

ISSN 1678-2518

Dezembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 130***

### **Estado nutricional do arroz: efeito da época de início de irrigação**

Walkyria Bueno Scivittaro  
Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves  
Juliana Aguilar Fuhrmann Braun  
Rosa Maria Vargas Castilhos

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392 Km 78  
Caixa Postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas, RS  
Fone: (53) 3275-8199  
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221  
Home page: [www.cpact.embrapa.br](http://www.cpact.embrapa.br)  
E-mail: [sac@cpact.embrapa.br](mailto:sac@cpact.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

**Presidente:** Ariano Martins de Magalhães Júnior  
**Secretária-Executiva:** Joseane Mary Lopes Garcia  
**Membros:** Márcia Vizzoto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio Suita de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi e Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

**Suplentes:** Isabel Helena Verneti Azambuja e Beatriz Marti Emygdio

Supervisão editorial: Antônio Luiz Oliveira Heberlé  
Revisão de texto: Ana Luiza Barragana Viegas  
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos  
Editoração eletrônica e capa: Bárbara Neves de Britto

**1ª edição**

1ª impressão (2010): 50 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).

---

Estado nutricional do arroz: efeito da época de início de irrigação / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.  
31 p. – (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 130).

ISSN 1678-2518

1. Arroz irrigado – *Oryza sativa* L. 2. Irrigação por inundação. 3. Manejo de água. 4. Nutrição. I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

CDD 633.18

---

© Embrapa 2010

## Sumário

Resumo .....	05
Abstract .....	07
Introdução .....	09
Material e Métodos .....	12
Resultados e Discussão .....	14
Conclusões .....	26
Referências .....	26

# Estado Nutricional do Arroz: Efeito da Época de Início de Irrigação

---

*Walkyria Bueno Scivittaro<sup>1</sup>*

*Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves<sup>2</sup>*

*Juliana Aguilar Fuhrmann Braun<sup>3</sup>*

*Rosa Maria Vargas Castilhos<sup>4</sup>*

## Resumo

Na região Sul do Brasil, a pesquisa tem buscado alternativas de manejo da água para o arroz irrigado por inundação do solo, visando aumentar a eficiência no uso desse recurso natural. As alterações no manejo da água podem alterar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, por proporcionarem mudanças no período e no estado de redução do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da época de início de irrigação sobre o estado nutricional do arroz. O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, em um Planossolo Háplico, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado de ciclo precoce BRS Querência. Os tratamentos compreenderam três épocas de início de irrigação para o arroz [estádios de duas a três folhas (V2-V3), de quatro a cinco folhas (V4-V5) e de sete a oito folhas (V7-V8) ou de seis a sete folhas (V6-V7), na primeira e segunda safras, respectivamente]. Avaliou-se o estado nutricional da cultura no perfilhamento pleno, na diferenciação da panícula e na floração.

---

<sup>1</sup>Eng.º Agrôn.º, Dr.ª. Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, walkyria.scivittaro@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup>Eng.º Agrôn.º, mestranda do Curso de Solos da FAEM-UFPEL, Pelotas, RS. daianar.nunes@gmail.com

<sup>3</sup>Química, MSc., pesquisadora do convênio Petrobrás/Embrapa/Fapeg, Pelotas, RS, ju.aguilar@pop.com.br

<sup>4</sup>Eng.º Agrôn.º, Dra. Departamento de Solos da FAEM-UFPEL, Pelotas, RS, rosamvc@ufpel.edu.br

No perfilhamento pleno, os teores foliares de N, P, Ca, Mg, S, Mn e Zn no arroz aumentaram com o atraso no início da irrigação. Na diferenciação da panícula, a antecipação do início da irrigação para o estágio V2-V3 proporcionou menores concentrações de K, Mg e S e maior concentração de boro no tecido foliar do arroz. O atraso na irrigação promoveu aumento nas concentrações de Mg e Fe e diminuição nas de P, B, Zn na floração. A magnitude das alterações nutricionais decorrentes da variação na época de início de irrigação é pequena, não sendo requeridas modificações nas indicações de adubação para o arroz.

Termos para indexação: *Oryza sativa* L., irrigação por inundação, manejo de água, nutrição.

# Rice Nutritional Status: Effect of the Flooding Time

---

*Walkyria Bueno Scivittaro*

*Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves*

*Juliana Aguilar Fuhrmann Braun*

*Rosa Maria Vargas Castilhos*

## Abstract

In the Southern region of Brazil, alternatives of water management for irrigated rice have been studied in order to increase water use efficiency by the crop. Changes in water management can modify nutrient availability for rice by providing changes in soil time and state of reduction. The objective of this work was to evaluate the influence of the flood timing on nutritional status of the rice crop. The experiment was carried out in two crop seasons, 2007/2008 and 2008/09, in a Typic Albaqualf, at the Lowland Experimental Station (ETB), of Embrapa Temperate Agriculture, located in the district of Capão do Leão, Rio Grande do Sul state, Brazil. An early irrigated rice cultivar, BRS Querência, was used in the study. The treatments comprised three flood timings for rice (2- to 3-leaf stage, 4- to 5-leaf stage, and 7- to 8-leaf stage or 6- to 7-leaf stage, in the first or second crop season, respectively). Rice nutritional status was evaluated at the active tillering stage (8-leaf stage – V8), the panicle differentiation stage (R1), and the anthesis stage (R4). At the active tillering stage, rice leaf concentrations of N, P, Ca, Mg, S, Mn, and Zn increased with delaying of the flood timing. At the panicle differentiation stage, early flooding for the 2- to 3-leaf stage provided the lower leaf K, Mg, and S concentrations and greater leaf B concentration. Flooding delay promoted increase in leaf Mg and Fe contents, and reduction in leaf P, B, and Zn contents at the

anthesis stage. Change magnitude in rice nutritional status due to the variation on the flood timing is small, not requiring revision on the indications of fertilization for flooded rice.

**Index terms:** *Oryza sativa* L., flooding irrigation, water management, nutrition.

# Estado Nutricional do Arroz: Efeito da Época de Início de Irrigação

---

*Walkyria Bueno Scivittaro*

*Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves*

*Juliana Aguilar Fuhrmann Braun*

*Rosa Maria Vargas Castilhos*

## Introdução

A quantidade de água disponível para irrigação é cada vez menor no mundo. As razões são diversas e específicas para cada local, mas incluem o decréscimo dos recursos hídricos e em sua qualidade e a competição crescente dos setores urbano e industrial. Em vista disso, como a demanda por alimentos é crescente, os produtores confrontam-se com um grande desafio: produzir mais com menos água, ou seja, aumentar a eficiência de uso da água pelas culturas (STONE, 2005).

No Brasil, ao cenário descrito, associa-se a perspectiva de vigilância quanto ao consumo da água, despertando os segmentos da sociedade para a necessidade de racionalização em seu uso. Este aspecto é particularmente importante para a cultura de arroz irrigado por inundação do solo, uma das mais exigentes em recursos hídricos e que tem, na irrigação, o principal componente do custo de produção (INSTITUTO, 2009). Embora já venham ocorrendo reduções no uso da água por lavouras de arroz, especialmente no Rio Grande do Sul, principal produtor nacional do grão, o estado ainda se encontra em patamares elevados, contribuindo para que a eficiência de uso da água se mantenha baixa (GOMES et al., 2008).

A demanda hídrica do arroz irrigado por inundação do solo é influenciada por vários fatores, como a duração do ciclo da cultivar, o sistema de



implantação da cultura, o período de irrigação e o controle de perdas (SCIVITTARO; GOMES, 2009). Também depende do planejamento da lavoura, no que diz respeito à locação e construção de canais de irrigação e de drenagem e a cuidados operacionais, além de aspectos relacionados às condições climáticas, aos atributos do solo e ao condicionamento de sua superfície (GOMES et al., 2004; 2008). De maneira geral, exercendo-se um manejo adequado da água, cultivando-se o arroz em solos apropriados, e assumindo-se que as etapas de planejamento e construção dos canais e que os procedimentos operacionais sejam adequados, é possível elevar a eficiência da irrigação. Neste sentido, dados de pesquisas mostram que as maiores contribuições provêm de alterações nas práticas de manejo da água e da cultura.

Pelo exposto, várias alternativas de manejo da água para o arroz vêm sendo estudadas, com vistas à redução de seu uso e à elevação da eficiência de irrigação. Entre essas, destaca-se a variação no período de irrigação, que é determinado pelas épocas de início e de supressão da irrigação.

As práticas de manejo da água para o arroz interagem com fatores abióticos, como o clima e o solo, assim como com outras práticas culturais. Por essa razão, a modificação no manejo da água pode alterar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, uma vez que esses nutrientes interferem na duração e condição de redução do solo estabelecida no ambiente de cultivo. Isto porque a submersão altera o equilíbrio de elementos e compostos presentes no solo, em resposta a transformações físicas, químicas, eletroquímicas e biológicas (SOUSA et al., 2006). Desta forma, alguns nutrientes, que não se encontram em formas prontamente disponíveis em um ambiente bem drenado, tornam-se disponíveis sob condições de submersão (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). Outros, porém, têm sua disponibilidade reduzida ou ficam mais sujeitos a perdas (VAHL; SOUSA, 2004; SOUSA et al., 2006).

O fósforo e o potássio figuram como os nutrientes mais beneficiados pela submersão do solo. O aumento na disponibilidade de fósforo em solos inundados é atribuído à sua liberação da matéria orgânica, à redução de fosfatos férricos a formas ferrosas mais solúveis, à hidrólise de fosfatos de ferro e de alumínio causada pelo aumento do pH de solos ácidos, e à liberação do fósforo adsorvido nas argilas ou nos hidróxidos de ferro e de alumínio, por troca aniônica (PONNAMPERUMA, 1972, 1977; SANCHEZ, 1980). Já a maior disponibilidade de potássio sob inundações se deve ao aumento da difusão, ao deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  (MACHADO, 1985), e à liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS; MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999).

Os cátions cálcio e magnésio não participam diretamente das reações de oxirredução em solos alagados, mas têm a solubilidade aumentada devido ao deslocamento para a solução do solo pelo manganês e, principalmente, pelo ferro, que ocupa proporção considerável dos sítios de troca (SOUSA et al., 2006).

Sob submersão, o enxofre presente na forma de sulfatos é reduzido a sulfeto. A dinâmica da redução é dependente de atributos do solo (VAHL; SOUSA, 2004); em solos ácidos, os teores de sulfato solúvel em água diminuem lentamente, podendo permanecer durante alguns meses após o início do alagamento. O sulfeto formado, por sua vez, pode reagir com hidrogênio, formando gás sulfídrico, que é tóxico às plantas de arroz, ou reagir com metais pesados, como ferro, zinco e cobre, diminuindo sua disponibilidade (VAHL; SOUSA, 2004).

Também as concentrações de manganês e ferro são aumentadas pela submersão do solo, com efeitos distintos sobre a planta de arroz. Por um lado, a maior disponibilidade desses nutrientes pode favorecer a nutrição da cultura e, por outro, os níveis atingidos podem ser tóxicos, prejudicando as plantas (SOUSA et al., 2006).

A dinâmica do nitrogênio em solos alagados é particular; na forma nítrica, o nutriente fica sujeito a perdas por desnitrificação (VAHL; SOUSA, 2004) e, ocasionalmente, por lixiviação. Em decorrência, a disponibilidade de nitrogênio para o arroz pode ser reduzida pela submersão, embora o nitrogênio na forma amoniacal seja mantido no solo em condições de redução (BEYROUTY et al., 1994).

Também os micronutrientes cobre e zinco têm sua disponibilidade reduzida pela submersão do solo. Esses nutrientes formam facilmente compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, com consequente redução da concentração na solução de solos alagados. Em solos ácidos, esse efeito se deve, ainda, à adsorção desses elementos aos coloides orgânicos, em resposta à elevação do pH (SOUSA et al., 2006).

Pelo exposto, realizou-se o presente trabalho, que teve por objetivo determinar o efeito da época de início de irrigação sobre o estado nutricional do arroz.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas safras agrícolas consecutivas (2007/08 e 2008/09), na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. O solo da área experimental, um Planossolo Háptico (SANTOS et al., 2006), apresentava as seguintes características químicas, na profundidade de 0-20cm, por ocasião da implantação do primeiro e segundo cultivos de arroz, respectivamente: argila:  $190\text{g dm}^{-3}$ ;  $\text{pH}_{(\text{água})}$ : 5,8 e 5,6; 12 e  $14\text{ g dm}^{-3}$  de MO; 13,3 e  $12,8\text{ mg dm}^{-3}$  de P; 59 e  $51\text{mg dm}^{-3}$  de K; 0,0 e  $0,1\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$  de Al; 6,5 e  $6,2\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$  de Ca + Mg e 9,1 e  $10,1\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$  de CTC. Nas duas safras, os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo foram interpretados, respectivamente, como baixo, alto e médio, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Os tratamentos compreenderam três épocas de início de irrigação por inundação do solo para o arroz, precoce, média e tardia. Em ambas as

safras, as duas primeiras épocas de início de irrigação corresponderam aos estádios de duas a três folhas (V2-V3) e de quatro a cinco folhas (V4-V5). A terceira época de início de irrigação foi antecipada do estádio de sete a oito folhas (V7-V8), adotado na safra 2007/08, para o de seis a sete folhas (V6-V7), na safra 2008/09. Essas épocas de início de irrigação corresponderam a 14, 21 e 43 dias após a emergência (dae), em 2007/08, e a 7, 13 e 36 dae, em 2008/09. A supressão da irrigação ocorreu na maturação de colheita (estádio R9). Durante o período de irrigação, foi mantida uma lâmina de água uniforme com cerca de 7,5 cm de espessura. Para o acompanhamento dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz utilizou-se, como referência, a escala de Counce et al. (2000).

Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, na primeira safra, e quatro repetições, na segunda. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 10 m x 10 m, sendo individualizadas por meio de taipas.

Em ambas as safras, o arroz foi implantado em sistema convencional de preparo do solo. As semeaduras foram realizadas em 17/11/2007 e em 9/12/2008, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidades de semeadura de 120 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis na primeira e segunda safras, respectivamente.

Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado BRS Querência, de ciclo precoce, cerca de 110 dias da emergência à maturação completa dos grãos. A adubação para o arroz foi estabelecida seguindo indicações da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (2007), considerando-se uma expectativa de incremento de produtividade de 4 t ha<sup>-1</sup>. Essa consistiu na aplicação, por ocasião da semeadura, de 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 5-20-20, na safra 2007/08, e de 280 kg ha<sup>-1</sup> de 5-25-25, na safra 2008/09. Em cobertura, realizaram-se, ainda, duas aplicações de 55 kg ha<sup>-1</sup> de N, como ureia. A primeira adubação em cobertura foi realizada em solo seco imediatamente antes do início da irrigação, de acordo com os tratamentos, e a segunda, na diferenciação da panícula (estádio R1), sobre a lâmina de água. O controle de plantas daninhas e os demais tratamentos culturais seguiram as indicações da

pesquisa para a cultura de arroz irrigado (SOCIEDADE, 2007).

A avaliação do estado nutricional da cultura foi feita em três épocas, perfilhamento pleno, diferenciação da panícula e floração, correspondendo, respectivamente, aos estádios V8, R1 e R4. Esta avaliação compreendeu a determinação dos teores de macro e micronutrientes e do índice relativo de clorofila (IRC) na folha do arroz. Para a determinação do teor foliar de nutrientes, nas duas primeiras épocas de avaliação (V8 e R1), utilizou-se amostra composta pela folha índice (última completamente desenvolvida), coletada de 40 plantas por unidade experimental. Na floração, a amostra utilizada foi constituída pela folha bandeira de 40 plantas. O material vegetal colhido foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. Após moagem, foi submetido a análises químicas para determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar, seguindo procedimentos descritos em Freire (2001).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi medido com clorofilômetro SPAD 502, da Minolta, utilizando-se a folha índice ou bandeira, de acordo com a época de avaliação, de 20 plantas por parcela. Em cada folha, os dados resultaram da média de medidas feitas nas posições basal, intermediária e apical (SILVA et al., 2003).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativa ao nível de 5%, procedeu-se à comparação das médias de épocas de início de irrigação no arroz irrigado pelo teste de Duncan (5%).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de índice relativo de clorofila (IRC) na folha do arroz, medidos nos estádios oito folhas (V8), diferenciação da panícula (R1) e floração (R4), das safras 2007/08 e 2008/09. Na

primeira safra, determinou-se efeito dos tratamentos apenas nas duas primeiras avaliações e, na segunda safra, em todas as três avaliações realizadas. Na avaliação realizada por ocasião do perfilhamento pleno (V8), os valores de IRC aumentaram com o atraso na época de início de irrigação. Explica-se esse efeito pela variação no período decorrido entre a primeira adubação nitrogenada em cobertura e a medição do IRC na folha, visto que, para todos os tratamentos, a aplicação de N ocorreu imediatamente antes do início da irrigação. Isto porque os valores de IRC correlacionam-se com a concentração de nitrogênio (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995), sendo, portanto, indicativos do nível do nutriente na planta.

Na safra agrícola 2007/08, a terceira época de início de irrigação ocorreu muito tardiamente, aos 42 dias após a emergência, devido à ocorrência de um longo período de estiagem. Possivelmente, o estresse a que a planta foi submetida no período antecedente ao início da irrigação tenha afetado seu desenvolvimento e a absorção de nutrientes, inclusive N, justificando o menor IRC na folha determinado para esse tratamento na avaliação realizada por ocasião da diferenciação da panícula (Tabela 1). Também a antecipação da irrigação pode ter proporcionado maior desenvolvimento vegetativo da planta, o que está associado à maior taxa fotossintética, conferindo maiores valores de índice relativo de clorofila na folha. Segundo Furlani et al. (1995) e Carlesso et al. (1998), a antecipação da irrigação é fator determinante do maior crescimento vegetativo da planta de arroz.

Por outro lado, na safra 2008/09, em que se adiantou a terceira época de entrada de água para V6-V7, a variação no IRC entre os tratamentos, medida em R1, foi menor, embora o valor determinado quando a irrigação iniciou em V4-V5 seja estatisticamente inferior ao das demais épocas (Tabela 1).

No ano agrícola 2008/09, na floração, o tratamento com início da irrigação em V6-V7 apresentou menor índice relativo de clorofila na folha, relativamente aos demais (Tabela 1), indicando uma possível menor disponibilidade de N no meio de cultivo decorrente do atraso no início da irrigação, com

reflexos sobre a absorção do nutriente. No Brasil, Silva et al. (2003) verificaram, para arroz irrigado, correlação entre as medidas fornecidas pelo clorofilômetro e a disponibilidade de N no solo decorrente da adubação, embora tais medidas não tenham refletido a resposta em produtividade da cultura.

Tabela 1. Índice relativo de clorofila (IRC) na folha de arroz nos estádios de oito folhas (V8), diferenciação da panícula (R1) e floração (R4), em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	V8	R1	R4
2007/2008			
V2-V3	28,6b	31,8a	29,9 <sup>ns</sup>
V4-V5	32,9a	33,8a	31,3
V7-V8	33,6a	27,6b	31,0
Média	31,7	31,1	30,8
CV, %	5,1	3,5	4,6
2008/09			
V2-V3	24,5c	28,0a	32,7a
V4-V5	28,6b	26,4b	32,7a
V6-V7	32,5a	28,3a	29,8b
Média	28,6	27,6	31,8
CV, %	3,0	2,2	2,2

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Em plantas de arroz, a medida do conteúdo de clorofila correlaciona-se fortemente à concentração de N na folha. No entanto, essa relação varia com o estágio de desenvolvimento da cultura e entre cultivares (TURNER; JUND, 1994), principalmente em razão da variação na espessura e peso específico da folha (PENG et al., 1993). Nesse sentido, Scivittaro et al. (2005) verificaram maior sensibilidade do clorofilômetro em avaliar a disponibilidade de nitrogênio no solo para avaliações realizadas por ocasião do perfilhamento pleno, relativamente àquela realizada na diferenciação da panícula.

Com relação aos teores de nutrientes na folha de arroz, para ambas as safras, de forma geral, as maiores variações entre os tratamentos foram

verificadas na avaliação realizada por ocasião do perfilhamento pleno (estádio V8). Nesta avaliação, em 2007/08, entre os macronutrientes, não houve efeito da variação na época de início de irrigação, apenas para potássio e magnésio. Na safra seguinte, a ausência de resposta aos tratamentos restringiu-se ao potássio (Tabela 2).

Com relação ao teor foliar de nitrogênio, em ambas as safras, o tratamento com época de irrigação mais tardia proporcionou valores maiores que nas demais épocas, as quais não diferiram entre si (Tabela 2). É possível que o maior conteúdo de N determinado no tratamento com entrada de água mais tardia seja reflexo do menor crescimento da planta, proporcionando maior concentração do nutriente no tecido foliar, uma vez que a condição de baixa umidade gravimétrica no solo, vigente no período antecedente ao início da irrigação do arroz, reduz a movimentação do nitrogênio por fluxo de massa, afetando sua absorção e, conseqüentemente, o crescimento da planta.

Para o fósforo, em ambas as safras, os maiores teores do nutriente foram determinados nos tratamentos com entrada de água a partir do início do perfilhamento (V4-V5 e V7/V8 ou V6/V7) (Tabela 2), o que também deve estar associado ao menor crescimento e produção de matéria seca das plantas de arroz decorrente do atraso no início da irrigação, visto que a antecipação do início da irrigação constitui-se em estratégia para intensificar a absorção de nutrientes e produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz (WIELEWICKI et al., 1998). Tal efeito suplantou aquele decorrente da maior solubilização do fósforo, proporcionado pelo maior período de redução do solo (PONNAMPERUMA, 1972, 1977; SANCHEZ, 1980).

Para o cálcio, nessa mesma época de avaliação, o efeito dos tratamentos foi distinto entre os anos. No primeiro deles, o conteúdo foliar do nutriente foi maior quando a irrigação foi iniciada até o início do perfilhamento. Contrariamente, na safra 2008/09, a irrigação mais precoce proporcionou menor teor de cálcio (Tabela 2). A variação no teor foliar de magnésio restringiu-se à segunda safra agrícola, com aumento nos valores à medida



que se atrasou a irrigação. Os cátions cálcio e magnésio, de forma geral, têm a solubilidade aumentada pela redução, em razão do deslocamento para a solução do solo pelo manganês e ferro dos sítios de troca (VAHL, 1999; SOUSA et al., 2006). Possivelmente, o comportamento diverso verificado no ano agrícola 2008/09 se deva à ocorrência de efeito de diluição, ou seja, o maior crescimento das plantas decorrente da antecipação da irrigação reduziu as concentrações de cálcio e de magnésio no tecido foliar.

Em ambas as safras, a concentração de enxofre no tecido foliar aumentou em resposta ao atraso na época de início de irrigação (Tabela 2). A disponibilidade de enxofre no solo é influenciada pela submersão do solo, havendo redução do sulfato a sulfeto. Tal reação ocorre em sequência à redução do ferro e é dependente de atributos do solo, podendo levar alguns meses para se processar a partir do alagamento do solo (VAHL; SOUSA, 2004). Portanto, muito provavelmente as diferenças nos teores de S na folha, observadas entre os tratamentos, também estejam associadas ao efeito de diluição proporcionado pela antecipação da época de entrada de água na lavoura.

Tabela 2. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz, no estágio V8, em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
2007/2008						
V2-V3	28,5b	3,6b	21,2 <sup>ns</sup>	2,9a	2,1 <sup>ns</sup>	1,8c
V4-V5	33,9b	4,2a	22,3	3,0a	2,1	2,4b
V7-V8	42,8a	4,4a	26,2	2,1b	2,0	2,9a
Média	35,0	4,1	23,3	2,7	2,0	2,4
CV, %	6,8	6,1	14,6	9,2	20,6	9,2
-----						
2008/2009						
V2-V3	25,6b	3,8a	21,3 <sup>ns</sup>	2,6b	1,6c	1,8c
V4-V5	28,2b	3,2b	19,6	3,4a	2,0b	2,1b
V6-V7	35,6a	3,5ab	21,1	3,0a	2,4a	2,7a
Média	29,8	3,4	20,7	3,0	2,0	2,2
CV, %	6,4	7,5	5,6	8,9	7,8	6,5

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Na avaliação do estado nutricional da cultura realizada no início da fase reprodutiva (diferenciação da panícula), não se determinou efeito da época de início de irrigação sobre os teores de macronutrientes no tecido foliar na safra agrícola 2007/08. Em 2008/09, diferenças entre os tratamentos foram verificadas para potássio, magnésio e enxofre (Tabela 3). Para estes nutrientes, de forma geral, as menores concentrações estiveram associadas à antecipação do início da irrigação para o estágio de duas as três folhas, o que possivelmente está associado à ocorrência de efeito de diluição decorrente do maior crescimento das plantas. Acrescenta-se que a ausência de efeito dos tratamentos observada em grande parte das avaliações de macronutrientes realizadas, em parte, pode estar associada à elevada demanda nutricional e capacidade de utilização de nutrientes da planta de arroz por ocasião do início da fase reprodutiva (SLATON et al., 1994), estimulando à absorção de nutrientes, com equiparação do efeito dos tratamentos.

Tabela 3. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na diferenciação da panícula (R1), em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
2007/2008						
V2-V3	27,3 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	12,3 <sup>ns</sup>	2,8 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
V4-V5	29,6	4,0	14,2	2,8	2,0	2,2
V7-V8	27,2	3,8	12,6	2,6	1,7	1,7
Média	28,0	3,8	13,0	2,7	1,8	2,0
CV, %	4,6	10,1	24,3	11,3	8,9	12,9
-----						
2008/2009						
V2-V3	24,0 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	17,2b	3,3 <sup>ns</sup>	1,6b	1,6b
V4-V5	25,5	2,8	19,6a	3,3	1,8ab	2,0a
V6-V7	28,0	2,9	21,1a	3,2	2,0a	2,3a
Média	25,8	3,0	19,3	3,3	1,8	2,0
CV, %	7,6	8,2	4,5	9,4	7,8	11,3

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Também na floração, estágio recomendado para avaliação do estado nutricional da planta de arroz (COMISSÃO, 2004), praticamente não se verificou efeito da época de início da irrigação sobre o teor de nutrientes na folha do arroz. Na primeira safra agrícola, apenas a concentração de magnésio foi influenciada pelos tratamentos, e na segunda, o efeito restringiu-se à concentração de fósforo (Tabela 4). Com relação à concentração de magnésio em 2007/08, o valor determinado no tratamento com início da irrigação mais tardio (V7-V8) foi superior aos dos demais tratamentos, que foram estatisticamente semelhantes. Provavelmente isso se deva ao menor crescimento das plantas de arroz decorrente do atraso no início da irrigação, proporcionando maior concentração foliar de Mg no tratamento com entrada de água em V7-V8. Por sua vez, em 2008/09, verificou-se decréscimo na concentração foliar de fósforo à medida que se postergou o início da irrigação do arroz. Este resultado reflete o aumento na disponibilidade de fósforo no solo proporcionado pelo maior período de redução. O aumento na disponibilidade de P pelo alagamento do solo é um aspecto favorável importante do sistema de irrigação por inundação contínua, sendo seus benefícios observados mais precocemente à medida que se antecipa o início da irrigação do arroz. No Brasil, tal efeito foi reportado anteriormente por Moraes e Freire (1974) e Stone et al. (1990), para solos das regiões Sul e Centro-Oeste, respectivamente. Dentre os fatores determinantes destacam-se a elevação do pH e, principalmente, a redução dos fosfatos férricos à forma ferrosa, de maior solubilidade (MORAES; FREIRE, 1974).

O efeito pouco expressivo da variação na época de início de irrigação sobre o estado nutricional do arroz por ocasião da floração foi relatado anteriormente por Stone et al. (1990), que avaliaram sistemas de irrigação contínua e intermitente, e por Wielewicki et al. (1998), ao compararem a irrigação aos 15 e 35 dias após a emergência.

Tabela 4. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na floração (R4), em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
2007/2008						
V2-V3	27,2 <sup>ns</sup>	2,8 <sup>ns</sup>	13,7 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	1,2b	2,0 <sup>ns</sup>
V4-V5	26,8	3,2	12,4	3,9	1,4b	1,8
V7-V8	25,3	3,2	12,1	4,4	1,7a	1,6
Média	26,4	3,0	12,7	3,6	1,4	1,8
CV, %	5,2	10,1	13,0	16,8	5,6	10,0
-----						
2008/2009						
V2-V3	26,3 <sup>ns</sup>	3,5a	12,0 <sup>ns</sup>	4,2 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>
V4-V5	26,5	3,2b	11,5	4,6	1,8	1,8
V6-V7	25,1	2,0c	12,2	4,0	1,6	1,9
Média	26,0	2,8	12,0	4,2	1,6	1,8
CV, %	6,5	5,0	3,8	12,8	11,2	18,3

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Em ambas as safras e independentemente da época de início de irrigação, a comparação dos resultados de teores foliares de macronutrientes na planta de arroz por ocasião da floração com as faixas de suficiência propostas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) indicou adequação para nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio. As concentrações de potássio e enxofre, contudo, não atingiram o nível crítico preconizado para a cultura, de 15 e 20 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Quanto aos micronutrientes, no perfilhamento pleno (estádio V8), a época de entrada de água influenciou os teores foliares de ferro, manganês e zinco, na safra 2007/08, e na safra subsequente, exclusivamente de Mn (Tabela 5). No primeiro ano de avaliação, maior concentração de ferro na folha de arroz foi determinada para os tratamentos com irrigação iniciando nos estádios V4-V5 e V2-V3, sendo que este último não diferiu, porém, daquele com irrigação tardia (V7-V8), com menor teor foliar de Fe. Atribui-se esse resultado ao estabelecimento do estado de redução com maior

antecedência nos tratamentos com início da irrigação mais precoce. Gonçalves (2007) verificou, para Planossolo, que a liberação de ferro para a solução ocorre a partir de sete dias após o início da irrigação e o pico máximo, aos 21 dias de alagamento. A maior absorção de ferro pelo arroz em condições inundações já foi relatada por vários pesquisadores (PANDE; MITTRA, 1970; BARBOSA FILHO et al., 1983; STONE et al., 1990), devendo-se à redução do  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  (SOUSA et al., 2006), que apresenta maior solubilidade e, em consequência, é absorvido em maior quantidade.

Para o manganês, na safra 2007/08, o tratamento com início da irrigação mais tardia (V7-V8) proporcionou maiores concentrações de manganês e zinco na folha que os demais, que foram semelhantes entre si. Em 2008/09, o comportamento observado foi próximo, com aumento no teor foliar do nutriente em resposta ao atraso na época de início da irrigação (Tabela 5). Muito embora o manganês tenha sua disponibilidade aumentada pela inundação do solo (SOUSA et al., 2006), existem vários relatos de diminuição na absorção do nutriente pelo arroz em condições de inundações, relativamente ao solo saturado (PANDE; MITTRA, 1970; OBERMUELLER; MIKKELSEN, 1974; STONE et al., 1990), ou mesmo não saturado (SENEWIRATNE; MIKKELSEN, 1961), o que é atribuído à maior absorção de silício, à menor absorção de nitrogênio nítrico e ao antagonismo entre manganês e ferro (STONE et al., 1990). O silício aumenta o poder oxidante das raízes de arroz, retardando a absorção de Fe e Mn (PANDE; MITTRA, 1970). Por outro lado, o nitrogênio nítrico favorece a acumulação de manganês (SENEWIRATNE; MIKKELSEN, 1961), o oposto ocorrendo para o N amoniacal, forma predominantemente utilizada pelo arroz inundado.

Em relação ao zinco, a menor absorção verificada nos tratamentos com irrigação mais precoce (Tabela 5) pode ser explicada pela diminuição de sua disponibilidade na solução do solo, decorrente da precipitação na forma de hidróxidos, carbonatos e sulfetos, ou ainda à adsorção por colóides orgânicos, em resposta à elevação do pH (SOUSA et al., 2006).

Tabela 5. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz no estádio V8, em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
2007/2008					
V2-V3	33 <sup>ns</sup>	6 <sup>ns</sup>	130ab	100b	10b
V4-V5	38	21	142a	130b	13b
V7-V8	30	37	122b	220a	44a
Média	34	21	132	150	22
CV, %	31,4	77,6	4,4	13,5	19,6
-----					
2008/2009					
V2-V3	9 <sup>ns</sup>	25 <sup>ns</sup>	97 <sup>ns</sup>	78c	20 <sup>ns</sup>
V4-V5	18	24	118	111b	22
V6-V7	15	14	113	153a	24
Média	14	21	109	114	22
CV, %	31,8	27,2	12,8	8,2	30,9

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Na diferenciação da panícula, o efeito da variação na época de irrigação sobre os teores de micronutrientes no arroz foi pouco expressivo, restringindo-se ao ferro, na primeira safra agrícola, e ao boro, na segunda (Tabela 6). Maior concentração de ferro no tecido foliar do arroz foi determinada no tratamento com início da irrigação em V4-V5, refletindo a dinâmica da liberação do nutriente na solução do solo. Em 2008/09, o teor de boro do tratamento com início de irrigação mais precoce (V2-V3) foi inferior ao dos demais tratamentos de início de irrigação, possivelmente devido ao maior crescimento das plantas irrigadas mais cedo.

A avaliação realizada por ocasião da floração indicou efeito da época de início de irrigação sobre os teores de cobre e zinco, em 2007/08, e de boro, cobre e ferro, na safra 2008/09 (Tabela 7). Quanto ao cobre, em 2007/08, maior teor do nutriente foi determinado para a primeira época de início de irrigação (estádio V2-V3); as demais proporcionaram resultados semelhantes. Já na safra seguinte, o comportamento verificado foi contrário, ou seja, a irrigação a partir de V4-V5 proporcionou teores foliares de cobre superiores ao da irrigação precoce. A interação de dois fatores deve ter

contribuído para os resultados divergentes obtidos: o aumento na absorção de nutrientes pelo arroz, proporcionado pela antecipação no início da irrigação do arroz (WIELEWICKI et al., 1998; VAHL et al., 1985), e a diminuição na disponibilidade de cobre no solo, pela formação de compostos de baixa solubilidade em condições de inundação (SOUSA et al., 2006).

Tabela 6. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz na diferenciação da panícula (R1), em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
2007/2008					
V2-V3	19 <sup>ns</sup>	8 <sup>ns</sup>	91b	114 <sup>ns</sup>	15 <sup>ns</sup>
V4-V5	21	6	111a	116	13
V7-V8	32	7	94b	104	12
Média	24	7	98	112	13
CV, %	21,4	35,2	5,8	11,1	9,9
-----					
2008/2009					
V2-V3	13b	6 <sup>ns</sup>	85 <sup>ns</sup>	78 <sup>ns</sup>	13 <sup>ns</sup>
V4-V5	18a	5	102	98	12
V6-V7	16a	6	161	106	14
Média	16	5	116	94	13
CV, %	8,7	30,0	35,2	16,7	22,1

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

No ano 2007/08, também o teor foliar de zinco diminuiu em resposta ao atraso no início da irrigação do arroz (Tabela 7), indicando benefício da antecipação da entrada de água na lavoura sobre a absorção do nutriente pelo arroz, a despeito de o maior período de alagamento no solo propiciar diminuição na disponibilidade de Zn no meio de cultivo (SOUSA et al., 2006).

Na segunda safra, de forma geral, a concentração de boro na planta de arroz diminuiu com o atraso no início da irrigação. Por outro lado, maior teor de ferro foi determinado nos tratamentos com início da irrigação a partir de V4-V5 (Tabela 7).

Com relação aos resultados de teores foliares de micronutrientes no arroz, particularmente na floração, estágio indicado para avaliação do estado nutricional da cultura, faz-se necessário destacar que, quantitativamente, as variações decorrentes dos tratamentos foram bastante pequenas, com pouca influência sobre a nutrição da cultura. A comparação dos valores médios de tratamentos obtidos com os referenciais disponíveis na literatura (COMISSÃO, 2004) reforça tal inferência, indicando, na primeira safra, suficiência de B, Cu e Mn. Os teores foliares de Fe e Zn não atingiram o nível crítico preconizado. No segundo cultivo, também os teores de B e Cu foram inferiores ao nível crítico do nutriente.

Tabela 7. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz na floração (R4), em função da época de início de irrigação. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS. Safra 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
2007/2008					
V2-V3	22 <sup>ns</sup>	10a	72 <sup>ns</sup>	163 <sup>ns</sup>	16a
V4-V5	22	5b	60	170	13ab
V7-V8	26	4b	47	204	12b
Média	24	6	59	179	14
CV, %	11,9	18,6	16,7	22,8	10,8
-----					
2008/2009					
V2-V3	10a	2b	38b	111 <sup>ns</sup>	10 <sup>ns</sup>
V4-V5	9ab	4a	51a	177	14
V6-V7	8b	4a	52a	200	12
Média	9	3	46	162	12
CV, %	12,0	11,2	7,6	35,6	26,2

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.



## Conclusões

A época de início de irrigação influencia o estado nutricional do arroz; a magnitude desse efeito decresce do perfilhamento pleno para a floração.

No perfilhamento pleno, a antecipação do início da irrigação para o arroz promove decréscimo nos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, manganês e zinco.

A irrigação precoce do arroz (estádio de duas a três folhas) proporciona menores concentrações de potássio, magnésio e enxofre no tecido foliar do arroz, por ocasião da diferenciação da panícula. Contrariamente, promove maior teor de boro.

Na floração, o atraso no início da irrigação reduz a concentração foliar de fósforo, boro e zinco e aumenta as de magnésio e ferro.

## Referências

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, v.18, n. 8, p. 903-910, 1983.

BEYROUTY, C. A.; GRIGG, B. C.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R. Nutrient uptake by rice in response to water management. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, p. 39-55, 1994.

CARLESSO, R.; HERNANDEZ, M. G. R. H.; RIGHES, A. A.; JADOSKI, S. O. Índice de área foliar e altura de plantas de arroz submetidas a diferentes práticas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 268-272, 1998.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Formas de potássio em solos do RS, cultivados com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ

IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999a. p. 326-329.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999b. p. 334-337.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Minerais fontes de potássio em dois planossolos do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 330-333.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-CQFS, 2004. 400 p.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.

FREIRE, C. J. da S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 201 p.

FURLANI JÚNIOR, E.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. Época de início da inundação do solo e altura de lâmina de água em arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 54, p. 413-418, 1995.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A.; FRANZ, A. F. H. Uso e manejo da água em arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 417-455.

GOMES, A. da S.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; FERREIRA, L. H. G. **A água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 44 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 250).

GONÇALVES, G. K. **Formas se disponibilidade de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** 2007. 167 p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Custo de produção do arroz irrigado no Rio Grande do Sul: sistema semidireto.** Safra 09/10. Base outubro/09. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20100705150227.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2010.

MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA-CPATB. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado.** Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 129-179.

MORAES, J. F.; FREIRE, C. J. da. Influência da profundidade da água de inundação sobre o crescimento e a produção de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 9, p. 45-48, 1974.

OBERMUELLER, A. J.; MIKKELSEN, D. S. Effects of water management and soil aggregation on the growth and nutrient uptake of rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 5, p. 627-631, 1974.

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. 197-199, 1970.

PENG, S.; GARCÍA, F. V.; LAZA, R. C.; CASSMAN, K. G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 987-990, 1993.

PONNAMPERUMA, F. N. **Physico-chemical properties of submerged soils in relation to fertility**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1977. 32 p. (Research Paper Series, 5).

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 29-96, 1972.

SANCHEZ S., L. F. Aspectos sobre suelos y fertilización del arroz de riego con énfasis en Colombia. **Arroz**, Bogotá, v. 29, n. 309, p. 22-31, 1980.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. Manejo da água e do nitrogênio na produção de arroz irrigado. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA PAMPA, 1., 2009. Pelotas, RS. **Palestras...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 259-303.

SCIVITTARO, W. B.; SCHAFER, G.; GOMES, A. da S. Uso de indicadores do nível de nitrogênio na planta de arroz para a predição da necessidade de adubação nitrogenada na diferenciação da panícula. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2005.

p. 477-479.

SENEWIRATNE, S. T.; MIKKELSEN, D. S. Physiological factors limiting growth and yield of *Oryza sativa* under unflooded conditions. **Plant Soil**, The Hague, v. 14, n. 2, p. 127-146, 1961.

SILVA, L. S. da; BOHNEN, H.; MARCOLIN, E; MACEDO, V. R. M. Doses de nitrogênio e a resposta do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: Epagri, 2003. p. 255-257.

SLATON, N. A.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R.; MILLER, D. M.; HELMS, R. S.; BEYROUTY, C. A.; WILSON JR, C. E. Efficient use of fertilizer. In: HELMS, R. S. (Ed.). **Rice production handbook**. Little Rock: University of Arkansas, 1994. p. 42-54. (Miscellany Publication, 192).

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154 p.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006, p. 185-211.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 176).

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, v. 25, n.3, p. 323-337, 1990.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. Assessing the nitrogen requirements of rice

crops with a chlorophyll meter method. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 34, p.1001-1005, 1994.

VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. (Ed.). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 119-162.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. de. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 97-118.

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, RS. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 286-293.

WIELEWICKI, A.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e a época de início da irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1. p. 17-21, 1998.