@cnpaf.embrapa.br  
www@cnpaf.embrapa.br

**Embrapa Informação Tecnológica**

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)  
Fone: (61) 3340-9999  
Fax: (61) 3340-2753  
CEP 70770-901 - Brasília, DF  
vendas@sct.embrapa.br  
www.sct.embrapa.br

**Supervisor Editorial:** *Marina A. Souza de Oliveira*

**Revisor de Texto:** *Noris Regina de Almeida Vieira*

**Normalização Bibliográfica:** *Ana Lúcia Delalibera de Faria*

**Tratamento das Ilustrações:** *Sebastião José de Araújo e Fabiano Severino*

**Editoração Eletrônica:** *Fabiano Severino*

**1ª edição**

1ª impressão (1999): 1.000 exemplares

**2ª edição**

1ª impressão (2006): 2.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Arroz e Feijão

---

A cultura do arroz no Brasil / editores, Alberto Baêta dos Santos, Luís Fernando Stone, Noris Regina de Almeida Vieira. - 2. ed. rev. ampl. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 85-7437-030-4

1. Arroz - Produção. 2. Arroz - Tecnologia. 3. Arroz - Pesquisa. I. Santos, Alberto Baêta dos, *ed.* II. Stone, Luís Fernando, *ed.* III. Vieira, Noris Regina de Almeida, *ed.* IV. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 633.18 (21. ed.)

---

© Embrapa 2006

# Irrigação

*Luís Fernando Stone; Pedro Marques da Silveira;  
José Aloísio Alves Moreira*

**RESUMO** - Este capítulo reúne informações relativas aos principais métodos de irrigação do arroz, incluindo inundação, subirrigação e aspersão. O método mais utilizado no Brasil é o de irrigação por inundação contínua, que pode ser feita com circulação da água entre os tabuleiros, geralmente no sistema de tabuleiros em contorno, ou com lâmina de água estática, mais usada no sistema de tabuleiros retangulares. A subirrigação tem sido utilizada em várzeas drenadas mas não-sistematizadas. Mais recentemente, vem sendo utilizada, de maneira suplementar, a irrigação por aspersão, via pivô central, no cultivo do arroz em terras altas. São descritas as vantagens e as desvantagens de cada método e as situações mais adequadas para sua utilização. São discutidos, ainda, os fatores que afetam a necessidade de água da cultura, como as perdas por evapotranspiração, percolação e fluxo lateral e a quantidade de água necessária para saturar o solo e formar a lâmina de água. São abordados também aspectos relativos ao manejo de água na irrigação por inundação, tais como: épocas de início da irrigação e da drenagem final, drenagem intermediária, altura da lâmina de água, qualidade e temperatura da água.

## INTRODUÇÃO

A irrigação da cultura do arroz pode ser feita por diferentes métodos, tais como inundação, subirrigação e aspersão. No Brasil, o método mais utilizado é o de irrigação por inundação contínua, que pode ser feita com circulação da água entre os tabuleiros, geralmente no sistema de tabuleiros em contorno, ou com lâmina de água estática, mais usada no sistema de tabuleiros retangulares. A subirrigação, por elevação do nível do lençol freático, tem sido utilizada em várzeas drenadas mas não-sistematizadas. Mais recentemente, vem sendo utilizada, de maneira suplementar, a irrigação por aspersão, via pivô central, no cultivo do arroz em terras altas, para suprimir a deficiência hídrica causada pela inadequada distribuição da precipitação pluvial.

A quantidade de água necessária para o cultivo do arroz varia com o método de irrigação e depende, principalmente, das condições climáticas, dos atributos do solo, do ciclo da cultivar, da profundidade do lençol freático e do manejo do solo, da cultura e da água.

O manejo adequado da água, compreendendo a época de início e fim da irrigação, a altura da lâmina e a qualidade e temperatura da água é



de fundamental importância para o sucesso na produção do arroz irrigado por inundação e será abordado com detalhes nesse capítulo.

## MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Os métodos de irrigação da cultura do arroz variam em diferentes partes do mundo, por causa das diferenças de clima, solo, topografia, suprimento de água e costume. O método mais empregado é o de irrigação por inundação contínua ou submersão, que pode ser feita com lâmina de água estática ou corrente. Em certas situações, tem sido adotada a irrigação por inundação intermitente e a subirrigação por elevação do nível do lençol freático. A irrigação por aspersão também tem sido empregada em algumas partes do mundo. No Brasil, sua utilização na cultura do arroz é relativamente recente. Normalmente, é empregada de maneira suplementar no cultivo de arroz em terras altas.

### Inundação

A irrigação por inundação consiste, basicamente, em colocar uma lâmina de água em compartimentos formados no terreno, chamados de tabuleiros ou quadros, que são limitados por pequenos diques ou taipas. Estes tabuleiros apresentam formas e tamanhos variados. Os tabuleiros retangulares são formados por diques retilíneos, com o terreno sistematizado, de modo que apresente uma pequena declividade uniforme. Os tabuleiros em contorno são formados por um sistema de diques em curva de nível e diques retilíneos no sentido transversal, para dividir a área no tamanho apropriado.

A inundação do solo pode ser feita de maneira contínua, durante grande parte do ciclo do arroz, ou de maneira intermitente, caso em que a lâmina de água é repostada após um intervalo de tempo desde o seu desaparecimento do tabuleiro.

#### Inundação contínua

Este método de irrigação apresenta as seguintes vantagens, conforme Tsutsui (1972):

- 1) Diminuição do crescimento das plantas daninhas.
- 2) Controle da temperatura do solo, pois, devido à presença de água, que tem calor específico superior ao do solo, não haverá temperaturas extremas.
- 3) Fixação do nitrogênio atmosférico, devido às condições favoráveis para o crescimento de algas verde-azuis.



- 4) Aumento da disponibilidade dos nutrientes para planta, tais como fósforo, ferro, manganês e silício, durante as primeiras semanas de inundação.
- 5) Economia de mão-de-obra.
- 6) Aumento da fotossíntese nas folhas mais baixas, devido ao reflexo da luz na água.

A inundação contínua pode ser feita com lâmina de água estática ou corrente.

A água parada, continuamente, na lavoura, apesar de tornar-se estagnada, normalmente não é prejudicial às plantas de arroz. Entretanto, no sistema mix de pré-germinado, que consiste em utilizar sementes pré-germinadas em área com vegetação dessecada e previamente inundada, a decomposição anaeróbica da palha presente na área pode provocar a formação de substâncias tóxicas, afetando o estabelecimento das plântulas. Para esse sistema, Pinto et al. (2003) verificaram que a manutenção de uma lâmina de água estagnada sobre o solo reduziu a produtividade de arroz em relação ao manejo da água com drenagem e com fluxo de superfície.

A eficiência da irrigação com água corrente é menor que a da irrigação com lâmina de água estática, se a água não for convenientemente utilizada. Existe o perigo de os nutrientes do solo serem carregados pela corrente de água. Não há diferença em evapotranspiração e percolação para qualquer um dos sistemas.

A irrigação com água corrente é praticada em solos onde existem substâncias tóxicas, devido à pouca percolação ou má drenagem, o que torna necessário um suprimento de água contínuo e corrente. Nos trópicos, a água corrente resulta na diminuição da temperatura do solo, o que pode ser considerado um benefício. Nas regiões quentes do Japão, por exemplo, a irrigação com água corrente é adotada para baixar a temperatura do solo e, assim, diminuir os danos causados por altas temperaturas.

A melhor justificativa para utilizar a irrigação com água corrente é a economia de mão-de-obra, pois, com lâmina estática, as práticas de manejo da irrigação são um tanto trabalhosas, especialmente quando não há facilidade de acesso aos pontos de água (Tsutsui, 1972).

No Brasil, 76% das lavouras irrigadas estão localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (Levantamento Sistemático da



Produção Agrícola, 2002), onde predomina a utilização de tabuleiros em contorno, que requerem menor sistematização do solo. Geralmente é feito apenas um aplainamento, visando eliminar as irregularidades excessivas do terreno. Nesse sistema de irrigação, a água é colocada no tabuleiro mais elevado. Após ter sua lâmina estabelecida, a água passa ao tabuleiro imediatamente inferior, e assim por diante, até o último, onde, então, a água excedente esco para um dreno. Assim, tem-se um sistema contínuo de entrada e saída de água, o que caracteriza a irrigação com água corrente. Em outras partes do país, onde se utilizam tabuleiros retangulares, com derivação da água e drenagem individuais, é mais utilizada a inundação com lâmina de água estática. Nesse caso, ao contrário dos tabuleiros em contorno, pode ser utilizada a inundação intermitente. Segundo Corrêa et al. (1997), o sistema utilizado no RS caracteriza-se por elevado consumo de água e baixa eficiência. A principal razão da utilização da inundação contínua com água corrente é o controle da temperatura. Entretanto, Mota et al. (1990) ressaltam que pelo fato do clima do RS não ser tropical, pode-se utilizar a inundação contínua com lâmina de água estática, ou uma combinação desta com a inundação contínua com água corrente, de tal forma a compatibilizar uma redução no consumo com a manutenção da temperatura dentro de um intervalo aceitável.

### Inundação intermitente

A inundação intermitente é praticada, principalmente, em áreas com suprimento limitado de água. Pode ser também uma boa opção para áreas servidas por bombeamento, mas não deve ser implantada sem um prévio estudo econômico.

Produções satisfatórias de arroz são obtidas sob inundação intermitente, quando a umidade do solo é mantida perto da saturação durante o período de não-submergência. Entretanto, no Brasil, esse método é pouco adotado porque:

- 1) Requer completo sistema de irrigação e drenagem, envolvendo altos custos.
- 2) Requer práticas de manejo de água desconhecidas por aqueles que normalmente utilizam inundação contínua.
- 3) Requer controle mais eficiente de plantas daninhas, pois algumas dessas plantas crescem mais facilmente sob este método de irrigação.



A maior contribuição da inundação intermitente, para o uso econômico da água, é a diminuição das perdas por escoamento superficial (melhor aproveitamento da precipitação) e por percolação, que são maiores nas lavouras inundadas. O sucesso da inundação intermitente, sob o ponto de vista da relação água-solo-planta, está condicionado à manutenção do teor adequado de água no solo durante o período de não-submergência. Vários estudos indicam que a produtividade do arroz decresce quando a umidade do solo é menor que 70 a 80% da saturação. Quando a umidade se torna inferior a 50% da "capacidade de campo", a produtividade do arroz cai para a metade ou até um terço do obtido sob condições de saturação. Quando esse valor é inferior a 30%, as folhas começam a murchar e enrolam-se, podendo até morrer, se a umidade permanecer em 20% ou menos (Tsutsui, 1972).

Um fator importante a ser considerado na irrigação intermitente é o conhecimento das fases de desenvolvimento da cultura em relação à tolerância da planta à falta de água, ou seja, daqueles períodos em que o suprimento de água é uma necessidade absoluta.

A falta de água na floração incrementa o número de espiguetas vazias e, no período de maturação, afeta a massa dos grãos. O arroz é mais sensível à seca no período de 15 a 25 dias antes da floração (Hernandez, 1969). Concordando com isso, Daker (1973) afirma que a deficiência de água no período de 15 a 20 dias antes da floração, até 20 a 25 dias após, resultará em desenvolvimento incompleto das características da planta que determinam a produtividade. Por outro lado, a retirada da água durante o período de perfilhamento pode trazer vantagens à produtividade, estimulando o sistema radicular a se aprofundar em virtude da maior umidade nas camadas mais profundas do solo, aumentando o seu acesso aos elementos fertilizantes, reduzindo o acamamento, pois o colmo fica com mais resistência e com menor crescimento, melhorando o perfilhamento e as condições de aeração do solo. Em experimentos conduzidos em Goiânia, GO, Stone et al. (1979b) observaram que, no período compreendido entre a diferenciação do primórdio floral e a floração, a supressão de água diminuiu o número de panículas por  $m^2$  e mostrou tendência em reduzir a massa dos grãos, reduzindo a produtividade. Porém, no período compreendido entre o início do perfilhamento e a diferenciação do primórdio floral, a supressão de água incrementou o número de panículas por  $m^2$ , aumentando a produtividade (Tabela 17.1).



**Tabela 17.1.** Produtividade de arroz e seus componentes conforme a supressão da irrigação, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Período de supressão da irrigação <sup>(1)</sup>	Panicula (nº m <sup>-2</sup> )	Grão (nº panícula <sup>-1</sup> )	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
P1	293ab <sup>(2)</sup>	106	2,91	4.373ab
P2	277ab	92	2,87	4.230ab
P3	323a	93	2,89	4.475a
P4	260b	100	2,77	3.731b
P5	264b	99	2,85	4.131ab
P6	283ab	102	2,87	4.506a

<sup>(1)</sup>P1 = irrigação contínua; P2 = supressão da irrigação da germinação ao início do perfilhamento; P3 = supressão do início do perfilhamento à diferenciação do primórdio floral; P4 = supressão da diferenciação do primórdio floral ao início da floração; P5 = supressão do início da floração à fase leitosa; P6 = supressão da fase leitosa à maturação completa.

<sup>(2)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1979b).

## Subirrigação

A subirrigação, pela elevação do nível do lençol freático, vem sendo usada no Brasil, em várzeas não-sistematizadas. O solo, normalmente, permanece saturado durante grande parte do ciclo da cultura. Nesse método, embora o consumo de água seja menor que no de inundação contínua, as plantas daninhas são um grande problema. Segundo Barbosa Filho et al. (1983), a subirrigação pode minimizar os problemas de toxicidade de ferro, pois a absorção desse elemento pelas plantas é menor com saturação que com inundação contínua (Alva, 1981; Verma & Tripathi, 1981; Stone et al., 1990). Moraes (1980) observou que, no entanto, a produtividade do arroz foi maior com lâmina de água de 5 cm de altura que com o lençol freático a 30 cm ou mais de profundidade. De fato, diversos pesquisadores têm verificado menor produtividade do arroz com saturação do solo que com inundação contínua (Jha et al., 1978; Alva, 1981; Panda et al., 1981).

## Aspersão

No Brasil, cerca de 30% da produção de arroz é originária do ecossistema terras altas (Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2002). Grande parte dessas lavouras está localizada na região dos Cerrados,





cujos solos, em geral, apresentam baixa capacidade de armazenamento de água. Durante a estação chuvosa, quando é feito o cultivo do arroz, a distribuição das chuvas é irregular, sendo comum a ocorrência de estiagens de duas a três semanas, denominadas regionalmente “veranicos”. A baixa capacidade de retenção de água dos solos, aliada à alta demanda evapotranspirativa da atmosfera durante esses períodos, faz com que os veranicos causem sérios decréscimos na produtividade do arroz, provocando oscilações na produção nacional. Uma das alternativas para solucionar esse problema é a irrigação suplementar, utilizando o equipamento para irrigar outros cultivos na entressafra.

A irrigação por aspersão é indicada para solos de alta permeabilidade e de baixa capacidade de retenção de água, como a maioria dos solos dos Cerrados. Esses solos requerem irrigações freqüentes, com menor quantidade de água por aplicação, o que é mais fácil de ser conseguido com irrigação por aspersão do que por superfície.

Um aspecto importante a ser considerado na irrigação por aspersão é o intervalo entre as irrigações. Existem trabalhos estabelecendo a freqüência de irrigação com base no consumo de uma determinada fração da água disponível do solo (AD). Giudice et al. (1974) verificaram que o arroz deve ser irrigado quando forem consumidos 40% da AD na camada de 0-20 cm. Coelho et al. (1977), ao irrigarem o arroz quando eram consumidos 30, 50 ou 70% da AD, observaram que a maior produtividade foi obtida quando a irrigação foi feita para repor 30% da AD. Entretanto, como a curva de retenção de água tem formas distintas para os diferentes solos, uma dada porcentagem de AD pode corresponder a diferentes tensões de água do solo. Conseqüentemente, os resultados expressos em porcentagem de água disponível só podem ser considerados em solos com características semelhantes. Se, por outro lado, forem expressos em tensão de água do solo, podem ser mais facilmente aplicados em outro tipo de solo. Isto ocorre porque, em solos não-salinos, a tensão matricial é o fator da água do solo que mais influencia o crescimento das plantas. Westcott & Vines (1986), estudando a irrigação por aspersão para o arroz, mantiveram a tensão de água do solo abaixo de 30 kPa.

Stone et al. (1986), em trabalho conduzido em Goiânia, GO, concluíram que, aliando-se produtividade e economicidade, a irrigação do arroz por aspersão deve ser conduzida de maneira que a tensão de água do solo, medida a 15 cm de profundidade, não ultrapasse o valor de 25 kPa. Para o solo da área experimental, irrigar a esta tensão corresponde a irrigar quando forem consumidos aproximadamente 35%



da água disponível. Manzan (1984), em trabalho conduzido em Uberaba, MG, observou aumentos de até 70% na produtividade do arroz irrigado por aspersão, de maneira suplementar, em comparação com testemunha sem irrigação, e indicou, para condições semelhantes às estudadas, um turno de rega de aproximadamente cinco dias. Crusciol et al. (2003), em Selvíria (MS), registraram aumentos de produtividade do arroz de até 93%, pelo uso da irrigação suplementar por aspersão. Além de contribuir para o aumento da produtividade do arroz, a irrigação suplementar propicia aumento no rendimento industrial e de grãos inteiros, principalmente em ano de ocorrência de veranico (Arf et al., 2002).

## COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Os métodos de irrigação para a cultura do arroz têm sido comparados por vários pesquisadores. A irrigação por inundação contínua normalmente propicia maior produtividade (Wells & Shockley, 1978; Navarez et al., 1979; Sharma & Rajat, 1979; Iruthayaraj, 1981; Sahrawat, 1981). Não obstante, produtividades similares têm sido observadas com inundação contínua e intermitente (Subramanian et al., 1978; Sandhu et al., 1980; Jha et al., 1981). Medeiros (1995) verificou que a inundação contínua, iniciada aos 18 ou 36 dias após a germinação, resultou, respectivamente, em produtividades cerca de 40 e 26% maiores que a manutenção do solo saturado durante todo o ciclo da cultura.

Os efeitos dos métodos de irrigação sobre a produtividade e seus componentes foram observados por Stone et al. (1990). O número de panículas por m<sup>2</sup> foi menor sob inundação contínua (Tabela 17.2). A presença de lâmina de água contínua durante a fase vegetativa inibiu o perfilhamento, o que concorda com Yamada (1964), Stone et al. (1979b) e Santos et al. (1999). Por sua vez, o número de grãos por panícula, obtido sob inundação contínua durante todo o ciclo, foi significativamente superior aos valores obtidos com inundação intermitente ou subirrigação, mas não diferiu do observado sob inundação contínua apenas na fase reprodutiva. A massa de cem grãos também apresentou tendência a ser maior sob inundação contínua durante todo o ciclo, ou parte dele, apesar de diferir, significativamente, apenas em relação à subirrigação. Esses resultados evidenciam a importância da presença da lâmina de água na fase reprodutiva do arroz para a maximização desses componentes da produtividade, conforme foi verificado por Stone et al. (1979b). A produtividade de grãos verificada



sob inundação intermitente na fase vegetativa, seguida de inundação contínua na fase reprodutiva, foi superior às obtidas com inundação intermitente ou subirrigação e não diferiu, significativamente, da obtida sob inundação contínua durante todo o ciclo. A lâmina de água intermitente durante a fase vegetativa, por favorecer o perfilhamento, contribuiu para a obtenção de elevado número de panículas por m<sup>2</sup>, e a lâmina de água contínua durante a fase reprodutiva contribuiu para a obtenção de maior número de grãos por panícula e massa dos grãos, explicando a maior produtividade observada neste tratamento. Panda et al. (1980) também obtiveram maiores produtividades quando combinaram saturação durante a fase vegetativa com inundação contínua durante a fase reprodutiva. Santos et al. (1999), por sua vez, verificaram que a inundação contínua durante todo o ciclo aumentou a produtividade e melhorou a qualidade industrial dos grãos de arroz, em comparação à combinação de inundação intermitente na fase vegetativa e contínua nas fases reprodutiva e de maturação.

**Tabela 17.2.** Produtividade do arroz e seus componentes sob diferentes manejos de água.

Manejo de água <sup>(1)</sup>	Panicula (nº m <sup>-2</sup> )	Grão (nº panícula <sup>-1</sup> )	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
M1	488,8c <sup>(2)</sup>	82,9a	2,75a	5.132ab
M2	543,1b	69,9bc	2,69ab	4.566bc
M3	550,8ab	76,8ab	2,75a	5.515a
M4	597,6a	62,0c	2,60b	3.989c

<sup>(1)</sup>M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

<sup>(2)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).

Ao compararem, por dois anos, inundação contínua com irrigação por aspersão, mantendo o potencial matricial da água do solo acima de -30 kPa, Westcott & Vines (1986) verificaram que as produtividades obtidas com aspersão corresponderam a 62 - 75% das obtidas com inundação, devido principalmente à redução do número de grãos por panícula. Resultado semelhante foi obtido por McCauley (1990) que, ao comparar inundação contínua com irrigação por aspersão, para repor 100% da evapotranspiração máxima da cultura, verificou que a produtividade do arroz sob aspersão foi 80% inferior à obtida com inundação contínua.

A inundação contínua propicia maior controle de plantas daninhas que a intermitente (Tsutsui, 1972; Navarez et al., 1979; Iruthayaraj, 1981).



Apesar da ausência de significância estatística, Stone et al. (1990) observaram a tendência de maior controle de plantas daninhas na presença de lâmina de água contínua durante todo o ciclo da cultura ou parte dele (Tabela 17.3).

**Tabela 17.3.** Número e produção de matéria seca de plantas daninhas aos 60 dias após a emergência do arroz (60 DAE) e na época da colheita, em diferentes manejos de água.

Manejo de água <sup>(1)</sup>	Plantas daninhas (nº m <sup>-2</sup> )		Produção de matéria seca (g m <sup>-2</sup> )	
	60 DAE	Colheita	Colheita	
M1	4,9a <sup>(2)</sup>	4,8b	3,3a	
M2	16,6a	11,2ab	20,9a	
M3	10,8a	3,8b	8,3a	
M4	21,7a	29,0a	35,8a	

<sup>(1)</sup>M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

<sup>(2)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).

A inundação contínua também propicia melhor controle da temperatura do solo e maior facilidade no manejo da água (Tsutsui, 1972) em comparação com a inundação intermitente. Esta, por sua vez, exige menor volume de água (Subramanian et al., 1978; Sandhu et al., 1980).

Vários autores também têm verificado maior eficiência do uso da água com inundação intermitente em relação à contínua (Mishra et al., 1990; Wahab & Daniel, 1992; Mastan & Vijaykumar, 1993). Essa eficiência, contudo, está condicionada ao intervalo de tempo entre o desaparecimento da lâmina de água do tabuleiro e a sua reposição. Mastan & Vijaykumar (1993), ao reporem a lâmina de água dois dias após seu desaparecimento, obtiveram produtividades semelhantes às obtidas com inundação contínua, com economia de água da ordem de 39%. Entretanto, a reposição da lâmina após cinco dias provocou queda de 38% na produtividade. Mishra et al. (1990) recomendaram, para solos com lençol freático superficial, a reposição da lâmina de água três a cinco dias após seu desaparecimento e, para solos com lençol freático a uma profundidade média, após um a três dias. Por sua vez, Sachet (1981) observou, no RS, que a inundação contínua com lâmina de água estática propiciou produtividade semelhante à obtida com água corrente, com uma economia de água de 51%. Com relação à manutenção do solo saturado, a economia de água foi de 64%, mas a produtividade foi 11% menor.

Mais recentemente, Medeiros et al. (1995), em Boa Vista (RR), comparando inundação contínua, inundação intermitente, saturação do



solo e combinações desses sistemas, não verificaram diferenças significativas entre eles com relação à produtividade do arroz. O sistema mais eficiente, com menor custo de bombeamento, foi a inundação intermitente durante todo o ciclo do arroz, com umidade no solo equivalente a potenciais matriciais entre -20 e -40 kPa e turno médio de rega de quatro dias.

Stone et al. (1990) também observaram, em Goianira, GO, que o consumo de água foi maior sob inundação contínua, em que a carga hidráulica era maior e persistiu por mais tempo (Tabela 17.4). O tratamento em que ocorreu inundação contínua durante um período do ciclo da cultura apresentou o segundo maior consumo de água. O menor consumo foi verificado com inundação intermitente. O elevado consumo de água, constatado sob inundação contínua, foi devido às altas perdas por percolação e fluxo lateral, por causa do elevado teor de areia do solo, ao redor de 50%. A elevada percolação pode acarretar lixiviação de nutrientes (Fig. 17.1). O aumento do teor de potássio em profundidade mostra que a lixiviação do nutriente foi grande. Nos tratamentos com subirrigação e irrigação intermitente, houve aumento maior do teor de potássio na camada de 25 - 40 cm, enquanto nos tratamentos com inundação contínua a lixiviação deve ter ultrapassado a camada amostrada, pois não se observou uma zona de concentração do nutriente.

O elevado consumo de água em solos com alto teor de areia também foi observado por Caixeta (1984), em experimento conduzido em Janaúba, MG, cujos dados são apresentados na Tabela 17.5. Verifica-se que, apesar da maior produtividade obtida com inundação contínua, o consumo de água foi extremamente elevado, o que inviabilizou esse método de irrigação para as condições locais. Como resultado desse experimento, foi adotado, para aquelas condições, o método de inundação intermitente com turno de rega de três dias.

**Tabela 17.4.** Consumo de água e perdas por percolação e fluxo lateral em diferentes manejos de água.

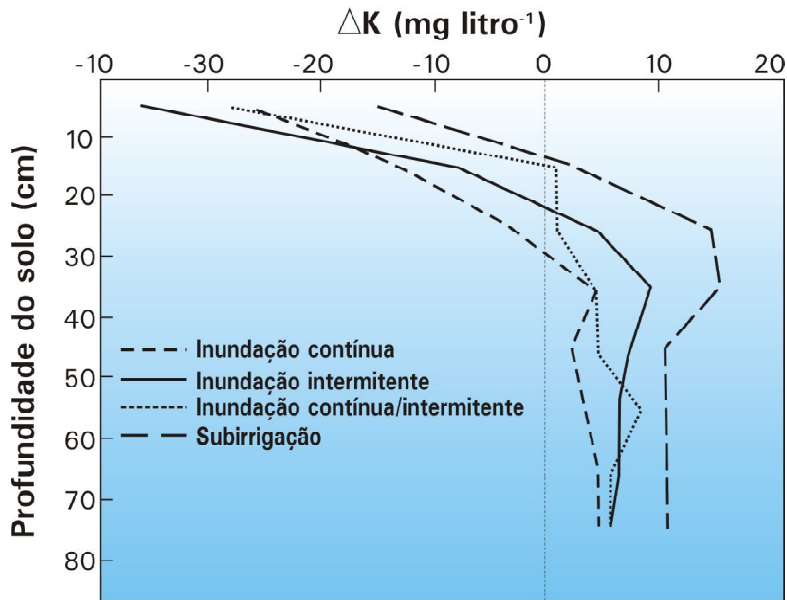
Manejo de água <sup>(1)</sup>	Consumo de água		Percolação e fluxo lateral (mm dia <sup>-1</sup> )
	(mm)	(L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	
M1	7.954a <sup>(2)</sup>	7,4a	58,3a
M2	2.325d	2,1d	13,0d
M3	5.314b	4,9b	37,2b
M4	3.846c	3,5c	25,4c

<sup>(1)</sup>M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

<sup>(2)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).





**Fig. 17.1.** Variação do teor de potássio no solo (DK), após quatro anos de cultivo de arroz, sob diferentes manejos de água.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).

**Tabela 17.5.** Comparação entre métodos de irrigação para a cultura do arroz, 1982/83, Janaúba, MG.

Métodos de Irrigação	Tempo de rega (dia)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Consumo de água (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Sulco	3	4.777c <sup>(1)</sup>	40.500
Sulco	6	4.252c	24.300
Inundação contínua	-	9.006a	144.000
Inundação intermitente	3	6.144b	31.292
Inundação intermitente	6	4.930bc	19.257

<sup>(1)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Caixeta (1984).

Apesar de haver maior economia de água, quando se usa a irrigação por inundação intermitente ocorrem grandes perdas de nitrogênio, atribuídas à nitrificação e desnitrificação (Wells & Shockley, 1978, Sahrawat, 1981). Entretanto, Panda et al. (1979) observaram que



ocorreram maiores perdas de  $\text{N-NO}_3$  por lixiviação em parcelas inundadas que em parcelas saturadas, em decorrência da elevada quantidade de água perdida por percolação.

A absorção de ferro pelas plantas de arroz também é afetada pelos métodos de irrigação. Stone et al. (1990) verificaram que a absorção desse nutriente foi menor no tratamento com subirrigação, onde não havia condições favoráveis à maior redução do solo (Tabela 17.6). Em condições reduzidas, ocorre a transformação do  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ , que é mais solúvel, aumentando a concentração de ferro na solução do solo, com conseqüente aumento na sua absorção. A maior absorção de Fe pelo arroz em condições de inundação tem sido relatada por diversos pesquisadores (Pande & Mittra, 1970; Verma & Tripathi, 1981; Barbosa Filho et al., 1983; Kakade & Sonar, 1983). A manutenção do solo úmido, porém arejado, poderia reduzir a toxicidade de Fe em solos que apresentem esse problema para a cultura do arroz, como observaram Barbosa Filho et al. (1983). Esses autores, comparando amostras de solo coletadas em Muriaé e Leopoldina, municípios localizados na Zona da Mata de Minas Gerais, onde os solos apresentam, freqüentemente, problemas de toxicidade de Fe, verificaram comportamento bem diverso entre os dois solos. No solo de Muriaé, com grave problema de toxicidade de Fe, a produtividade de grãos foi maior no tratamento em que o solo foi mantido úmido (Fig. 17.2), devido à menor concentração de Fe na parte aérea das plantas. No solo de Leopoldina, com menores problemas de toxicidade de Fe, ocorreu o contrário, e a produtividade de grãos apresentou uma tendência a ser menor no referido tratamento. Esses resultados concordam com o observado por Pande & Mittra (1970), Cheaney (1973) e Duarte et al. (1974), que relatam que a produtividade do arroz é menor em solos não-saturados que em solos submersos. Lins et al. (1982), ao compararem diferentes manejos de água e o uso da calagem com relação à prevenção da toxicidade de Fe, concluíram que a calagem só foi benéfica quando o solo foi mantido a 80% da capacidade de campo durante todo o experimento. A inundação do solo a partir da quarta ou sexta semana após a semeadura propiciou melhores condições para o desenvolvimento do arroz que a inundação levada a efeito duas, quatro ou seis semanas antes da semeadura, na semeadura, ou duas semanas após.

Na Tabela 17.7, é apresentado um resumo das principais características de diferentes sistemas de irrigação por inundação.



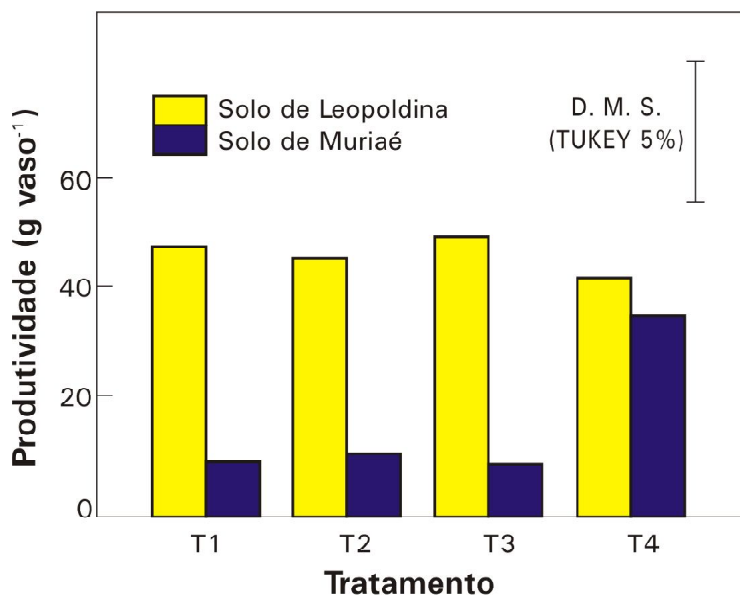
**Tabela 17.6.** Teores e quantidades de ferro absorvidas pelas plantas de arroz, sob diferentes manejos de água.

Manejo de água <sup>(1)</sup>	Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Quantidade de Fe absorvida (kg ha <sup>-1</sup> )
M1	342a <sup>(2)</sup>	3,5b
M2	330a	3,7ab
M3	378a	4,9a
M4	166b	1,6c

<sup>(1)</sup>M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

<sup>(2)</sup>Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).



T1 = Inundação seis semanas antes do transplântio  
T2 = Inundação e transplântio imediato  
T3 = Inundação duas semanas antes do transplântio + 2t ha<sup>-1</sup> de calcário  
T4 = Sem inundação, mas úmido e aeróbico

**Fig. 17.2.** Influência de diferentes tratamentos de manejo de água sobre a produtividade do arroz, em dois solos de Minas Gerais.

Fonte: Adaptada de Barbosa Filho et al. (1983).







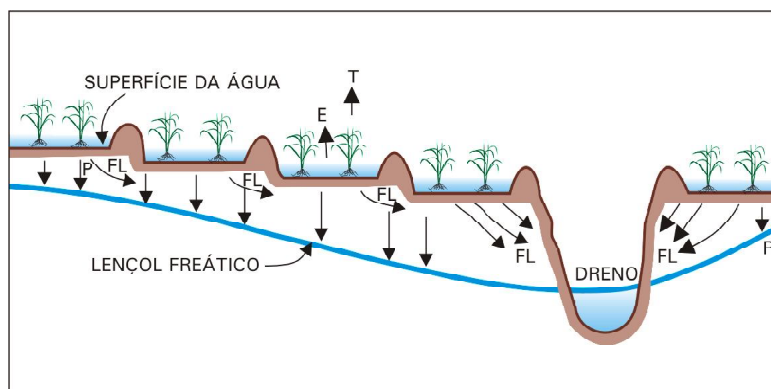
**Tabela 17.7.** Comparação entre diversos sistemas de irrigação por inundação da cultura de arroz.

Sistema	Potencial de produção	Crescimento da planta	Requerimento de água	Manejo de água	Controle de plantas daninhas	Temperatura da água
Inundação contínua, estática, com lâmina baixa (2,5 cm)	Ótimo	Plantas mais baixas, mais perfílios	Moderado (ótimo) 600-900 mm ET <sup>(1)</sup> = 400-600 mm	Mínimo a moderado	Algum controle de gramíneas, ciperáceas e folhas largas	Altas flutuações diárias
Inundação contínua, estática, com lâmina alta (15 cm)	Ótimo ou menor	Plantas mais altas, menos perfílios, suscetibilidade ao acamamento	Moderado a alto 700-1.000 mm	Mínimo a moderado	Controle efetivo de gramíneas e ciperáceas, algum controle de folhas largas	Pouca flutuação diária
Inundação contínua, corrente	Ótimo	Comparável à estática na mesma profundidade	Alto a muito alto (P <sup>(1)</sup> , FL <sup>(1)</sup> e ET similares à estática)	Mínimo	Depende da lâmina mantida	Mais fria que a estática, pouca flutuação diária

<sup>(1)</sup> ET = evapotranspiração; P = percolação; e FL = fluxo lateral.

## NECESSIDADE DE ÁGUA NA IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO

A quantidade de água realmente requerida pela cultura do arroz irrigado por inundação é aquela usada pelas plantas para crescer e transpirar. Entretanto, uma certa quantidade adicional é perdida como evaporação da superfície solo-água e por percolação e fluxo lateral (Fig. 17.3). Essas perdas podem ser minimizadas pelo manejo cuidadoso da irrigação, mas, como não podem ser eliminadas, são tratadas como requerimento. Além disso, na implantação da irrigação, deve-se considerar a quantidade de água necessária para saturar o solo e formar a lâmina de água.



**Fig. 17.3.** Perfil de uma lavoura de arroz mostrando, de maneira esquemática, a evaporação (E), a transpiração (T), a percolação (P) e o fluxo lateral (FL).

### Evapotranspiração

A evapotranspiração é o movimento ascendente da água do solo para a atmosfera, através da transpiração da superfície das plantas e da evaporação da superfície solo-água. Esses dois componentes são, geralmente, estudados juntos devido à dificuldade experimental em determiná-los separadamente, porque somente o efeito combinado de ambos é importante no manejo da irrigação e, também, porque a radiação solar comanda os dois.

Dados de vários experimentos conduzidos no Instituto Internacional de Pesquisa de Arroz (IRRI), nas Filipinas, mostram claramente que a evapotranspiração do arroz irrigado por inundação depende da demanda evaporativa da atmosfera e é independente da



fase de desenvolvimento da cultura (Wickham & Sen, 1978). Assim, de acordo com Wickham & Sen (1978), a taxa de evapotranspiração está relacionada com temperatura e umidade do ar, movimento do vento e intensidade e duração da luz solar, e não com número e tamanho das folhas. Ainda segundo estes autores, no início do ciclo da cultura, a evapotranspiração é, na sua maior parte, composta de evaporação da superfície da água, mas, à medida que a cultura cresce e sombreia a água, a evaporação decresce e aumenta a transpiração do dossel. A energia atmosférica comanda ambos os componentes da evapotranspiração. Assim, a relação evapotranspiração/evaporação da água é altamente estável e próxima de um. De fato, Steinmetz (1984) verificou que, para a cultivar IAC 899, plantada na estação chuvosa, em Goianira, GO, essa relação variou, ao longo do ciclo da cultura, entre 1,02 e 1,17 (Tabela 17.8). Na Índia, ao longo do ciclo do arroz, a variação foi de 0,76 a 1,06 (Joseph & Havanagi, 1988). Khandelwal (1991) verificou que, para uma evaporação semanal do tanque entre 25 e 31 mm, a evapotranspiração semanal do arroz em um lisímetro variou de 29 a 39 mm. O fato de a relação evapotranspiração/evaporação da água ser próxima de um significa que a evapotranspiração é limitada pela energia disponível e que, sob condições de campo, a evapotranspiração de um dossel, que é tridimensional, é praticamente igual à evaporação de uma superfície de água, que é plana.

**Tabela 17.8.** Relação entre a evapotranspiração (ET) da cultivar de arroz IAC 899 e a evaporação da água em um tanque Classe A (ECA), durante a estação chuvosa, em Goianira, GO.

Fase de desenvolvimento	Relação ET/ECA
Início do perfilhamento – diferenciação do primórdio floral	1,02
Diferenciação do primórdio floral – floração (50%)	1,17
Floração (50%) – fase leitosa	1,14
Fase leitosa – corte da irrigação	1,02

Fonte: Adaptada de Steinmetz (1984).

Na literatura mundial existem vários trabalhos sobre determinação das taxas de evapotranspiração do arroz. Os resultados são variáveis conforme o local e a época do ano, entre outros fatores. Em Goianira, GO, a evapotranspiração diária variou de 4,3 a 6,6 mm durante a estação seca, e de 4,3 a 8,4 mm na estação chuvosa (Steinmetz, 1984). Para o Rio Grande do Sul, Mota et al. (1990) verificaram que a evapotranspiração diária variou de 6,8 a 8,7 mm durante o período compreendido entre 30 dias após a emergência e dez dias após a floração do arroz. De acordo



com Ilangoan et al. (1991), dependendo da fase da cultura e da estação do ano, a evapotranspiração do arroz variou de 4,2 a 7,5 mm por dia. Em pequenas lavouras irrigadas, a evapotranspiração deve ser maior, por causa da energia advectiva trazida até elas por ventos provenientes de áreas não-irrigadas.

### **Percolação e fluxo lateral**

A percolação é o movimento vertical da água além da zona radicular, em direção ao lençol freático. O fluxo lateral é o movimento lateral da água subsuperficial. Na prática, os dois são difíceis de separar, devido aos fluxos de transição, que não podem ser classificados claramente como percolação ou fluxo lateral. O destino final da água percolada é o lençol freático, enquanto o da água proveniente do fluxo lateral é, geralmente, um riacho ou um rio.

Em áreas relativamente planas, com poucos drenos, ou onde o nível de água nos drenos está próximo da superfície do solo, o fluxo lateral é limitado ao movimento de água através dos tabuleiros de arroz, em resposta ao gradiente de carga hidráulica entre cada lado do tabuleiro.

Embora a taxa de fluxo lateral possa ser alta para um tabuleiro individual, as perdas por fluxo lateral da maioria dos tabuleiros são compensadas pelo fluxo lateral que vem dos tabuleiros mais altos. As perdas líquidas ocorrem somente para o último tabuleiro da lavoura, que está, geralmente, localizado ao longo de um dreno ou de uma área não-plantada, que age como dreno para o sistema inteiro.

De acordo com Johnson (1972), é possível estimar as perdas por fluxo lateral em dez a 40 litros por hora e por metro de perímetro. Wickham & Singh (1978) relataram que, no Sudeste da Ásia, essas perdas se situaram, em média, entre 15 e 20 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>. No Brasil, em Santa Catarina, Eberhardt (1993) mediu perdas por fluxo lateral da ordem de 19% do consumo total. As perdas por unidade de superfície dependem da relação existente entre a área da lavoura e o seu perímetro. Quanto maior for o perímetro em relação à área, maiores serão as perdas por fluxo lateral. Esta é a razão pela qual as lavouras pequenas apresentam essa perda em maior proporção que as áreas mais extensas. Em áreas com muitos drenos, a perda por fluxo lateral é maior que em áreas com pouca densidade de drenagem, pois o fluxo lateral é recolhido nos drenos.

Painuli (1992) observou que a influência dos drenos na percolação e no fluxo lateral é reduzida a partir de 10 m de distância. A 4 m do



dreno, os valores de percolação e de fluxo lateral foram cerca de 2,6 e 5,1 vezes maiores que a 10 e 16 m do dreno, respectivamente. Segundo esse pesquisador, para maximizar a economia de água, as lavouras deveriam situar-se a 21 m dos drenos.

Em um tabuleiro de arroz, as perdas por percolação e fluxo lateral são, geralmente, governadas pela condutividade hidráulica do solo (Kalita et al., 1992). A habilidade de um solo em transmitir água está relacionada com sua estrutura, textura e interfaces entre horizontes, incluindo possíveis *hardpans*. As perdas por percolação são quase iguais aos valores da condutividade hidráulica saturada. Estas perdas geralmente aumentam com o incremento da profundidade do lençol freático. Em muitos casos, a percolação aumenta o volume da água subterrânea em velocidade maior que aquela em que ela pode ser transmitida, causando elevação no nível do lençol freático. Quando o lençol freático fica próximo da zona radicular, há marcante decréscimo na percolação. Muitas vezes, a percolação produz um lençol freático artificial acima do verdadeiro. O fluxo lateral também aumenta com o incremento da profundidade do lençol freático, mas as perdas são relativamente menores, em comparação com as perdas por percolação. Ambas as perdas aumentam com o incremento da lâmina de água. O fluxo lateral através dos diques diminui quando as perdas de água por evaporação aumentam.

Bouman et al. (1994) verificaram que perdas por percolação, em lavouras com subsolo com condutividade hidráulica saturada relativamente lenta ( $K_0$  subsolo  $< 10 - 2 \text{ cm dia}^{-1}$ ), eram limitadas pela soleira da camada arável pobremente permeável ( $K_0$  superfície  $< 10 - 2 \text{ cm dia}^{-1}$ ), ou pela baixa condutividade hidráulica do subsolo por si mesma. Nestas condições, as perdas por percolação variaram de 0 a  $0,5 \text{ cm dia}^{-1}$  e de  $1,0$  a  $1,5 \text{ cm dia}^{-1}$ , respectivamente, e dificilmente foram afetadas pela profundidade do lençol freático, altura da lâmina de água e conteúdo de água subsuperficial. Em lavouras com permeabilidade do subsolo relativamente alta ( $K_0$  subsolo  $> 101 \text{ cm dia}^{-1}$ ), as perdas por percolação podem variar de  $0 - 0,5 \text{ cm dia}^{-1}$ , quando a soleira da camada arável é pobremente permeável, a  $1 - 5 \text{ cm dia}^{-1}$  ou mais, para uma soleira relativamente permeável ( $K_0$  superfície  $> 10 - 2 \text{ cm dia}^{-1}$ ). Somente neste último caso, as taxas de percolação são grandemente afetadas pela altura da lâmina de água.

Ilangoan et al. (1991) verificaram que, dependendo da época do ano, as perdas por percolação variaram de 30 a 38% do total de água aplicado à lavoura. Sachet (1977), no Rio Grande do Sul, também encontrou perdas por percolação da ordem de 30% do consumo total



de água. Para Chakrabarti et al. (1991), essas perdas foram iguais a 15%, enquanto as por fluxo lateral variaram de 17 a 19%. Wopereis et al. (1994) observaram, nas Filipinas, perda de água por percolação igual a 4 mm dia<sup>-1</sup>. Somado às perdas por fluxo lateral, esse valor aumentou para 36,2 mm dia<sup>-1</sup>. Em Goianira, GO, Stone et al. (1980) verificaram perdas por percolação variando de 14,9 a 27,7 mm dia<sup>-1</sup>, ao longo do ciclo do arroz, em um solo franco com grande quantidade de drenos.

Vários experimentos têm mostrado que a taxa ótima de percolação situa-se entre 15 e 25 mm dia<sup>-1</sup>, permitindo a lixiviação de substâncias tóxicas (Determination..., 1970). Na China e no Japão é recomendada a taxa de 10 mm dia<sup>-1</sup>, mas estudos realizados nos trópicos não mostram qualquer benefício dessas taxas altas (Wickham & Singh, 1978). Mesmo onde o acúmulo de elementos tóxicos é um problema, é melhor uma baixa taxa de percolação, porém deve-se deixar o solo secar ocasionalmente, para aliviar os efeitos tóxicos desses elementos. Segundo Wickham & Singh (1978), solos com condições favoráveis ao cultivo de arroz irrigado por inundação devem apresentar de 1 a 2 mm dia<sup>-1</sup> de perdas por percolação e fluxo lateral. Solos em que essas perdas excedam a 10 mm dia<sup>-1</sup> têm sua aptidão para a produção de arroz questionada, especialmente na estação seca.

A percolação, em grande escala, diminui a temperatura da água e do solo, o que pode reduzir a produtividade do arroz. Esse problema é extremamente delicado, principalmente nas zonas temperadas e frias. A percolação excessiva também aumenta a lixiviação de nutrientes. Huang (1982) observou correlação significativa e negativa entre a taxa de percolação e a produtividade do arroz. O problema mais importante é o desperdício da água, porque é essencial que as perdas sejam diminuídas, a fim de se conseguir maior eficiência de irrigação (Tsutsui, 1973).

De acordo com Sivanappan et al. (1974), as perdas por percolação são extremamente altas no estágio inicial da cultura, alcançam um mínimo durante o estágio de máximo perfilhamento e, subsequente, não apresentam nenhum aumento significativo. A razão da queda na percolação decorre, provavelmente, do estabelecimento das partículas perturbadas do solo que selam os macroporos.

Existem muitos aspectos do solo que influenciam as taxas de percolação e o fluxo lateral. Eles incluem propriedades do solo, tais como



textura, contração e fendimento, densidade, mineralogia e matéria orgânica, como também fatores de manejo, como inundação, altura da lâmina de água e preparo do solo com água. Embora haja considerável interação e sobreposição nos efeitos de muitos desses fatores, considerar-se-á cada um isoladamente.

**Textura** - A textura do solo tem grande influência na magnitude das perdas por percolação e fluxo lateral (Tabela 17.9). A percolação é o principal componente das perdas de água em solos arenosos, e o fluxo lateral domina em solos franco-argilosos e argilosos.

**Tabela 17.9.** Magnitude das perdas de água por percolação e fluxo lateral, conforme a textura do solo.

Textura do solo	Perda de água <sup>(1)</sup> (mm dia <sup>-1</sup> )	
	Fonte: Kung et al. (1965)	Fonte: Nakagawa (1976)
Argilosa	13	10
Franco-argilosa	15	14
Franca	-	17
Franco-arenosa	-	23
Arenosa	27	27

<sup>(1)</sup>Por percolação e fluxo lateral, incluindo a evapotranspiração.

**Contração e Fendimento** - Certos solos, ao secarem, apresentam fendimento e, quando são inundados, ocorrem altas taxas de percolação. Este fendimento só é eliminado através de preparo do solo. Assim, fendas que se desenvolvem após a cultura ter sido plantada geralmente não desaparecem, porque as linhas de clivagem permanecem intactas. Bandopadhya & Sahoo (1972) constataram que, após a ocorrência de fendimento, as perdas por percolação foram duas vezes maiores que as observadas em solos continuamente submersos. Reyes & Wickham (1973) verificaram perdas de 1,3 mm dia<sup>-1</sup>, antes da secagem do solo, e de 15,7 mm dia<sup>-1</sup>, após a secagem.

**Densidade** - O aumento da densidade do solo reduz as perdas por percolação. Pande (1976) verificou que um aumento na densidade do solo de 1,46 para 1,68 Mg m<sup>-3</sup> diminuiu a percolação de 110 para 14 mm dia<sup>-1</sup> e reduziu a condutividade hidráulica de 2,05 para 0,16 cm h<sup>-1</sup>, em solos lateríticos franco-argilo-arenosos. O efeito é geralmente explicado pela redução do volume de macroporos. Desta maneira, pode-se concluir que a compactação moderada do solo pode reduzir as perdas por percolação e fluxo lateral. De fato, Acharya & Sood (1992) verificaram, em



solo franco-argilo-siltoso, que a compactação reduziu em 83% o volume de poros de transmissão, diminuindo as perdas por percolação em 30%.

**Mineralogia** - A percolação e o fluxo lateral são grandemente afetados pelo tipo de argila presente no solo. Solos com argila caulinita, que se embebem relativamente pouco e, portanto, quase não mudam sua coesão interagregados após a inundação, são difíceis de dispersar inteiramente no preparo do solo com água e permitem perdas por percolação e fluxo lateral mais altas que solos com argila montmorilonita. Quando úmida, esta argila exibe substancial embebição intercamadas, que tende a decrescer a coesão interagregados. Além disso, o tipo e a concentração de íons na solução afetam a capacidade de as argilas montmoriloníticas serem dispersas, quando do preparo do solo com água. Argilas saturadas com íons monovalentes são de mais fácil dispersão do que as saturadas com íons bivalentes.

**Matéria orgânica** - A adição de matéria orgânica ao solo melhora a sua estrutura, aumentando a percolação (Wickham & Singh, 1978). Sanchez (1968) afirmou que solos com alto conteúdo de matéria orgânica são difíceis de ser dispersos quando do preparo com água e, portanto, podem ser esperadas mais altas taxas de percolação e fluxo lateral.

**Inundação e altura da lâmina de água** - A taxa de percolação diminui com a inundação, devido às mudanças físicas e químicas que ocorrem no solo, tais como embebição, dispersão, desintegração dos agregados, redução da porosidade pela atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica, que reduz o efeito de ligação dos agregados e leva ao selamento do solo (Harris et al., 1966). Mikkelsen & Patrick, citados por Wickham & Singh (1978), também afirmaram que a estabilidade dos agregados é reduzida pela inundação, o que permite uma completa dispersão do solo quando do preparo com água, reduzindo as perdas por percolação e fluxo lateral. Entretanto, alguns dos agregados destruídos pelo preparo com água são regenerados por óxidos ativos e matéria orgânica, quando o solo seca. Em solos preparados a seco, Sanchez (1968) observou que a estrutura granular pode ser preservada, mesmo após vários meses de inundação.

Ferguson (1970) verificou que as perdas por percolação foram maiores quando se aumentou a altura da lâmina de água. Stone et al. (1990) também observaram que as perdas por percolação e fluxo lateral foram maiores nos tabuleiros onde a carga hidráulica foi maior e persistiu por mais tempo. Pande & Mittra, citados por Wickham & Singh (1978), relacionaram o consumo de água com a altura da lâmina (Tabela 17.10).





**Tabela 17.10.** Consumo de água conforme a altura da lâmina de água.

Altura da lâmina de água (cm)	Consumo de água (mm dia <sup>-1</sup> )
0 (solo saturado)	7,5
5	15,5
10	18,8

Fonte: Adaptada de Pande & Mittra, citados por Wickham & Singh (1978).

**Preparo do solo com água** - Vários autores têm relatado que a destruição da estrutura do solo pelo preparo com água reduz a percolação (Kawasaki, 1975; Humphreys et al., 1992; Singh et al., 1993), como pode ser observado na Fig. 17.4. Este preparo resulta na destruição de 90 a 100% do volume de macroporos e restringe a porosidade apenas ao espaço ocupado pelo filme de água ao redor das partículas de argila. Essa prática aumenta a densidade do solo e diminui a condutividade hidráulica.

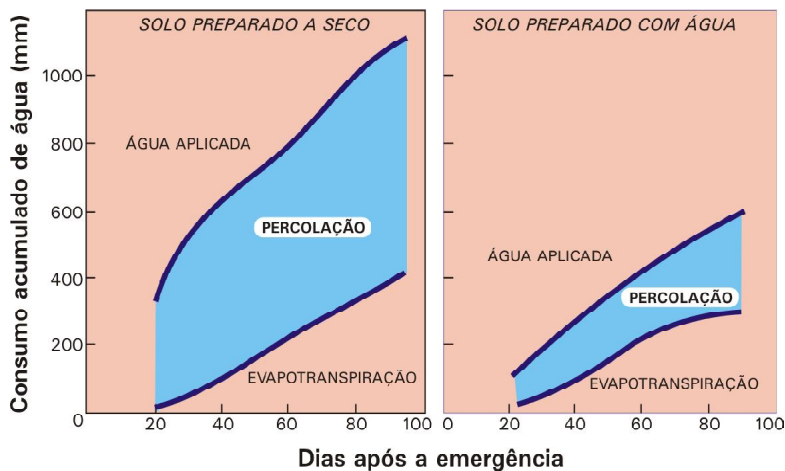
Pesquisadores do IRRI encontraram taxas médias de 2,0 e 5,7 mm dia<sup>-1</sup> para percolação mais fluxo lateral, para solos preparados com água e a seco, respectivamente (Irri, 1973). Kawasaki (1975) relatou que, no Japão, as perdas por percolação em solos preparados com água foram iguais a um terço daquelas observadas em solos preparados a seco. Na Austrália, o preparo do solo com água, utilizando enxada rotativa, reduziu a percolação de 3.500 para 500 mm, durante a estação de crescimento do arroz (Humphreys et al., 1992). Na Índia, conforme Singh et al. (1993), este preparo diminuiu a taxa de infiltração de água no solo em mais de 62%. No Brasil, em Santa Catarina, Eberhardt (1993) verificou que o consumo médio de água durante o ciclo do arroz, na parcela em que o solo foi preparado a seco, foi 22% superior ao consumo médio das parcelas em que o solo foi preparado com água. Entretanto, considerando o consumo médio total de água, incluindo o gasto de água para formar a lama, não houve diferença significativa entre os tratamentos de preparo do solo.

### Saturação do perfil do solo e formação da lâmina de água

A quantidade de água requerida para saturar o perfil do solo depende da porosidade, do grau de saturação do solo antes da irrigação e da profundidade a ser saturada. Quanto maiores forem a porosidade e a profundidade a ser saturada, e quanto menor o grau de saturação inicial do solo, maior será o volume de água necessário. A quantidade de água necessária para formar a lâmina depende, por sua vez, da altura



desejada, do tempo gasto na sua formação, da velocidade de infiltração básica e da evapotranspiração durante o período de formação da lâmina. Quanto maiores forem estes parâmetros, maior será o volume de água necessário.



**Fig. 17.4.** Comparação entre o preparo do solo, a seco e com água, e a evapotranspiração, a percolação e o consumo de água.

Fonte: Adaptada de De Datta & Kerim (1974).

### Vazão necessária

No Rio Grande do Sul, no sistema de tabuleiros em contorno, para suprir a necessidade de água durante o ciclo para os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, é recomendada a utilização de vazões contínuas de 1,5 a 2,0 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> num período médio de irrigação de 80 a 100 dias (Irga, 2001). Solos com textura franco-arenosa ou arenosos e com maior gradiente de declividade necessitam de vazões maiores. O consumo de água também aumenta em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Corrêa et al. (1997) fizeram uma revisão sobre o consumo de água no RS. Nos trabalhos revisados, o consumo foi estimado por balanço hídrico, não estando contempladas as perdas na condução da água nos canais nem a saída contínua para o dreno, ou seja, foi considerada a irrigação com lâmina de água estática. Nessas condições, o consumo de água variou de 1,15 a 1,76 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, ou de 0,77 a 1,02 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, quando foi considerada a precipitação pluvial. Ainda no RS, Machado et al. (2002), comparando, por dois anos, o consumo de água nos sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo,



pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante de mudas verificaram que a variação entre eles foi pequena. Se a água utilizada para o preparo do solo (pré-germinado e transplante) ou para formação da lâmina (mix de pré-germinado) fosse oriunda da chuva, haveria nestes sistemas o decréscimo no consumo de 1285 m<sup>3</sup>.

No sistema de plantio com sementes pré-germinadas, mais comum em Santa Catarina, o período de irrigação é maior, iniciando-se no preparo do solo. Apesar disto, em geral, ocorre menor consumo de água. Para o preparo do solo, aplica-se uma lâmina de água de 4 a 5 cm sobre a superfície, mais a lâmina necessária para saturar o solo. Normalmente, são necessários de 1000 a 2.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Por ocasião da reposição de água, após a aplicação do herbicida pós-plantio do arroz, que deverá ser feita em um ou dois dias, é recomendável uma vazão mínima de 2 a 3 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, o que sugere um escalonamento na aplicação do herbicida, para evitar falta de água na reposição da lâmina. Para a manutenção da lâmina, vazões em torno de 1 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> são suficientes, tendo em vista a baixa percolação da água no solo, devido à formação da lama (Irga, 2001).

Em Goianira, GO, Stone et al. (1990), em solo de textura argilo-arenosa, verificaram que, para a manutenção da inundação contínua ao longo do ciclo do arroz, foram necessários 7,4 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Quando se combinou inundação intermitente na fase vegetativa com inundação contínua na fase reprodutiva, a vazão necessária foi reduzida para 4,9 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e, com inundação intermitente durante todo o ciclo, para 2,1 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

Nas várzeas do Tocantins, o consumo de água depende, principalmente, da altura do lençol freático que, por sua vez, depende do nível de água dos rios, o qual é afetado pelo regime de chuvas. Na época em que ocorrem menos precipitações pluviais, o requerimento de água é da ordem de 4,0 a 4,5 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (Santos et al., 2002).

Poirée & Ollier (1970) propuseram equações para determinar a vazão necessária para inundar a lavoura, manter a lâmina de água e renovar a água dos tabuleiros, as quais são descritas a seguir:

a) Inundação da lavoura

$$Q_1 = 0,1158 A[h + t_1 (ET_c + VIB)]/t_1$$

em que:

$Q_1$  – vazão necessária para inundar a área, em L s<sup>-1</sup>

A – área a ser inundada, em ha



h – altura média da água no tabuleiro, em mm  
 $t_1$  – tempo necessário para inundar a área, em dia  
 $ET_c$  – evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>  
 VIB – velocidade de infiltração básica, em mm dia<sup>-1</sup>

b) Manutenção da lâmina

$$Q_2 = 0,1158 A(ET_c + VIB)$$

em que:

$Q_2$  – vazão necessária para manter a lâmina de água, em L s<sup>-1</sup>

c) Renovação da água do tabuleiro

$$Q_3 = 0,1158 A(ET_c + VIB + h.n/t_2)$$

em que:

$Q_3$  – vazão necessária para renovar a água dos tabuleiros, em L s<sup>-1</sup>

n – número de vezes que se deseja renovar a água dos tabuleiros

$t_2$  – duração da inundação, em dia

A capacidade do canal principal deve estar de acordo com a maior das vazões calculadas, tendo-se em conta as perdas por condução da água no canal.

Em um projeto de irrigação por inundação intermitente, pode-se determinar a vazão necessária pela seguinte equação (Bernardo, 1982):

$$Q = 2,78 A.Et_c.TR/(E.H.PI)$$

em que:

Q – vazão necessária, em L s<sup>-1</sup>

A – área a ser inundada, em ha

$Et_c$  – evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>

TR – turno de rega, em dia

E – eficiência do sistema, em decimal

H – número de horas de trabalho por dia

PI – período de irrigação, em dia

Como mencionado anteriormente, na determinação da capacidade do canal principal devem ser levadas em conta as perdas



por condução que, em canais de terra não-revestidos, variam de 25% a 50% do total de água que passa pelo canal (Ipeas, 1973). Essas perdas são devidas à evaporação e à infiltração e dependem da área molhada do canal, do seu tempo de utilização e da velocidade de infiltração do solo (Corrêa et al., 1997). Segundo esses autores, as perdas por infiltração podem ser representadas pela seguinte equação:

$$P_{inf} = A_m \cdot T_{ut} \cdot VIB$$

em que:

$P_{inf}$  – perdas por infiltração no canal, em  $m^3$

$A_m$  – área molhada do canal, em  $m^2$

$T_{ut}$  – tempo de utilização do canal, em dia

$VIB$  – velocidade de infiltração do solo, em  $m^3 m^{-2} dia^{-1}$

É importante salientar que nem toda a água infiltrada constitui-se necessariamente em perda, já que uma parte desta poderá alimentar o lençol freático de áreas adjacentes irrigadas. As perdas tendem a ser menores em canais velhos, devido ao selamento dos poros. Os valores da velocidade de infiltração variam com o tempo, tendendo a um valor residual à medida que ocorre a saturação do solo (Tabela 17.11). A manutenção do canal permanentemente com água durante o ciclo da cultura é uma prática recomendada, já que manteria a velocidade de infiltração igual ou muito próxima de seu valor residual (Corrêa et al., 1997).

**Tabela 17.11.** Velocidade de infiltração final em canais de terra não-revestidos.

Solo	Velocidade de infiltração ( $m^3 m^{-2} dia^{-1}$ )
Argiloso	0,08 - 0,25
Areno-argiloso	0,30 - 0,45
Arenoso	0,45 - 0,60
Com cascalho	0,90 - 1,80

Fonte: Adaptada de Bernardo (1982).

O Instituto de Pesquisa e Experimentação do Sul propôs a seguinte equação para determinar a capacidade do canal principal, levando em conta as perdas por condução (Ipeas, 1973):

$$C = Q + P + 10^5 A \cdot h_f / 86400 t_f$$

em que:



$C$  – capacidade do canal principal, em  $L s^{-1}$

$Q$  – necessidade total de água para a manutenção da lâmina de água na área considerada, em  $L s^{-1}$

$P$  – perdas de água no canal, em  $L s^{-1}$

$A$  – área a ser inundada, em ha

$h_t$  – profundidade do solo a ser saturada, mais altura da lâmina de água e mais a evapotranspiração da cultura durante a inundação, em cm

$t_1$  – número de dias para inundar a área

A eficiência de condução da água é determinada pela seguinte equação:

$$E_c = 100V_a / V_d$$

em que:

$E_c$  – eficiência de condução, em %

$V_a$  – volume de água efetivamente aplicado na lavoura, em  $m^3$

$V_d$  – volume de água derivado do ponto de captação, em  $m^3$

## NECESSIDADE DE ÁGUA NA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

É difícil quantificar com exatidão o volume total de água necessário quando se utiliza irrigação suplementar, uma vez que esse volume depende da quantidade e distribuição das chuvas. A necessidade total de água para o cultivo do arroz de terras altas varia de 600 a 700 mm. Stone et al. (1979a) mediram um consumo total de 600 mm para as cultivares IAC 47 e CICA 4, em Goiânia, GO. No mesmo local, Steinmetz (1986) observou consumo total de 676 mm para a cultivar IAC 47, com consumo médio diário de 5,3 mm. Em Uberaba, MG, a mesma cultivar consumiu 715 mm (Manzan, 1984), com consumo médio diário entre 5 e 6 mm. A cultivar Maravilha, primeira cultivar lançada para as condições denominadas favorecidas, requer cerca de 800 mm durante o ciclo, quando cultivada no espaçamento de 20 cm entre linhas (Embrapa, 1997). Considerando apenas a irrigação suplementar, as lâminas de água aplicadas podem variar de 524 mm, segundo verificaram Toeschler & Köpp (2002), no RS, a valores inferiores a 200 mm por ciclo, nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, dependendo do regime de chuvas. Crusciol et al. (2003), em Selvíria, MS, aplicando lâminas suplementares de irrigação variando de 37,4 a 318,3 mm, em ano de menor ocorrência de veranicos, e de 100,0 a 381,7 mm, em ano de maior ocorrência, não obtiveram diferenças na produtividade do arroz, a qual, entretanto, foi maior em comparação à obtida quando não foi aplicada a irrigação suplementar.



O requerimento de água do arroz irrigado por aspersão pode ser estimado a partir de tanques evaporimétricos, com base na relação existente entre a evaporação da água medida no tanque USWB Classe A (ECA) e a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). A relação é obtida utilizando-se o coeficiente do tanque ( $K_p$ ) e o coeficiente da cultura ( $K_c$ ), de modo que:

$$ET_c = ECA.K_p.K_c$$

Com os dados de evaporação do tanque de um local (média de vários anos) e com os coeficientes, pode-se estimar a demanda de água de maneira mais precisa que a simples medição do consumo de água em um local e num dado ano. Doorenbos & Kassam (1979) apresentam valores de  $K_p$  considerando o clima e o meio circundante ao tanque. Steinmetz (1986) determinou os valores de  $K_c$  para diferentes estádios da cultura do arroz (Tabela 17.12).

**Tabela 17.12.** Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) para diferentes estádios da cultura do arroz de terras altas.

Estádio da cultura	Idade da planta (dia)	$K_c$
Plântula	8 - 18	0,70
Vegetativo	18 - 40	0,90
Final do vegetativo-reprodutivo	40 - 110	1,24
Enchimento dos grãos	110 - 130	0,90

Fonte: Steinmetz (1986).

Os manejos da cultura e do solo alteram os valores do coeficiente de cultura. Verifica-se na Tabela 17.13 que o valor máximo de  $K_c$  para o arroz semeado a 0,20 m entre linhas (Stone & Silva, 1999) é maior que o obtido por Steinmetz (1986), para o arroz semeado a 0,50 m entre linhas. Da mesma forma, os valores de  $K_c$  para o arroz cultivado em solo preparado convencionalmente são maiores que os do arroz sob plantio direto.

**Tabela 17.13.** Coeficientes de cultura referentes ao arroz de terras altas semeado no espaçamento de 0,20 m entre linhas.

Estádio	Duração (dia)	Coeficiente de cultura	
		PC <sup>(1)</sup>	PD <sup>(2)</sup>
Emergência – início do perfilhamento	20	0,58	0,18
Início do perfilhamento – diferenciação da panicula	45	0,72	0,67
Diferenciação da panicula – grão pastoso	55	1,34	1,28
Grão pastoso – maturação	15	0,67	0,53

<sup>(1)</sup>Preparo convencional do solo; <sup>(2)</sup>Plantio direto

Fonte: <sup>(1)</sup>Adaptada de Stone & Silva (1999); <sup>(2)</sup>Stone & Silveira (2004).



A simulação da semeadura do arroz de terras altas no início de novembro (Stone & Silveira, 2004), utilizando os coeficientes de cultura (Tabela 17.13) para o arroz semeado a 0,20 m entre linhas, sob preparo convencional do solo e sob plantio direto, mostrou que a evapotranspiração sob plantio direto é cerca de 15% menor que no preparo convencional do solo (Tabela 17.14). Isto faz com que ocorra substancial redução na necessidade de irrigação suplementar.

**Tabela 17.14.** Estimativa da evapotranspiração e da necessidade de irrigação suplementar na cultura do arroz de terras altas, no sistema convencional de preparo do solo e sob plantio direto.

Município	Evapotranspiração (mm ciclo <sup>-1</sup> )		Lâmina de irrigação suplementar (mm ciclo <sup>-1</sup> )	
	PC <sup>(1)</sup>	PD <sup>(2)</sup>	PC <sup>(1)</sup>	PD <sup>(2)</sup>
Guaíra, SP	629	530	106	70
Unaí, MG	565	482	194	167
Vicentinópolis, GO	578	495	71	46
Primavera do Leste, MT	487	417	73	45

<sup>(1)</sup>Preparo convencional do solo; <sup>(2)</sup>Plantio direto

Battilani & Pietrosi (1990), ao irrigarem a cultura do arroz por aspersão por 12 vezes ao longo do ciclo, com lâminas de água equivalentes a 50, 100 ou 150% da evapotranspiração da cultura, verificaram que as produtividades obtidas, acima de 6,5 t ha<sup>-1</sup>, não diferiram significativamente. Entretanto, ao irrigarem o arroz por aspersão com lâminas de água equivalentes a 33, 66 e 100% da ET<sub>c</sub>, quando a ET<sub>c</sub> acumulada, não-compensada pela chuva, alcançava 20 mm, obtiveram produtividades de 1,4, 5,5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Battilani & Pietrosi, 1991).

Outra maneira de calcular a quantidade de água a ser aplicada no solo plantado com arroz é utilizando-se tensiômetro e a curva de retenção de água desse solo. Os tensiômetros são aparelhos que medem a tensão da água do solo. A curva de retenção relaciona o teor ou o conteúdo de água do solo com a força com que está retida por ele. É uma propriedade físico-hídrica do solo, determinada em laboratório.

Os tensiômetros devem ser instalados em duas profundidades, 15 e 30 cm, em pelo menos três locais da área plantada, quando se trata de irrigação com pivô central. Esses pontos devem corresponder a 4/10, 7/10 e 9/10 do raio do pivô, em linha reta a partir da base.





O tensiômetro de 15 cm é chamado “de decisão”, porque indica o momento da irrigação, enquanto o de 30 cm é chamado “de controle”, porque indica se a irrigação está sendo bem-feita, sem excesso ou falta de água. A irrigação deve ser efetuada quando a média das leituras dos tensiômetros de decisão estiver em torno de 25 kPa (Stone et al., 1986).

O procedimento para determinação da quantidade de água a ser aplicada é o seguinte: de posse da curva de retenção de umidade, verifica-se a quanto 25 kPa correspondem em conteúdo de água no solo, dado em  $\text{cm}^3$  de água  $\text{cm}^{-3}$  de solo. Em seguida, calcula-se a diferença entre o conteúdo de umidade a 10 kPa (capacidade de campo) e a 25 kPa. Esta diferença, multiplicada pela profundidade de 30 cm, indicará a lâmina líquida de irrigação. Isto se deve ao fato de que a camada de solo de 0 - 30 cm de profundidade engloba a quase totalidade das raízes do arroz irrigado por aspersão e de que a leitura do tensiômetro de decisão representa a tensão média da água do solo nesta camada.

## MANEJO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO

### Início da irrigação

Em cada região orizícola, com características ecológicas peculiares, há sempre uma melhor época para o início da irrigação. Bernardes (1956), em Gravataí, RS, observou que as maiores produtividades foram alcançadas quando a irrigação foi iniciada aos dez dias após a emergência. Em estudos posteriores, Amaral & Gomes (1983), em Pelotas, RS, verificaram que, para a cultivar Bluebelle, ciclo precoce, as maiores produtividades foram obtidas quando a irrigação foi iniciada aos 30 dias após a emergência do arroz. Para as cultivares de ciclo médio ou longo, este prazo pode ser estendido para 40 dias (Irga, 2001). Vahl et al. (1985) verificaram que a cultivar BR IRGA 410 produziu cerca de 11% mais quando a irrigação foi iniciada aos 42 dias após a emergência, em comparação ao início aos 14 dias. Entretanto, quando a precipitação pluvial não for suficiente para manter o solo em condições adequadas de umidade, para viabilizar o processo de germinação e desenvolvimento das plântulas até o momento de aplicação da lâmina de água definitiva, deve-se irrigar com pequenas lâminas (banhos). Vale ressaltar que a antecipação do início da inundação encurta o ciclo do arroz, pelo fato de a inundação aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, proporcionando um melhor desenvolvimento destas. O ciclo da cultivar BR IRGA 410, da emergência à floração, foi de 89 dias quando a irrigação iniciou aos 14 dias após a emergência e de 101 dias, quando esta começou aos 42 dias após a emergência (Vahl et al., 1985). Assim, se por um lado há aumento no consumo de água ao se iniciar a irrigação mais cedo, ele diminui



pelo encurtamento do ciclo. Para a Baixada Fluminense e regiões vizinhas, Duarte (1969) considerou as épocas de 20 e 30 dias após a germinação do arroz como as melhores para o início da irrigação. Deve ser levado em conta que o teor de umidade do solo é um fator preponderante na determinação do início da irrigação. Adicionalmente, o emprego sistemático de herbicidas na atualidade, que permite melhorar o controle de plantas daninhas e, com isso, atrasar o início da irrigação, é, possivelmente, a causa das discordâncias verificadas entre os trabalhos mais antigos e os mais recentes.

No sistema pré-germinado, inicia-se a inundação cerca de 25 dias antes da semeadura. Para o processo de renivelamento, inundam-se os tabuleiros com lâmina de água de 4 a 5 cm de altura e utiliza-se o nível da água como referência para a operação. No alisamento, diminui-se a lâmina de água. Concluídas essas operações, retira-se a água para que as sementes de arroz vermelho e outras espécies iniciem o processo de germinação. Cinco a sete dias após, notando-se a emergência das plântulas, inundam-se novamente os tabuleiros com lâmina de água de 5 a 10 cm de altura e aplica-se um herbicida. A água deve ser mantida nos tabuleiros durante sete a dez dias e trocada três a cinco dias antes da semeadura, que é feita sobre lâmina de água de 5 a 10 cm de altura. Essa altura da lâmina deve ser mantida por três a cinco dias. A seguir, drena-se o tabuleiro para que a lavoura permaneça com nível mínimo de água (solo saturado). Recomenda-se não secar o solo, pois a secagem favorece a germinação e o desenvolvimento de plantas daninhas e, ao mesmo tempo, ocasiona perdas de nitrogênio por desnitrificação (Irga, 2001). Após a aplicação do herbicida pós-plantio do arroz, feita geralmente entre 15 e 20 dias após a germinação, repõe-se a lâmina de água. A drenagem após a semeadura pode onerar os custos de produção, provocar perdas de solo e nutrientes e causar danos aos mananciais de água à jusante das lavouras pela deposição de materiais sólidos. Verneti Junior et al. (2002) não encontraram diferenças na produtividade de arroz entre o sistema preconizado e a manutenção de uma lâmina permanente de água de cerca de 5 cm a partir da semeadura. Marcolin & Macedo (2002), por sua vez, verificaram que a semeadura com lâmina de água de 7,5 cm e drenagem cinco dias após propiciou maior produtividade que a manutenção de lâmina de água desde a semeadura, devido à alta infestação de plantas daninhas e à baixa eficiência do herbicida nesta última condição.

### **Drenagem final**

Devido a inadequados sistemas de drenagem, torna-se necessário drenar os campos tão cedo quanto possível, após a floração,



para o solo secar suficientemente e suportar os equipamentos de colheita (Grain..., 1975). Entretanto, testes em vasos, feitos no Suriname, demonstraram que a drenagem, quando realizada muito cedo, tende a reduzir a produtividade e a qualidade dos grãos (incremento em grãos gessados). No Brasil, em experimento de campo com a cultivar Awini, em Almeirim, PA, foram testados os efeitos da drenagem a uma, duas, três e quatro semanas após a floração. Observou-se que, quanto mais cedo se iniciou a drenagem, maior foi o número de grãos quebrados e gessados e menor a produtividade de grãos. Isso sugere que a água deve ser mantida por três a quatro semanas após a floração para se obter máxima produtividade e qualidade de grão (Grain..., 1975). Concordando com isso, em experimento realizado no IRRI, sobre épocas de início da drenagem final, foi observado que, quanto maior o período sem irrigação, menor a produtividade. Cada um dos componentes da produtividade contribuiu para o decréscimo na produtividade (Irri, 1972).

Em experimento realizado na Baixada Fluminense, com as cultivares De Abril e IAC 435, tendo como tratamentos a drenagem final dos tabuleiros aos 20, 25, 30 e 35 dias após o início da floração, observou-se que a cultivar De Abril mostrou-se indiferente, podendo-se escolher a drenagem aos 20 dias para maior economia de água. A cultivar IAC 435 apresentou melhor resultado, quanto ao rendimento no beneficiamento, quando a drenagem foi efetuada aos 25 dias após o início da floração. Nos demais parâmetros avaliados, massa de 1.000 grãos e porcentagem de grãos gessados, não foram constatadas diferenças significativas quanto à época de drenagem dos tabuleiros (Duarte, 1975).

Stone & Fonseca (1980), trabalhando com as cultivares IAC 435 e IR 841-63-5-L-9-33, em Goianira, GO, concluíram que, associando produtividade de grãos e rendimento no beneficiamento à economia de água, a drenagem da lavoura deve ser feita aos 30 dias após a floração. Reis (1990), em Lambari e Leopoldina, MG, comparando os efeitos da drenagem final na floração e 10, 20 e 30 dias após, sobre o comportamento das cultivares MG 1 e INCA, concluiu que em Lambari, onde o solo é de drenagem mais rápida, a água só deve ser retirada 20 dias após a floração, enquanto que em Leopoldina, onde o solo é de drenagem mais lenta, a água pode ser retirada mais cedo, próximo da floração. Amaral & Gomes (1983), em estudos conduzidos em Pelotas, RS, em solo argiloso, de difícil drenagem, com a cultivar Bluebelle, verificaram que a drenagem final da lavoura pode ser efetuada aos dez dias após a floração plena. Nessas mesmas condições de solo, para cultivares do tipo moderno, a supressão de água deve ser feita aos 15 dias após a floração plena (Irga, 2001).



Os diferentes resultados observados com relação à época de drenagem final da lavoura de arroz estão relacionados, possivelmente, com as cultivares estudadas e com a redução da umidade do solo após a drenagem.

### **Drenagem intermediária**

A inundação do solo provoca a redução do ferro e do manganês, assim como de outros elementos do solo. Vários ácidos orgânicos são produzidos, como acético, propiônico e butírico, bem como gases, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Essas substâncias, quando presentes em quantidades relativamente grandes, podem atrasar o desenvolvimento das raízes, inibir a absorção de nutrientes e provocar a podridão das raízes, geralmente entre o estágio de plântula e a diferenciação do primórdio da panícula. Os efeitos tóxicos podem manifestar-se como sintomas de enfermidades fisiológicas, entre as quais se encontram a "Akiochi" e a "Akagare", no Japão, a enfermidade de "sufocação", em Formosa, e o "bronzeador", no Sri Lanka. A toxicidade é observada mais freqüentemente quando o oxigênio do solo é esgotado, devido à rápida decomposição de grande quantidade de matéria orgânica. O oxigênio pode ser introduzido no solo pela remoção da água, pois, havendo uma secagem moderada, as substâncias reduzidas se oxidam e os gases podem escapar pela superfície do solo. A água que se infiltra pode, da mesma forma, introduzir oxigênio no solo e lixiviar as substâncias tóxicas para fora da zona das raízes (University of the Philippines, 1975). Inúmeras investigações têm demonstrado que os melhores resultados são obtidos quando a drenagem é efetuada no fim do estágio de perfilhamento. Esta prática é chamada comumente de drenagem de meia-estação de crescimento. Entretanto, para haver sucesso, deve estar disponível uma boa reserva de água para imediata inundação posterior. A drenagem de meia-estação é grandemente praticada em regiões temperadas do Japão, Coréia e Itália (Tsutsui, 1973). No Brasil, é raramente necessária, sendo usada, algumas vezes, para minimizar problemas de toxicidade de ferro ou quando a temperatura da água de irrigação está muito elevada.

### **Altura da lâmina de água**

Vários pesquisadores têm estudado a influência da altura da lâmina de água na produtividade do arroz. No Brasil, o trabalho mais antigo de que se tem conhecimento foi o realizado por Bernardes (1956) na Estação Experimental de Arroz, em Gravataí, RS, no período de 1944



a 1950. No experimento, realizado com oito cultivares de arroz e com quatro alturas de lâmina de água, 10, 15, 20 e 25 cm, todas as cultivares produziram mais com altura de lâmina de água de 20 cm. Outras observações indicaram que, quando a altura da lâmina de água é superior a 30 cm, o arroz deve ser plantado com menor espaçamento, pois o perfilhamento será muito menor. Trabalho semelhante foi conduzido por Moraes & Freire (1974), no Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul (IPEAS), em Pelotas, RS. O experimento foi realizado em casa de vegetação e avaliou cinco alturas de lâmina de água, 0, 3, 6, 9 e 12 cm. Os resultados obtidos permitiram concluir que o comportamento das plantas de arroz foi igual em todas as alturas de lâmina de água usadas, não havendo influência significativa na produtividade de grãos e nem nas condições de redox que se desenvolveram no solo, como conseqüência do excesso de água.

Trabalhos como os citados anteriormente têm sido realizados em vários outros países. Johnson (1965) mostra resultados de experimentos nos quais as plantas submetidas à lâmina de água de 2,5 cm de altura produziram 5% mais que aquelas cuja altura da lâmina foi maior que 10 cm, e afirma que a água profunda inibe o perfilhamento. Em experimento realizado no IRRI, foi observado que a lâmina de água de 2,5 cm de altura, comparada à de 10 cm, teve igual produtividade e com maior eficiência de uso da água (Irri, 1967). Nojima & Tanaka (1968), em experimentos conduzidos no Japão, verificaram que, nas parcelas inundadas com lâmina de água de 3 cm de altura, as plantas apresentaram maior produtividade de grãos e de matéria seca e maior número de grãos por planta que as cultivadas nas parcelas com lâmina de 6 cm de altura, ou cujo solo foi mantido saturado, 0 cm. Oelke & Mueller (1969), trabalhando na Califórnia, Estados Unidos, com alturas de lâmina de água de 4, 8 e 18 cm, observaram que a produtividade foi maior com a lâmina de 4 cm. Por outro lado, na Índia, Pande & Mitra (1970) observaram que a produtividade do arroz irrigado por submersão foi significativamente maior que a do arroz sob saturação, mas não houve diferença significativa entre lâminas de 5 e 10 cm. O aumento da produtividade nas condições de submersão esteve associado com o incremento do número de panículas por cova e do número de grãos por panícula. Em trabalhos conduzidos no IRRI, foi verificado que a água de inundação profunda promoveu o crescimento longitudinal das plantas, reduziu o número de perfilhos e aumentou o de perfilhos improdutivos. Em regime de inundação contínua, com 20 cm de água sobre a superfície do solo, as plantas apresentaram acamamento severo (Irri, 1971).



Conforme exposto, a submersão em lâmina rasa sempre traz resultados favoráveis em relação à produtividade e à quantidade de água despendida no cultivo do arroz. Segundo Tsutsui (1972), a vantagem da lâmina baixa, cerca de 5 cm, em relação à de profundidade maior, é justificada pelas seguintes razões:

- 1) Em profundidade rasa, a temperatura da água durante o dia é alta e, à noite, mais baixa que sob regime de água profunda. Essa diferença provoca maior perfilhamento.
- 2) A água rasa favorece a decomposição da matéria orgânica, o que proporciona melhor desenvolvimento do sistema radicular.
- 3) Teoricamente, a porcentagem média de evaporação é maior sob submersão profunda, devido ao maior armazenamento de energia térmica, resultando em maior evaporação durante a noite.
- 4) As perdas por percolação são menores com submersão rasa.

Para se manter a profundidade da água em 5 cm, é necessário que haja perfeito nivelamento do solo. Outro problema relacionado à lâmina de água baixa é a grande incidência de plantas daninhas. Em muitas áreas de cultivo de arroz, há diminuição no crescimento das plantas daninhas com utilização de água mais profunda. Contudo, em áreas mal-drenadas, altas lâminas de água, podem facilitar o desenvolvimento de plantas daninhas aquáticas.

Solo úmido mas não-inundado, temperaturas altas e iluminação adequada favorecem o crescimento das plantas daninhas de folhas estreitas. Além disso, a falta da lâmina de água dificulta a distribuição eficiente dos herbicidas granulares, e as altas temperaturas e a luz podem estimular a rápida decomposição do componente herbicida de alguns produtos químicos. As gramíneas são controladas, em parte, mediante inundação, a profundidades superiores a 5 cm. A inundação contínua, em profundidade maior que 5 cm, controla razoavelmente bem as ciperáceas, que são eliminadas, quase por completo, com inundação contínua a profundidades maiores que 15 cm.

As plantas daninhas de folhas largas são relativamente pouco afetadas pela profundidade da inundação e podem, inclusive, progredir com o aumento da profundidade. O controle da água durante as primeiras etapas de crescimento da cultura tem efeito primordial sobre a erradicação das plantas daninhas. Se estas se estabelecem, é muito mais difícil controlá-las por meio das práticas de manejo da água (University of the Philippines, 1975).



Na Tabela 17.15 estão apresentados os resultados obtidos por Barros (1977), com relação ao efeito da altura da lâmina de água sobre o número de plantas daninhas.

**Tabela 17.15.** Número de plantas daninhas por m<sup>2</sup> conforme a altura da lâmina de água.

Altura da lâmina de água (cm)	Plantas daninhas (nº m <sup>-2</sup> )
0	198
5	63
10	20
15	19
20	12
25	5

Fonte: Barros (1977).

A pouca profundidade da lâmina de água pode não ser significativa para a obtenção de boa colheita em cultivares de porte alto e com folhas abundantes. Mas, com a introdução de novas cultivares de estatura baixa, a aplicação de lâmina de água não muito profunda, menor que 10 cm, é muito importante para o sucesso da cultura. No Rio Grande do Sul, devido à utilização de tabuleiros em contorno, com desnível médio de 5 a 10 cm, a altura da lâmina de água varia, em média, de 5 cm, na parte superior, a 10 - 15 cm na parte inferior do tabuleiro.

### Qualidade da água

As características da água de irrigação, que determinam sua qualidade quanto à salinidade, são: concentração total de sais minerais; relação entre o sódio e os outros cátions; concentração de boro e outros elementos; e, sob algumas situações, concentração de bicarbonato em relação à concentração de cálcio e magnésio. Somente a determinação de todos esses fatores permitirá a melhor avaliação da qualidade da água para irrigação (Irga, 2001).

Em muitas áreas arroseiras, as águas salinas causam sérios problemas. É importante reconhecer os sintomas dos danos e saber como minimizá-los. O problema da salinidade manifesta-se com maior intensidade nos anos em que a precipitação é muito baixa, principalmente em locais próximos ao mar. A inversão do fluxo de água nessa situação pode causar sérios problemas para a cultura e o solo, podendo iniciar-se o processo de salinização em solos onde não havia esse problema.



O uso de água com alto conteúdo de sais pode também contribuir para a salinização dos solos. Beecher (1991) verificou que a salinização do solo aumentou com o incremento do teor de sais na água de irrigação, atingindo um equilíbrio após três anos. Esse problema ocorre nas lavouras da zona litorânea do Rio Grande do Sul e litoral sul de Santa Catarina e se intensifica nos meses de janeiro e fevereiro, coincidindo com o início da fase reprodutiva, quando as plantas são mais sensíveis à salinidade (Irga, 2001).

O excesso de sais nas proximidades do sistema radicular reduz o crescimento das plantas, devido a efeitos específicos e não-específicos, que dependem, respectivamente, da qualidade e da quantidade dos sais presentes. Os efeitos específicos, ou fisiológicos, são aqueles causados por um desequilíbrio nas concentrações relativas de várias espécies de íons com relação a um outro, enquanto os não-específicos, ou osmóticos, são causados pela concentração total de sais, indiferente às espécies presentes.

Os sintomas mais comuns produzidos pela salinidade, além da redução do crescimento, são a ocorrência de branqueamento nas pontas das folhas, com a conseqüente morte, e, se a planta de arroz estiver próxima da maturidade, a ocorrência de panículas brancas e vazias na época da floração (Cheaney & Jennings, 1975).

Beecher (1991), trabalhando com seis níveis de salinidade da água de irrigação, 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 4,0 dS m<sup>-1</sup>, verificou que somente a água de irrigação com condutividade elétrica igual a 4,0 dS m<sup>-1</sup> reduziu a produtividade do arroz.

Dentre as cultivares de arroz com alto potencial produtivo em cultivo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, não existe uma que tolere irrigação com água salinizada, em nível igual ou superior a 0,25% de NaCl. Águas com esse teor, aplicadas a partir do início da fase reprodutiva, podem determinar reduções superiores a 50% na produtividade. Toda a irrigação deve ser suspensa quando a condutividade elétrica atingir valores iguais ou maiores que 2,0 dS m<sup>-1</sup> (Irga, 2001).

As diferentes fases de crescimento do arroz apresentam diferenças quanto à tolerância à salinidade. Pearson & Ayres (1960) afirmam que o arroz é muito tolerante à salinidade durante a germinação, mas muito sensível durante o estágio de plântula, ganha tolerância progressivamente durante o perfilhamento, torna-se novamente sensível quando floresce e é tolerante durante o período de maturação do grão. Bernstein (1961) mostrou, da mesma maneira, que o arroz é mais





tolerante à salinidade na germinação que no estágio de plântula. Na Califórnia, Estados Unidos, Kaddah et al. (1973), ao trabalharem com água de irrigação com três níveis de condutividade elétrica, 1,4; 3,0 e 6,0 dS m<sup>-1</sup> a 25°C, verificaram que o arroz não é sensível à salinidade após o estágio de emborrachamento.

Vasconcellos (1953) estabeleceu o grau de tolerância do arroz à água salina (Tabela 17.16).

**Tabela 17.16.** Uso de água salina na irrigação do arroz.

Concentração de NaCl (%)	Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> a 25°C)	Uso de água salina
0,06	0,94	Não é prejudicial
0,13	2,03	Tolerável em todas as fases
0,17	2,66	Tolerável do perfilhamento até a exerceção das panículas
0,34	5,32	Tolerável depois do alongamento dos entrenós
0,51	7,98	Não recomendável

Fonte: Adaptada de Vasconcellos (1953).

## Temperatura da água

A planta de arroz, desde a fase inicial de irrigação até o início da formação da panícula, é mais afetada pela temperatura da água que pela do ar. Isso ocorre porque as gemas responsáveis pelo desenvolvimento das folhas, perfilhos e panículas permanecem sob a água. À medida que a panícula se desenvolve e ultrapassa o nível da água, a influência da temperatura do ar aumenta e a da água diminui. Na maioria dos casos, esta última é superior à temperatura do ar (Irga, 2001).

A temperatura da água de irrigação, de um modo geral, não causa problemas nos climas tropicais, exceto quando for excessivamente alta e a água não sofrer processo de renovação. Nesses casos, pode causar danos no início da formação da panícula, reduzindo o seu número e provocando a podridão-das-raízes (Irga, 2001).

As temperaturas ótimas da água encontram-se entre 25°C e 30°C. Entretanto, no Paquistão, temperaturas superiores à 30°C não têm produzido efeitos adversos sobre a cultivar IR 80 e outras cultivares similares, do grupo *Indica*. Em locais onde foi comprovado o efeito adverso de temperaturas elevadas sobre a produtividade, observou-se,



ao mesmo tempo, a diminuição da absorção de silício e de potássio, a ocorrência de menor número de perfilhos e de maior porcentagem de espiguetas vazias (University of the Philippines, 1975). Chaudhary & Ghildyal (1970) verificaram, para a cultivar Taichung Native 1, que a maior produtividade foi obtida com a temperatura variando entre a mínima de 20°C e a máxima de 32°C, resultante do maior número de perfilhos, panículas e espiguetas, mais baixa esterilidade das espiguetas e maior massa de 100 grãos. Sasaki (1992) verificou que a temperatura da água de irrigação de 35°C provocou a diminuição do comprimento e da largura da folha, em comparação com a de 30°C.

Santos et al. (2003) observaram, no Estado do Tocantins, que a temperatura da água de irrigação do arroz freqüentemente alcança valores acima de 35°C no período das 12:00 às 18:00 h, atingindo índices térmicos de até 52°C, o que pode reduzir a produtividade, dependendo da cultivar utilizada. Verificaram ainda que, de maneira geral, a ausência de lâmina de água até a floração minimizou esse problema, propiciando maior produtividade de grãos. A ausência de lâmina de água durante todo o ciclo também aumentou a produtividade, mas reduziu a qualidade dos grãos. Os genótipos avaliados comportaram-se diferentemente quanto à presença ou ausência da lâmina de água. A produtividade das cultivares BRS Formoso e Metica 1 não foi afetada pelo manejo de água. As maiores produtividades da BRS Jaburu, CNA 8502 e BRS Talento foram obtidas sem lâmina de água até a floração ou durante todo o ciclo e da Epagri 108 sem lâmina de água, do primórdio floral à floração ou durante todo o ciclo. A cultivar Supremo 1 não teve um comportamento definido.

Em semeadura pré-germinada, temperaturas elevadas causam prejuízos onde o tabuleiro não for bem drenado. O processo de germinação não é completado com temperaturas superiores a 36°C. Nesse caso, para diminuir as temperaturas do solo e da água estagnada, recomenda-se a aplicação de pequenas lâminas de água (Irga, 2001).

Em clima temperado, temperaturas inferiores a 20°C prejudicam o desenvolvimento do arroz na fase vegetativa e reprodutiva. Em caso de uso de água com temperatura mais baixa, é recomendada a utilização de canais de condução mais largos e rasos (Irga, 2001). Em regiões onde há possibilidade de ocorrer temperatura inferior a 16°C durante a fase de emborrachamento, é recomendado elevar a altura da lâmina de água por um período de 15 a 20 dias, proporcionando assim um efeito termo-regulador de forma a reduzir a esterilidade de espiguetas.



## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, C. L.; SOOD, M. C. Effect of tillage methods on soil properties and water expense of rice on an acidic Alfisol. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 40, n. 3, p. 409-414, 1992.
- ALVA, A. K. Changing concepts in paddy field water management. **Transactions of the Indian Society of Desert Technology and University Centre of Desert Studies**, v. 6, n. 2, p. 5-8, 1981.
- AMARAL, A. dos S.; GOMES, A. da S. **Arroz: época de irrigação e de drenagem final da lavoura**. Pelotas: EMBRAPA-UPEAE Pelotas, 1983. 17 p. (EMBRAPA-UPEAE Pelotas. Documentos, 7).
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. de; CRUSCIOL, C. A. C.; PEREIRA, J. C. dos R. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 321-326, abr./jun. 2002.
- BANDOPADHYA, A. K.; SAHOO, R. Effect of water management practices on yield and changes in physical properties and loss of nutrients from soil. **Indian Journal of Agricultural Research**, Haryana, v. 6, p. 27-32, 1972.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo de água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 8, p. 903-910, ago. 1983.
- BARROS, L. C. G. **Efeitos da profundidade da lâmina de água sobre o comportamento do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1977. 63 f. Tese (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- BATTILANI, A.; PIETROSI, I. Effetti vegeto-produttivi del riso a tre regimi de irrigazione per aspersione. **Informatore Agrario**, Verona, v. 46, n. 20, p. 63-66, 1990.
- BATTILANI, A.; PIETROSI, I. Influenza del regime idrico sul comportamento vegeto-produttivo di due varietà di riso irrigate per aspersione. **Informatore Agrario**, Verona, v. 47, n. 25, p. 41-46, 1991.
- BEECHER, H. G. Effect of saline water on rice yields and soil properties in the Murrumbidgee Valley. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 31, n. 6, p. 819-823, 1991.
- BERNARDES, B. C. Irrigação do arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 10, n. 17, p. 371-382, set. 1956.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, 1982. 463 p.
- BERNSTEIN, L. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. steady state. **American Journal of Botany**, New York, v. 48, p. 909-918, 1961.
- BOUMAN, B. A. M.; WOPEREIS, M. C. S.; KROPFF, M. J.; BERGE, H. F. M. ten; TUONG, T. P. Water use efficiency of flooded rice fields. II. percolation and seepage losses. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p.291-304, Dec. 1994.
- CAIXETA, T. J. **Manejo de água na cultura do arroz**. Viçosa, MG: EPAMIG, 1984. 26 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.064/8). Relatório final.
- CHAKRABARTI, A. K.; DE, P.; BISWAS, R. K. Effect of mechanical barrier on lateral seepage loss in rice fields. **Environment and Ecology**, Calcutta, v. 9, n. 1, p. 290-291, 1991.



CHAUDHARY, T. N.; GHILDYAL, B. P. Influence of submerged soil temperature regimes on growth, yield, and nutrient composition of rice plant. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 2, p. 281-284, Mar./Apr. 1970.

CHEANEY, R. L. O manejo de água. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 26, n. 274, p. 36-48, jul./ago. 1973.

CHEANEY, R. L.; JENNINGS, P. R. **Problemas en cultivos de arroz en America Latina**. Cali: CIAT, 1975. 91 p.

COELHO, M. B.; BERNARDO, S.; BRANDÃO, S. S.; CONDÉ, A. R. Efeito da água disponível no solo e de níveis de nitrogênio sobre duas variedades de arroz. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 24, n. 135, p. 461-483, set./out. 1977.

CORRÊA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R. A.; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. S. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p. 3-8, jul./ago. 1997.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 647-654, jul./ago. 2003.

DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 4. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1973. v. 3, 453 p.

DE DATTA, S. K.; KERIM, M. S. A. A. Water and nitrogen economy of rainfed rice as affected by puddling. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, n. 5, p. 515-518, May/June 1974.

DETERMINATION of irrigation rate. Taipei: Food & Fertilizer and Technology Center, 1970. p. 17-24. (ASPAC. Extension Bulletin, 1).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO. Riego & Drenaje, 33).

DUARTE, E. F. Estudo de épocas de início de irrigação com cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), na baixada fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 39-45, 1969.

DUARTE, E. F. Estudos de épocas de drenagem final dos tabuleiros de cultura, nas condições edafo-climáticas da baixada fluminense. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Inventário tecnológico do arroz**. Goiânia, 1975. p. 297-298.

DUARTE, E. F.; BRITO, D. P. P. S.; MENEGUELLI, C. A. Efeitos dos sistemas de irrigação por inundação contínua e sob a forma de umedecimentos do solo até a saturação, sobre cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), na Baixada Fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v. 9, n. 10, p. 107-111, 1974.

EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1993, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p. 173-176.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Manejo da cultivar Maravilha**. Goiânia, 1997. 38 p. (EMBRAPA-CNPAF. Informe Técnico, 1).

FERGUSON, J. A. The effect of flood depth on rice yield and water balance. **Arkansas Farm Research**, Fayetteville, v. 19, n. 3, p. 4, May/June 1970.



GIUDICE, R. M. del; BRANDÃO, S. S.; GALVÃO, J. D.; GOMES, R. J. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites de água disponível. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 18, n. 5, p. 103-123, set. 1974.

GRAIN yields and rice quality as influenced by water management before harvesting. In: IRI RESEARCH INSTITUTE. **Progress Report Amazon Development Project 1974**. New York, 1975. p. 46-47.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 18, p. 107-169, 1966.

HERNANDEZ, J. Influência del água en el arroz. **Arroz**, Lima, v. 3, n. 13, p. 33-36, 1969.

HUANG, M. H. The identification of soil physical properties related to the growth and yield of lowland rice. **Journal of Agricultural Research of China**, Taiwan, v. 31, n. 4, p. 347-352, Dec. 1982.

HUMPHREYS, L.; MUIRHEAD, W. A.; FAWCETT, B.; TOWNSEND, J. Minimizing deep percolation from rice. **Farmer's Newsletter**, Washington, v. 172, p. 41-43, Dec. 1992.

ILANGOVAN, M.; KULANDAIVELU, R.; PANCHANATHAN, R. M. Climate and soil based crop water requirement for rice. **Madras Agricultural Journal**, Madras, v. 78, n.9/12, p. 358-361, Sept./Dec. 1991.

IPEA. **Arroz irrigado RS-SC**. Pelotas, 1973. 112 p. (IPEAS. Circular, 63).

IRGA. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre, 2001. 128 p.

IRRI. **Annual report for 1967**. Los Baños, 1967. 308 p.

IRRI. **Annual report for 1970**. Los Baños, 1971. 265 p.

IRRI. **Annual report for 1971**. Los Baños, 1972. 238 p.

IRRI. **Annual report for 1972**. Los Baños, 1973. 246 p.

IRUTHAYARAJ, M. R. Study on effect of water management practices and nitrogen levels on weed growth in two swamp rice varieties. **Agricultural Science Digest**, Haryana, v. 1, n. 1, p. 39-42, 1981.

JHA, K. P.; CHANDRA, D.; CHALLAIAH, D. Irrigation requirement of high-yielding rice varieties grown on soils having shallow water-table. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 51, n. 10, p. 732-737, Oct. 1981.

JHA, K. P.; MAHAPATRA, I. C.; DASTANE, N. G. Effect of moisture regimes, nutrient sprays on the grain yield and uptake of potassium and silicon in rice. **Riso**, Milano, v. 27, n. 3, p. 217-229, Sept. 1978.

JOHNSON, L. As necessidades de água na lavoura de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 269, p. 18-20, set./out. 1972.

JOHNSON, L. M. More farm power for more days of farm production per year. In: NATIONAL CONVENTION OF PUMP IRRIGATORS, 1., 1965, Manila, Philippines. **Paper presented...** Manila: [s.n.], 1965. 18 p.

JOSEPH, K.; HAVANAGI, G. V. Losses of water from rice field through evapotranspiration and percolation during different seasons under shallow water table conditions. **Agricultural Research Journal of Kerala**, Kerala, v. 26, n. 1, p. 92-95, June 1988.



- KADDAH, M. T.; LEHMAN, W. F.; ROBINSON, F. E. Tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) to salt during boot, flowering, and grain-filling stages. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 845-847, Sept./Oct. 1973.
- KAKADE, B. V.; SONAR, K. R. Nutrient uptake and yield of rice as influenced by moisture regimes. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 32, n. 1, p. 38-40, June 1983.
- KALITA, P. K.; KANWAR, R. S.; RAHMAN, M. A. Modeling percolation losses from a ponded field under variable water-table conditions. **Water Resources Bulletin**, Minneapolis, v. 28, n. 6, p. 1023-1036, Nov./Dec. 1992.
- KAWASAKI, T. Physical properties of soil, and water requirement in paddy field after direct drilling on ponding on upland conditions: fundamental studies on establishing rational management system of direct drilling of aquatic rice on dried conditions. **Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering**, v. 59, p. 10-15, 1975.
- KHANDELWAL, M. K. Meteorological aspects of wet season rice cultivation in Sunderbans region, India. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 16, n. 1 p. 25-26, Feb. 1991.
- KUNG, P.; ATTHAYODHIN, C.; KRUTHABANDHU, S. Determining water requirement of rice by field measurement in Thailand. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 14, n. 4, p. 5-18, Dec. 1965.
- LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 14, n. 12, p. 1-79, dez. 2002.
- LINS, I. D. G.; POTTKER, D.; CURVO, J. B. E. **Efeito da época de inundação do solo e da calagem sobre a toxidez de ferro na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)**. Campo Grande: EMPAER, 1982. 46 p. (EMPAER. Boletim de Pesquisa, 2).
- MACHADO, S. L. O.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E.; VILLA, S. C. C.; MARZARI, V.; OLIVEIRA, A. P. B. B.; MONTI, M. B. Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 336-339. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).
- MANZAN, R. J. Irrigação por aspersão na cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 114, p. 38-40, jun. 1984.
- MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Preparo do solo e altura da lâmina de água no estabelecimento inicial das plantas no sistema de cultivo de arroz pré-germinado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 392-393. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).
- MASTAN, S. C.; VIJAYKUMAR, B. Water management in transplanted wetland rice. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 18, n. 3, p. 38-39, Sept. 1993.
- McCAULEY, G. N. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 4, p. 677-683, July/Aug. 1990.
- MEDEIROS, R. D. de. **Efeitos do manejo de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1995. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.



MEDEIROS, R. D. de; HOLANDA, J. S. de; COSTA, M. de C. Manejo de água em arroz irrigado no Estado de Roraima. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 48, n. 420, p. 12-14, mar./abr. 1995.

MISHRA, H. S.; RATHORE, T. R.; PANT, R. C. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution, irrigation requirement and yield of rice in mollisols of the Tarai Region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 231-241, Sept. 1990.

MORAES, H. N. de. **Perfil de extração, uso consuntivo de água e características agrônômicas do arroz (*Oryza sativa* L.) em solos mineral e orgânico usando cinco níveis de lençol freático**. 1980. 102 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAES, J. F. V.; FREIRE, C. J. S. Influência da profundidade da água de inundação sobre o crescimento e a produção do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v. 9, n. 9, p. 45-48, 1974.

MOTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p. 3-6, set./out. 1990.

NAKAGAWA, S. Water requirements and their determination. In: SYMPOSIUM ON WATER MANAGEMENT IN RICE FIELD, 1975, Ibaraki. **Proceedings...** Ibaraki: Tropical Agriculture Research Center, 1976. p. 193-208.

NAVAREZ, D. C.; ROA, L. L.; MOODY, K. Weed control in wet-seeded rice grown under different moisture regimes. **Philippine Journal of Weed Science**, Manila, v. 6, p. 23-31, Dec. 1979.

NOJIMA, K.; TANAKA, I. Irrigation and drainage. In: MATSUBAYASHI, M.; ITO, R.; TAKASE, T.; NOMOTO, T.; YAMADA, N. (Ed.). **Theory and practice of growing rice**. Tokyo: Fuji, 1968. p. 399-445.

OELKE, E. A.; MUELLER, K. E. Influences of water management and fertility on rice growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 227-230, Mar./Apr. 1969.

PAINULI, D. K. Effect of drain and soil beneath bund on water loss from rice field. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 40, n. 2, p. 353-355, 1992.

PANDA, S. C.; AUCHARYYA, N.; MISRA, B. Effect of irrigation schedules on the growth and yield of rice. **Food Farming and Agriculture**, Calcutta, v. 13, n. 9/10, p. 182-185, Mar. 1981.

PANDA, S. C.; DAS, K. C.; MISRA, B.; SAHU, S. K.; ROUT, D. Effect of depth of submergence at different growth stages of dwarf *Indica* rice on the growth, yield and nutrient uptake of crop and mineral contents of soil. I. growth and yield of crop. **Oryza**, Cuttack, v. 17, n. 2, p. 85-91, Aug. 1980.

PANDA, S. C.; SAHU, S. K.; MISRA, B. Leaching loss of nitrate nitrogen under different water table depths and water management practices in rice fields. **Oryza**, Cuttack, v. 16, n. 2, p. 107-112, Dec. 1979.

PANDE, H. K. Water management practices and rice cultivation in India. In: SYMPOSIUM ON WATER MANAGEMENT IN RICE FIELD, 1975, Ibaraki. **Proceedings...** Ibaraki: Tropical Agriculture Research Center, 1976. p. 231-248.



PANDE, H. K.; MITTRA, B. N. Response of lowland rice to varying levels of soil, water, and fertility management in different seasons. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 2, p. 197-200, Mar./Apr. 1970.

PEARSON, G. A.; AYRES, A. D. **Rice as a crop for salt-affected soil in process of reclamation**. Washington: USDA, 1960. 13 p. (USDA. Production Research Report, 43).

PINTO, E. G.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E. Rendimento do arroz e manejo da irrigação e da palha de azevém no sistema mix de pré-germinado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 227-231, mar./abr. 2003.

POIRÉE, M.; OLLIER, C. **El regadio**: redes, teoría, técnica y economía de los riegos. 2 ed., Barcelona: Técnicos Asociados, 1970. 362 p.

REIS, M. de S. **Efeitos de época de retirada da água sobre o rendimento de engenho e qualidade de grãos na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1990. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

REYES, R. D.; WICKHAM, T. H. The effect of moisture stress and nitrogen management at different growth stages on lowland rice yields. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE CROP SCIENCE SOCIETY OF THE PHILIPPINES, 4., 1973, Cebu City, Philippines. **Paper presented...** [S.l.: s.n.], 1973.

SACHET, Z. P. **Consumo de água de duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) em três tratamentos de irrigação**. 1977. 90 f. Tese (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SACHET, Z. P. Consumo de água na lavoura de arroz relacionada com a altura da lâmina líquida. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 34, n. 329, p. 24-29, jul./ago. 1981.

SAHRAWAT, K. L. Influence of water regime on growth yield, and nitrogen uptake of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 12, n. 9, p. 919-932, 1981.

SANCHEZ, P. A. **Rice performance under puddled and granulated soil cropping system in Southeast Asia**. 1968. 381 p. Tese (Doutorado) – Cornell University, Ithaca.

SANDHU, B. S.; KHERA, K. L.; PRIHAR, S. S.; BALDEV, S. Irrigation needs and yield of rice on a sandy-loam soil as affected by continuous and intermittent submergence. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 50, n. 6, p. 492-496, June 1980.

SANTOS, A. B. dos; PRABHU, A. S.; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; FONSECA, J. R.; BARRIGOSI, J. A. F.; SILVA, J. G. da; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; RANGEL, P. H. N.; RABELO, R. R.; SILVA, S. C. da; COBUCCI, T.; CUTRIM, V. dos A. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas para o Estado do Tocantins. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 12 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 57).

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 565-573, abr. 1999.

SANTOS, A. B. dos; SILVA, S. C. da; ZIMMERMANN, F. J. P. Efeitos do manejo da irrigação na temperatura da água e no comportamento do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 181-183.





SASAKI, O. Effect of high water temperature on the morphology of crown roots and leaf in rice plants. **Japanese Journal of Crop Sciences**, Tokyo, v. 61, n. 3, p. 388-393, Sept. 1992.

SHARMA, S. K.; RAJAT, D. E. Effect of water regimes, levels of nitrogen and methods of nitrogen application on grain yield, protein percentage and nitrogen uptake in rice. **Riso**, Milano, v. 28, n. 1, p. 45-52, Mar. 1979.

SINGH, A. K.; SRIVASTAVA, L. K.; JAGGI, I. K.; DAS, R. O. Water percolation dynamics as influenced by submergence levels and depth of puddling in rice fields. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 213-217, 1993.

SIVANAPPAN, R. K.; SWAMINATHAN, K. R.; BALASUBRAMANIAM, M. Water management for high yielding varieties of paddy. **Riso**, Milano, v. 23, n. 3, p. 239-244, Sept. 1974.

STEINMETZ, S. **Estudos agrometeorológicos na cultura do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 11 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.002/8). Relatório final.

STEINMETZ, S. **Manejo de água na cultura do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 16 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.017/6). Relatório final.

STONE, L. F.; FONSECA, J. R. Épocas de drenagem final em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 2, p. 171-174, abr. 1980.

STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 28).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 70-76, 2004.

STONE, L. F.; OLIVEIRA, A. B. de; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 3, p. 295-301, mar. 1979a.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; OLIVEIRA, A. B. de; AQUINO, A. R. L. de. Efeitos da supressão de água em diferentes fases de crescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 2, p. 105-109, fev. 1979b.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; AQUINO, A. R. L. de. **Demanda de água da cultura de arroz irrigado**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 4 p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 5).

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. **Tensão da água do solo e produtividade do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 6 p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 19).

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 323-337, mar. 1990.

SUBRAMANIAN, S.; SUNDARSINGH S.D.; RAMASWAMI, K.P. Crop sequence studies under different irrigation regimes and manuring for Vaigai Periyar Command area. **Madras Agricultural Journal**, Madras, v. 65, n. 9, p. 567-571, Sept. 1978.



TOESCHER, C. F.; KÖPP, L. M. Produtividade do arroz sob irrigação por aspersão, em Uruguaiana-RS. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 405-406. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

TSUTSUI, H. Manejo da água para produção de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 269, p. 36-41, set./out. 1972.

TSUTSUI, H. Manejo da água para produção de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 26, n. 271, p. 10-15, jan./fev. 1973.

UNIVERSITY OF THE PHILIPPINES. **Cultivo del arroz**: manual de producción. México: Limusa, 1975. 426 p.

VAHL, L. C.; TURATTI, A. L.; GOMES, A da S. Épocas de início e término da inundação do solo para a cultivar de arroz BR-IRGA 410. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14, 1985, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 286-293.

VASCONCELLOS, J. de C. e. **O arroz**: estudo botânico. 2. ed. Lisboa: Comissão Reguladora do Comércio de Arroz, 1953. 301 p.

VERMA, T. S.; TRIPATHI, B. R. Effect of soil moisture and lime on the growth and iron and manganese nutrition of rice in an acid soil. **Oryza**, Cuttack, v. 18, n. 3, p. 119-122, Sept. 1981.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; PETRINI, J. A.; ELY, M. F. Manejo de água no sistema de cultivo de arroz pré-germinado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 373-375. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

WAHAB, K.; DANIEL, K. V. Water management in rice (*Oryza sativa*) under limited water supply. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 37, n. 1, p. 166-167, Mar. 1992.

WELLS, B. R.; SHOCKLEY, P. A. Response of rice to varying flood regimes on a silt loam soil. **Riso**, Milano, v. 27, n. 2, p. 81-87, June 1978.

WESTCOTT, M. P.; VINES, K. W. A comparison of sprinkler and flood irrigation for rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 637-640, July/Aug. 1986.

WICKHAM, T. H.; SEN, C. N. Water management for lowland rice: water requirements and yield response. In: IRRI. **Soils and rice**. Los Baños, 1978. p. 649-669.

WICKHAM, T. H.; SINGH, V. P. Water movement through wet soils. In: IRRI. **Soils and rice**. Los Baños, 1978. p. 337-358.

WOPEREIS, M. C. S.; BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; BERGE, H. F. M. ten; MALIGAYA, A. R. Water use efficiency of flooded rice fields. I. validation of the soil-water balance model SAWAH. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 277-289, Dec. 1994.

YAMADA, N. Some problems in agronomy of irrigation and drainage. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 14, n. 3, p. 13-30, Sept. 1964.

