

- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área de Concentração: Solos



Dissertação

**Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta ao manejo
da água de irrigação**

Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves

Pelotas, 2010

DAIANA RIBEIRO NUNES GONÇALVES

**ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM RESPOSTA AO
MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Solos).

Orientadora: Pesq^a. Dr^a. Walkyria Bueno Scivittaro

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosa Maria Vargas Castilhos

Pelotas, 2010

Banca examinadora:

Dr^a. Walkyria Bueno Scivittaro (Orientadora)
Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado

Dr^a. Madalena Boeni
Laboratório de Solos, EEA/Cachoeirinha - IRGA

Prof. Dr. Ledemar Carlos Vahl
Depto. Solos, Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

A Deus

Dedico

***Por sempre atender aos meus
pedidos.***

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos nos momentos difíceis.

Aos meus pais Islândia e Evaldir, pelo esforço que tiveram por toda a minha vida, para que eu pudesse concluir meus estudos.

Ao meu marido Gustavo, pelo amor, carinho, segurança e por sempre me fazer feliz.

Às minhas irmãs, cunhados e sobrinhas, pelo incentivo.

À minha orientadora, Walkyria Bueno Scivittaro, que desde o início depositou confiança no meu trabalho. A ela devo grande parte do conhecimento adquirido durante estes anos.

À professora Rosa Maria Vargas Castilhos, pela co-orientação, sempre disposta em ajudar para a melhoria do trabalho.

Ao pesquisador André Andrés, pelas sugestões e apoio ao desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do laboratório de tecido vegetal da Embrapa Clima Temperado Adão e Edith, pela grande ajuda nas análises, exemplo de profissionalismo e dedicação.

Às estagiárias Rochele, Marília, Marta e Mariana, sempre dispostas em ajudar.

Aos funcionários da Estação Experimental Terras Baixas, em especial ao técnico agrícola Alcides C. M. Severo e ao funcionário Giovani Gouveia Vieira, pela dedicação e grande ajuda no desenvolvimento das atividades de campo.

Aos estagiários de campo da Estação Experimental Terras Baixas: Pricila, Andriele, Fabíola, Marcos e Jones, pelo esforço, ajuda constante e amizade.

Aos funcionários do laboratório de fertilidade do solo da Embrapa Clima Temperado Denoir e Paulinho e demais estagiários, pela amizade e carinho.

Aos colegas de aula, pelos bons momentos vividos juntos.

À todos os professores do departamento de solos da FAEM-UFPEL.

Aos amigos Jaqueline, Magali, Marla, Fernanda, Gláucia, Carla e Adilsom, pelo apoio nos momentos difíceis.

À FAPEG (Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário Edmundo Gastal) e ao CNPq, pela ajuda financeira.

À Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em nível de mestrado.

À Embrapa Clima Temperado, pelo apoio financeiro, técnico e operacional.

Enfim, a todos que de alguma forma ajudaram neste trabalho.

Resumo

GONÇALVES, Daiana Ribeiro Nunes. **Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta ao manejo da água de irrigação**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,RS.

Atualmente, a racionalização do uso da água pelo arroz é uma das prioridades do setor produtivo. Em decorrência, a pesquisa tem proposto alternativas de manejo da água para a cultura, visando à redução no uso. Porém, as alterações no manejo da água podem alterar a disponibilidade de nutrientes para o arroz. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da época de início de irrigação e da espessura da lâmina de água sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz. Para tanto, realizaram-se dois experimentos, nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, em Planossolo Háplico, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. No primeiro experimento, compararam-se o efeito de três épocas de início de irrigação (estádio V2-V3, V4-V5 e V7-V8 ou V6-V7) e no segundo, de três espessuras de lâmina de água (<1cm – solo saturado, 5cm e 10cm). Ambos os experimentos foram implantados em sistema convencional de cultivo, utilizando a cultivar BRS Querência. Avaliou-se o estado nutricional da cultura no perfilhamento pleno, diferenciação da panícula e floração e a absorção de nutrientes pelo arroz na maturação. 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 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. O atraso da irrigação além do início do perfilhamento diminuiu a absorção de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe e Mn. A espessura da lâmina de água exerceu efeito mais discreto sobre o estado nutricional do arroz. A presença de lâmina de água propiciou maior teor foliar de potássio e menores de cobre, manganês e zinco, no perfilhamento pleno. Na diferenciação da panícula, a manutenção de lâmina de água proporcionou maiores concentrações de fósforo e potássio no tecido foliar do arroz, mas promoveu redução nos teores de cobre e manganês. Na floração, a concentração foliar de potássio aumentou com a espessura da lâmina de água, sendo o efeito contrário para cálcio, boro e manganês. A variação na espessura da lâmina de água praticamente não influenciou a absorção de nutrientes pelo arroz irrigado, acompanhando a estabilidade na produção de matéria seca da planta. A época de início de irrigação exerce efeito mais marcante sobre a nutrição do arroz, comparativamente à espessura da lâmina de água. As alterações nutricionais

decorrentes de mudanças no manejo da água não justificam revisão nas indicações de adubação para o arroz irrigado.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Irrigação por inundação. Época de irrigação. Lâmina de água. Nutrição.

Abstract

GONÇALVES, Daiana Ribeiro Nunes. **Absorption of nutrients by rice in response to the management of irrigation water**. 2010. 90 p. Dissertation (Master's Degree) - Program of Post-Graduation in Agronomy, Area of Concentration: Soil. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Currently, the rationalization of the water use by flooded rice is one of the priorities of the rice productive sector. Consequently, some alternative water managements have been proposed aiming to the reduction of water use by rice crop. However, changes in water management can affect nutrient availability for rice. For this reason, a work was carried out with the objective of evaluating the effects of the flood timing and the flood depth on nutritional status and nutrient uptake by rice. The work comprised two field experiments which were conducted in a Typic Albaqualf, at the Lowland Experimental Station of the Embrapa Clima Temperado, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil, during the growing seasons of 2007/08 and 2008/09. In the first experiment, three flood timings (2- to 3-leaf stage, 4- to 5-leaf stage, and 7- to 8-leaf stage or 6- to 7-leaf stage) were tested, and in the second experiment, it was compared the effects of three flood depths (<1cm – saturated soil, 5cm, and 10cm). Both experiments were implanted in conventional system, using the cultivar 'BRS Querência'. Rice nutritional status was determined at the active tillering, panicle differentiation, and anthesis. On the other hand, rice nutrient uptake was determined at the grain maturation. At the active tillering, leaf N, P, Ca, Mg, S, Mn, and Zn concentrations increased with delaying of flood timing. At the panicle differentiation, rice subjected to early flooding (2- to 3-leaf stage) presented lowest leaf K, Mg, and S concentrations and greatest leaf B concentration. Delay flooding promoted increase in leaf Mg, and Fe concentrations, and reduction in leaf P, B, and Zn concentrations at the anthesis. Flooding delay beyond the 4- to 5-leaf stage decreased N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, and Mn uptake by rice. Flood depth effect on rice nutritional status was minor than the effect of flood timing. The presence of floodwater resulted in higher leaf potassium concentration and lower leaf copper, manganese, and zinc concentrations than in saturated soil, at the active tillering. At the panicle differentiation, the maintenance of floodwater provided the highest leaf K concentrations and the lowest leaf Cu, and Mn concentrations. At the anthesis, the leaf K concentration increased with the thickness of the water depth; an opposite effect was determined for leaf calcium, boron, and manganese concentrations. Changes in the thickness of water depth practically did not influence rice nutrient uptake, following the stability in the production of dry matter. The effects of flooding time on rice nutrition were greater than those of the water depth. Changes in rice

nutrition due to alterations on water management do not justify the revision on the indications of fertilization for flooded rice.

Key-Words: *Oryza Sativa*. Flooding irrigation. Flooding time. Water depth. Nutrition.

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

SUMÁRIO

2. ESTADO NUTRICIONAL E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM RESPOSTA À ÉPOCA DE INÍCIO DE IRRIGAÇÃO	27
2.2 Material e Métodos	31
Figura 1- Vista geral do experimento “Estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à época de início de irrigação”. Capão do Leão, RS, 2009.....	32
Fonte: GONÇALVES, 2009.....	32
2.3 Resultados e Discussão	35
2.3.1 Estado nutricional do arroz.....	35
Na Tabela 2.1 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), nota-se que 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 avaliação 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.	35
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 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 2.1). Em acréscimo, a antecipação da irrigação pode ter proporcionado maior desenvolvimento vegetativo, 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.	35

Por outro lado, na safra 2008/09, onde 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 2.1).....35

Na segunda safra, o tratamento com início da irrigação em V6-V7 apresentou menor índice relativo de clorofila na folha, relativamente aos demais, por ocasião da floração (Tabela 2.1), 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.....35

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) relatam 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.....36

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 se verificou 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 2.2).36

Com relação ao teor foliar de nitrogênio, em ambas as safras, o tratamento com época mais tardia de irrigação proporcionou valores maiores que nas demais épocas, as quais não diferiram entre si (Tabelas 2.2). 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.37

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 2.2), 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).37

Para o cálcio, nesta 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 (Tabelas 2.2). A variação no teor foliar de magnésio restringiu-se à segunda safra agrícola, com aumento nos valores à medida que se atrasou o início da 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 a concentração de cálcio e de magnésio no tecido foliar.37

Em ambas as safras, a concentração de enxofre no tecido foliar aumentou em resposta ao atraso na época de início de irrigação (Tabelas 2.2). 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 entrada de água mais precoce.37

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 2.4). 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 do solo. 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 do fosfato férrico à forma mais solúvel de fosfato ferroso (MORAES; FREIRE, 1974).....39

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.....40

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 2.7). 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).....43

No ano 2007/08, também o teor foliar de zinco diminuiu em resposta ao atraso no início da irrigação do arroz (Tabela 2.7), 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).....43

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 2.7).44

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 observadas 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. Apesar destes resultados, não se observou qualquer sintomatologia visual de deficiência de micronutrientes para o arroz, o que pode ser um indicativo de necessidade de revisão dos referenciais nutricionais em uso, que são relativamente antigos e, portanto, foram gerados para cultivares com características e exigências nutricionais distintas.....44

2.5.2 Absorção de nutrientes pelo arroz.....45

Os resultados de quantidades de macronutrientes acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação, da safra 2007/08, são apresentados nas Tabelas 2.8 e 2.9 e os da safra 2008/09, nas Tabelas 2.10 e 2.11, respectivamente.45

No primeiro ano agrícola, determinou-se efeito da época de início de irrigação sobre as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre acumuladas nos colmos e folhas do arroz (Tabela 2.8), sendo que os

tratamentos com início de irrigação precoce (V2-V3) e no início do perfilhamento (V4-V5) apresentaram maior acumulação de nutrientes que aquele com início tardio da irrigação (V7-V8). O comportamento observado reflete, por um lado, a maior produção de matéria seca da parte aérea dos tratamentos com irrigação iniciada até o início do perfilhamento e por outro, o aumento na disponibilidade de nutrientes proporcionado pelo estabelecimento antecipado da condição de redução do solo (SOUSA et al., 2006). Tais resultados concordam com aqueles descritos por Wielewicki et al. (1997) que, no Rio Grande do Sul, reportaram maior produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo arroz irrigado aos 15 dias após a emergência (dae), comparativamente à irrigação iniciada aos 35 dae. Também Beyrouthy et al. (1994), em estudo realizado em Arkansas (EUA), verificaram redução na acumulação de nutrientes pelo arroz em decorrência do atraso no início da irrigação para o estágio de diferenciação da panícula, atribuindo-a à diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e à menor disponibilidade de nutrientes no solo. Contrariamente, Scivittaro et al. (2006) reportaram benefício do atraso no início da irrigação em até três semanas após o início do perfilhamento sobre a nutrição do arroz cv. BRS 7 'Taim', atribuindo esse efeito à menor incidência de bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), cujos danos ao sistema radicular das plantas foram tanto maiores quanto mais precoce a submersão do solo.....45

Nessa safra (2007/08), os dados de exportação de nutrientes pelos grãos acompanharam aqueles descritos para nutrientes acumulados nos colmos e folhas. A exceção do enxofre, o atraso na submersão do solo proporcionou redução nas quantidades de nutrientes exportadas pelos grãos. Para N, P e K, não houve, porém, distinção entre as duas primeiras épocas de início de irrigação. Já para o cálcio, sobressaiu-se o efeito da irrigação antecipada para V2-V3, que proporcionou maior exportação do nutriente relativamente às demais épocas de entrada de água. Quanto ao magnésio, houve redução gradativa nas quantidades exportadas pelos grãos com o atraso na época de início de irrigação (Tabela 2.9). Tais resultados refletem, basicamente, a maior produção de matéria seca e disponibilidade de nutrientes decorrente da antecipação da entrada de água na lavoura de arroz.....45

Em 2008/09, a época de início de irrigação influenciou a acumulação de nitrogênio, potássio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas (Tabela 2.10) e a exportação de P, K e Mg pelos grãos de arroz (Tabela 2.11). Divergindo do que se verificou no ano anterior, o atraso da irrigação para V6-V7 proporcionou maior acumulação de N, K, Mg e S na parte aérea das plantas de arroz, em comparação às demais épocas de entrada de água (Tabela 2.10). Esse efeito não se manifestou nas quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos, que, para fósforo, potássio e magnésio, diminuíram com o atraso na irrigação (Tabela 2.11). Dois fatores explicam esse decréscimo: a menor produção de massa seca (APENDICE C) e disponibilidade desses nutrientes no solo (SOUSA et al., 2006).....46

Ainda com relação às Tabelas 2.8 a 2.11, destacam-se as quantidades elevadas de macronutrientes absorvidas pela planta de arroz, particularmente N, P e K, que, em algumas situações, superam aquelas normalmente fornecidas à cultura, via adubação, indicando que parte considerável dos nutrientes utilizados pelo arroz são supridos pelo meio de cultivo, incluindo solo, água de

irrigação e resíduos de cultivos anteriores. Em ambos os anos, o potássio foi o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz, seguido do nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Por sua vez, a exportação de nutrientes pelos grãos decresceu na seguinte ordem: $N > K > P > Mg > S > Ca$. Os resultados obtidos aproximam-se daqueles reportados por Reis et al. (2005), que, na média de três cultivares de arroz, verificaram exportação pelos grãos de 60% do nitrogênio, 59% do fósforo, 47% do enxofre, 23% do magnésio, 19% do cálcio total e 15% do potássio total da parte aérea.....47

Entre as safras, apenas as quantidades de potássio na parte aérea do arroz apresentaram variações representativas, sendo as quantidades do nutriente acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos superiores em 2008/09, refletindo maior disponibilidade no meio de cultivo, proporcionada por adubação mais pesada. Também os resíduos culturais do ano anterior podem ter contribuído para a maior disponibilidade do nutriente, visto que a manutenção da palhada restituiu ao solo entre 80% e 90% do potássio absorvido pelo arroz (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).48

Apenas na primeira safra agrícola (2007/08) a variação na época de início de irrigação influenciou a absorção de micronutrientes pelo arroz, sendo a acumulação de boro, ferro e manganês nos colmos e folhas maior nos tratamentos em que a entrada de água ocorreu até o início do perfilhamento das plantas (estádio de quatro a cinco folhas), relativamente à época mais tardia de início de irrigação (V7-V8) (Tabela 2.12). Este resultado está associado à produção de matéria seca das plantas em resposta à variação na época de início de irrigação, visto que os teores de nutrientes na planta pouco variaram entre os tratamentos (APÊNDICE H), muito embora a antecipação da submersão do solo seja uma situação favorável ao aumento da disponibilidade de ferro e manganês no solo (SOUSA et al., 2006). Beyrouy et al. (1994), no Arkansas (EUA) verificaram redução na absorção de Mn e Zn pelo arroz quando do atraso da irrigação para o início da fase reprodutiva. Quanto ao boro, este nutriente tem a sua disponibilidade aumentada pela elevação do pH (McBRIDE, 1994), decorrente do estabelecimento da condição de redução.....48

Ainda na safra 2007/08, determinou-se redução nas quantidades de B, Cu, Fe, Mn e Zn exportadas pelos grãos de arroz em resposta ao atraso no início da irrigação; de forma geral, as diferenças mais marcantes ocorreram para o tratamento com irrigação mais tardia (V7-V8) (Tabela 2.13). Para estas variáveis, além da menor produção de matéria seca, o efeito observado reflete a menor concentração desses nutrientes no tecido vegetal dos grãos.49

2.4 Conclusões.....51

3. ESTADO NUTRICIONAL E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM RESPOSTA À ESPESSURA DE LÂMINA DE ÁGUA52

3.3 Resultados e Discussão.....60

3.3.1 Estado nutricional do arroz.....60

Na Tabela 3.1 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. Em ambas as safras, não houve efeito da variação na espessura da lâmina de água sobre variável índice relativo de clorofila (IRC) nas três épocas de avaliação. Este

resultado mostra que a variação no manejo da água não influenciou a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, bem como a absorção do nutriente pelo arroz, uma vez que os valores de IRC são indicativos do nível do nutriente na planta, por se correlacionar de forma direta com a concentração de N no tecido foliar (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995). Em arroz irrigado, essa correlação foi verificada em estudos anteriores, sendo influenciada por diferentes fatores, como cultivar, estágio de desenvolvimento (TURNER; JUND, 1994), espessura e peso específico da folha (PENG et al., 1993).....60

Em ambas as safras, os maiores valores de IRC foram determinados no estágio de oito folhas (V8) e os menores, na diferenciação da panícula. Na floração, os valores determinados foram pouco menores que em V8 (Tabela 3.1). Este resultado reflete tanto a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, proporcionada pelas adubações nitrogenadas em cobertura, que foram realizadas no início do perfilhamento (estádio de quatro a cinco folhas) e na diferenciação da panícula (imediatamente após a avaliação do estado nutricional da cultura), como a demanda e capacidade de utilização de N pelo arroz, a qual se intensifica na fase reprodutiva (SLATON et al., 1994).60

No perfilhamento pleno (estádio V8), a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado não mostrou efeito dos tratamentos sobre os teores de macronutrientes na safra 2007/08 (Tabela 3.2).....61

Na safra 2008/09, a variação na espessura da lâmina de água influenciou os teores foliares de potássio e enxofre (Tabela 3.2). Assim, a concentração de potássio foi maior nos tratamentos com manutenção de lâmina de água, relativamente àquele em que se manteve o solo apenas sob umidade de saturação. Explica-se a maior absorção de potássio na presença de lâminas de água de maior espessura pela magnitude mais elevada da condição de redução estabelecida na presença de lâmina de água, favorecendo a difusão e deslocamento do potássio dos sítios de troca para a solução (MACHADO, 1985) e a liberação do nutriente das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS; MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999). Sarwar e Khanif (2005) avaliaram o efeito de diferentes regimes de umidade no potencial redox do solo, verificando que lâminas de água de 5cm de espessura antecipam a redução e proporcionam valores de potencial redox mais negativos, comparativamente à lâmina de 1cm.61

Quanto ao enxofre, o teor foliar do nutriente proporcionado pelo tratamento com lâmina de água intermediária (5cm) foi maior que o dos demais, que não diferiram entre si (Tabela 3.2). Ressalta-se que, embora estatisticamente significativas, as diferenças entre os tratamentos foram tênues, com efeito muito discreto sobre a nutrição do arroz.....62

Já no início da fase reprodutiva (diferenciação da panícula), a variação na espessura da lâmina de água exerceu efeito, apenas, sobre a concentração de fósforo no tecido foliar, na safra 2007/2008, e na safra seguinte, também na de potássio (Tabela 3.3).....62

O efeito observado para ambos os nutrientes e safras foi semelhante, qual seja: os tratamentos com manutenção de lâmina de água (5cm e 10cm) propiciaram maior concentração foliar de nutriente que aquele com solo saturado (Tabela 3.3). Isso pode ser atribuído ao estado de redução antecipada e mais intenso estabelecido na presença de lâminas de água de espessura

intermediária (5cm) a alta (10cm), com consequentes aumentos na disponibilidade de fósforo e potássio na solução do solo e absorvidos pelo arroz (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SOUSA et al., 2006).....62

Por sua vez, a avaliação do estado nutricional da cultura realizada por ocasião da floração indicou efeito dos tratamentos de espessura de lâmina de água exclusivamente para os teores foliares de potássio e cálcio, na safra 2007/08 (Tabela 3.4). A concentração de potássio aumentou proporcionalmente à espessura da lâmina de água. Assim como descrito para as avaliações realizadas em estádios anteriores, atribui-se a maior concentração de potássio no tecido foliar do arroz cultivado em presença de lâmina de água ao grau de redução do solo mais intenso, proporcionando maior disponibilidade do nutriente em solução (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SOUSA et al., 2006). Para o cálcio, os teores foliares determinados para os tratamentos com presença de lâmina de água (5 cm e 10 cm) foram semelhantes entre si e inferiores ao do tratamento sem lâmina de água (umidade de saturação). É provável que a maior disponibilidade de potássio em solução, decorrente de lâminas de água de maior espessura, tenha inibido a absorção de cálcio pelo arroz, visto que os dois cátions competem pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA, 2006). Isto ocorreu a despeito de o cálcio em ambiente reduzido ter a sua solubilidade aumentada em razão do deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo pelos cátions ferro e manganês (VAHL, 1999; SOUZA et al., 2006).....63

Na safra 2008/09, não se determinou influência da presença / espessura da lâmina de água sobre as concentrações de macronutrientes no tecido foliar de arroz (Tabela 3.4).....63

Os resultados de ambos os anos, particularmente aqueles referentes à amostragem realizada na floração (estádio recomendado para a avaliação do estado nutricional da planta de arroz (COMISSÃO, 2004)), revelam ausência ou efeito tênue da variação na espessura da lâmina de água sobre a nutrição do arroz irrigado. Isto é um indicativo bastante favorável da possibilidade de diminuição da espessura, ou mesmo eliminação, da lâmina de água, como estratégia para a redução da demanda hídrica da cultura, sem prejuízos para sua nutrição.....64

Acrescenta-se com relação à avaliação do estado nutricional do arroz que a comparação dos teores médios de macronutrientes no tecido vegetal, determinados na floração, com as faixas de suficiência preconizadas para a cultura indicou, para a safra 2007/08, adequação para nitrogênio, fósforo e cálcio. As concentrações de potássio, magnésio e enxofre foram pouco inferiores aos níveis críticos estabelecidos pela cultura. Na safra 2008/09, independentemente do manejo da água praticado, os teores de fósforo, potássio e enxofre foram inferiores aos níveis críticos estabelecidos para o arroz irrigado, os demais macronutrientes estiveram dentro das faixas de suficiência indicadas pela Comissão (2004). Apesar desses resultados, em ambos os anos não se observou nenhuma sintomatologia visual de deficiência desses nutrientes para o arroz ao longo de todo o seu ciclo.....64

A avaliação realizada por ocasião da diferenciação da panícula indicou efeito da espessura da lâmina de água sobre os teores de cobre e manganês, na safra 2007/08, e de ferro, na safra de 2008/09 (Tabela 3.6). Como no

perfilhamento pleno, atribui-se a menor absorção de cobre nos tratamentos com manutenção de lâmina de água (safra 2007/08) à diminuição na disponibilidade do nutriente sob redução, decorrente da formação de compostos de baixa solubilidade e de sua adsorção a colóides orgânicos (SOUSA et al., 2006). Schmidt et al. (2009) relataram maior adsorção de cobre em resposta à elevação do aumento do pH proporcionado pelo alagamento do solo. Por sua vez, Bertoni et al. (1999) atribuíram a redução na disponibilidade de cobre no solo decorrente do alagamento ao aumento das quantidades solúveis de Fe, Mn, Ca, Mg e K, que competiriam com o cobre pela absorção. Também nessa fase do ciclo da cultura, a absorção de manganês foi bem menor em presença de lâmina de água (Tabela 3.6). Segundo Sims e Patrick (1978), o Mn solubilizado pela inundação do solo pode, em seguida, ser retido pela fase sólida, precipitar na forma de hidróxidos ou precipitar com o fósforo da solução, mecanismos que explicariam os resultados obtidos. Em 2008/09, a concentração foliar de ferro foi maior no tratamento lâmina de água de 5cm; os demais tratamentos foram semelhantes entre si (Tabela 3.6). Tal resultado deve estar relacionado à interação competitiva com manganês (MALAVOLTA, 2006), uma vez que o aumento na absorção de um desses nutrientes necessariamente condiciona redução na absorção do outro e vice-versa.....65

.....66

Na floração, a variação na espessura da lâmina de água exerceu efeito sobre os teores de boro e manganês, em 2007/08, e exclusivamente de manganês, na safra de 2008/09. A presença de lâmina de água proporcionou menor concentração foliar de B e Mn, comparativamente ao solo saturado. Confirmando resultados de avaliações anteriores, o manganês teve sua absorção diminuída na presença de lâmina de água (Tabelas 3.7), refletindo a menor disponibilidade devida retenção na fase sólida do solo e/ou a precipitação na forma de hidróxidos ou fosfatos (Sims; Patrick, 1978).....66

Confrontando-se os dados médios obtidos na floração, em ambas as safras, com os padrões disponíveis para lavouras produtivas (COMISSÃO, 2004), foi verificada suficiência, apenas para cobre e manganês. Os demais micronutrientes não atingiram o nível crítico. Também para os micronutrientes não se observou sintomatologia visual de deficiência nutricional para o arroz. Assim, é possível que a exigência nutricional da cultivar em avaliação (BRS Querência) seja menor que as estabelecidas no padrão disponível.68

Os resultados de quantidades de macronutrientes acumulados nos colmos e folhas e exportados pelos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água da safra 2007/08 são apresentados nas tabelas 3.8 e 3.9 e os da safra 2008/09, nas Tabelas 3.10 e 3.11, respectivamente.....68

No primeiro ano agrícola, apenas as quantidades de cálcio e enxofre acumuladas nos colmos e folhas do arroz foram influenciadas pela espessura da lâmina de água. A manutenção de uma lâmina de água mais espessa (10cm) propiciou maior acumulação de ambos os nutrientes na parte aérea da planta de arroz, comparativamente aos tratamentos com lâmina baixa ou com omissão desta (Tabela 3.8). Este efeito reflete tanto a maior produção de matéria seca, como o aumento na disponibilidade de cálcio e enxofre proporcionados pela lâmina de 10 cm (APÊNDICES L e M). Embora não participe diretamente das reações de oxirredução que se processam sob

alagamento, o cálcio tem sua solubilidade aumentada devido ao deslocamento para a solução do solo pelo manganês e ferro (SOUSA et al., 2006), sendo a intensidade desse efeito diretamente proporcional à condição de redução estabelecida. O enxofre, contrariamente, tem a disponibilidade da forma preferencialmente absorvida pelas plantas (sulfato) diminuída pela redução, porém essa é uma reação que se processa em sequência à redução do ferro, o que pode levar até alguns meses para se processar em solos ácidos (VAHL; SOUSA, 2004).....68

Na mesma safra (2007/08), não se observou efeito da variação na espessura da lâmina de água sobre as quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos (Tabela 3.9), indicando que as diferentes condições de redução proporcionadas pela presença ou não de lâmina de água, bem como pela variação em sua espessura, têm pouco efeito sobre o desempenho produtivo e absorção de nutrientes pelo arroz. Isto é válido para cultivos estabelecidos sob condições adequadas de clima e de manejo, visto que a presença de lâmina de água traz benefícios importantes à cultura, particularmente exercendo efeito termorregulador e promovendo o controle de plantas daninhas não aquáticas (SOCIEDADE, 2007).....69

Em 2008/09, o efeito da variação na espessura da lâmina de água foi ainda mais restrito, manifestando-se, apenas, sobre a quantidade de cálcio acumulada nos colmos e folhas do arroz. O comportamento observado foi distinto, entretanto, daquele reportado para o ano anterior, ou seja, a acumulação de cálcio na parte aérea da planta foi maior na ausência da lâmina de água, decrescendo a medida que se aumentou sua espessura (Tabela 3.10). Este efeito esteve associado à variação na produção de matéria seca dos colmos e folhas e na concentração de cálcio no tecido vegetal, que diminuíram com o aumento da espessura da lâmina de água (APÊNDICES L e O).....69

Os resultados relativos à exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelos grãos foram semelhantes ao do primeiro ano agrícola, não havendo efeito da espessura da lâmina de água sobre as quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos (Tabela 3.11). Isto reforça observações da safra anterior de que as variações no estado de redução decorrentes de diferentes espessuras de lâmina de água têm efeito discreto sobre a absorção e acumulação desses nutrientes nos grãos de arroz.....70

É importante ressaltar que esses resultados foram gerados em anos agrícolas onde a produtividade do arroz foi limitada por motivos associados ao clima e ao manejo da cultura, havendo pouca resposta do arroz aos tratamentos de espessura de lâmina de água. É possível que, em cultivos com melhor desempenho produtivo, haja maior resposta da cultura à variação no manejo da água, com reflexos sobre a absorção de nutrientes.70

Estudo anteriores (CHERIAN et al., 1968; JUGSUJINDA; PATRICK JR, 1977; SENG et al., 1999) relataram benefícios da presença de lâmina de água sobre a absorção de alguns nutrientes pelo arroz, porém os efeitos mais importantes estiveram associados à comparação do arroz irrigado por inundação do solo com aquele cultivado em condições aeróbicas.....70

As quantidades de nutrientes (N, P e K) fornecidas via adubação não suprimiram integralmente a demanda da cultura, mesmo com produtividades de grãos menores que o potencial produtivo da cultivar BRS Querência, indicando que

parte dos nutrientes absorvidos é oriunda de outras fontes (solo, resíduos de cultivos anteriores e água de irrigação). Em ambas as safras, o potássio foi o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz, seguido do nitrogênio, fósforo, cálcio/magnésio e enxofre (Tabelas 3.8 a 3.11). O nitrogênio ocupou a primeira colocação em exportação pelos grãos, seguido do potássio, fósforo, magnésio, enxofre e, finalmente, o cálcio (Tabelas 3.9 e 3.11). De forma geral, as quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea e exportadas pelos grãos foram um pouco maiores na segunda safra, possivelmente em razão da magnitude da adubação básica de semeadura.....71

A acumulação de micronutrientes na planta de arroz foi mais sensível às alterações no estado de redução do solo, proporcionadas pela variação na espessura da lâmina de água. Esse efeito foi mais intenso na safra 2007/08, onde se determinou efeito dos tratamentos sobre as quantidades de cobre, ferro, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos (Tabela 3.12 e 3.13). Em 2008/09, a influência dos tratamentos manifestou-se, apenas, sobre as quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas (Tabela 3.14), não havendo efeito na exportação pelos grãos (Tabela 3.15).71

Em 2007/08, maiores quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas foram determinadas para o tratamento com lâmina de água de 10cm, relativamente aos demais, que não diferiram entre si. Para o ferro, o efeito dos tratamentos com presença de lâmina de água foi superior ao do solo saturado (Tabela 3.12). De forma geral, esse resultado está associado à quantidade de matéria seca dos colmos e folhas, que foi superior no tratamento com lâmina de água mais espessa (APÊNDICE L), visto que as variações entre tratamentos nas concentrações desses micronutrientes foram pequenas (APÊNDICE Q). Nessa mesma safra, a exportação de cobre e manganês pelos grãos também foi superior para o tratamento com lâmina de água de 10cm. Já para o ferro, maior exportação ocorreu sob lâmina de 5cm (Tabela 3.13). Tais resultados refletem, basicamente, as variações na produção de matéria seca e nos teores de nutrientes no tecido vegetal proporcionadas pelos tratamentos.....71

Na segunda safra (2008/09), as quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas decresceram com o aumento da espessura da lâmina de água (Tabela 3.14), refletindo as variações na produção de matéria seca da parte aérea e nas concentrações desses nutrientes no tecido vegetal. Segundo Sousa et al. (2006), a concentração de cobre e zinco é reduzida em ambientes reduzidos, devido à formação de compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, ou à sua adsorção aos colóides orgânicos do solo. Por outro lado, a menor absorção de manganês em ambiente mais reduzido deve estar associada à diminuição na disponibilidade devido à retenção na fase sólida do solo e/ou a precipitação na forma de hidróxidos ou fosfatos (Sims; Patrick, 1978).....72

A ausência de significância dos tratamentos sobre a exportação de micronutrientes pelos grãos de arroz em 2008/09 (Tabela 3.15) está associada, principalmente, à pequena variação na produção de massa seca dos grãos (APÊNDICE L).73

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....76

APÊNDICES.....	86
-----------------------	-----------

1- INTRODUÇÃO GERAL

A quantidade de água disponível para irrigação é cada vez menor no mundo. As razões são diversas e específicas para cada local, mas incluem decréscimo dos recursos hídricos e em sua qualidade e 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, o que envolve tanto economia de água, como aumento da produtividade da água, ou seja, da eficiência de irrigação.

No Brasil, ao cenário descrito, associa-se a perspectiva de cobrança pelo uso da água, despertando os segmentos da sociedade para a necessidade de racionalização de 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, um dos componentes mais onerosos do custo de produção. Embora já venham ocorrendo reduções no uso da água por lavouras de arroz, especialmente no Rio Grande do Sul, principal produtor nacional do grão, este ainda se encontra em patamares elevados, contribuindo para que a eficiência de uso da água se mantenha baixa.

A demanda hídrica do arroz irrigado por inundação do solo é influenciada por vários fatores, como a duração do ciclo da cultivar utilizada, o sistema de implantação da cultura, a época de início e de supressão do fornecimento de água à cultura (período de irrigação), a espessura da lâmina de água, o controle de perdas decorrentes de infiltrações laterais e percolação e, eventualmente, por escoamento sobre as taipas. Também depende do planejamento da lavoura, no que diz respeito à locação e construção de canais de irrigação e de drenagem e de cuidados operacionais, além de aspectos relacionados às condições climáticas, atributos do solo e do condicionamento de sua superfície (nivelamento ou sistematização). 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, a pesquisa vem estudando várias alternativas de manejo da água para o arroz, com vistas à redução de seu uso e a elevação da eficiência de irrigação. As estratégias em avaliação variam em função do sistema de implantação da cultura e contemplam diferentes aspectos, com destaque para variações no sistema e período de irrigação, espessura da lâmina de água e na duração do ciclo da cultivar de arroz.

As práticas de manejo da água são influenciadas/interagem de forma distinta com fatores abióticos, particularmente clima e solo, e com outras práticas culturais, podendo requerer adequações no manejo da cultura. Nesse sentido, as alterações no manejo da água com vistas à redução em seu uso podem alterar a disponibilidade de nutrientes para o arroz e requerer adequações no sistema de recomendação de adubação vigente, uma vez que interferem na duração e condição de redução do solo estabelecida no ambiente de cultivo. Isto porque a química dos solos alagados difere bastante daquela presente em solos bem drenados. Em condições de submersão, os solos sofrem transformações químicas, decorrentes do processo de redução provocado por microorganismos anaeróbios, que utilizam o oxigênio de compostos oxidados para o seu metabolismo. As transformações decorrentes do alagamento favorecem a disponibilização dos nutrientes do solo, tanto os nativos deste, quanto os provenientes de fertilizantes, principalmente o

fósforo, o potássio e o cálcio. Também ocorre a elevação do pH dos solos ácidos para valores entre 6,0 e 6,5 e a consequente eliminação do alumínio trocável.

Com base no exposto, desenvolveu-se o presente trabalho que teve por objetivo a avaliação da influência de alterações no manejo da água sobre a nutrição do arroz. Foram realizados dois experimentos, apresentados separadamente neste trabalho, em forma de capítulos. O primeiro deles trata da influência da época de início de irrigação e o segundo, da espessura da lâmina de água sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz.

Com base nesse objetivo, desenvolveu-se a seguinte hipótese:

O manejo da água de irrigação influencia o estado nutricional e a absorção de nutrientes pelo arroz irrigado.

2. ESTADO NUTRICIONAL E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM RESPOSTA À ÉPOCA DE INÍCIO DE IRRIGAÇÃO

2.1 Introdução

A orizicultura irrigada é uma atividade de grande importância econômica e social para o Brasil, especialmente para o Rio Grande do Sul, que responde por mais de 60% da produção nacional de arroz (CONAB, 2009). Uma particularidade da lavoura de arroz irrigado no Estado refere-se ao nível tecnológico adotado, que é alto, garantindo produtividades elevadas à custa da utilização sistemática de agroquímicos, com risco de eutrofização e contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos. Por este e outros aspectos, como a inundação de extensas áreas, a lavoura arrozeira é enquadrada como atividade de potencial poluidor alto, pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Leopoldo Roessler, responsável pelo licenciamento ambiental da atividade (FEPAM, 2004).

Muito embora tal pressuposição não esteja alicerçada em dados científicos (MACEDO; CHAVES, 2006), tem gerado conflitos, especialmente quanto ao uso da água, insumo que o arroz demanda em quantidade elevada (GOMES et al., 2004; SOCIEDADE, 2007).

É consenso, junto ao meio científico, que o desenvolvimento e sustentabilidade da atividade orizícola no Estado requerem a adoção de práticas de manejo que otimizem o uso da água e proporcionem ganhos de produtividade à cultura, sem comprometer a qualidade ambiental. Embora já venham ocorrendo reduções no uso da água por lavouras de arroz, este ainda se encontra em patamares elevados, em torno de 12 mil m³ ha⁻¹ (GOMES et al., 2008), contribuindo

para que a eficiência de uso da água (relação entre a produção de grãos e a quantidade de água aplicada) se mantenha baixa.

A demanda hídrica do arroz irrigado por inundação é influenciada por vários fatores: sistema de cultivo, período de irrigação, altura da lâmina de água, duração do ciclo da cultivar utilizada e o controle de perdas. Também depende do planejamento da lavoura e de cuidados operacionais na irrigação, além de aspectos relacionados às condições climáticas, atributos do solo e ao condicionamento da superfície do terreno (nivelamento ou sistematização). 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 os procedimentos operacionais sejam adequados, é possível elevar a eficiência da irrigação; as maiores contribuições têm sido obtidas por meio de alterações nas práticas de manejo da água e da cultura.

Várias estratégias vêm sendo estudadas visando aumentar a eficiência do uso da água pelo arroz. Para o sistema de semeadura em solo, onde a irrigação da lavoura inicia-se alguns dias após a emergência, uma das alternativas possíveis é a variação na época de início de irrigação. Os resultados disponíveis na literatura apresentam divergências quanto à melhor época de início da irrigação para o arroz, as quais são dependentes da disponibilidade de água, ciclo da cultivar e do tipo de herbicida utilizado (SOCIEDADE, 2007).

Cultivares de ciclos muito precoce ou precoce, por serem mais sensíveis a estresses, requerem que a irrigação da lavoura inicie mais cedo, nos estádios de três a quatro folhas (15 a 20 dias após a emergência) (SCIVITTARO et al., 2008), enquanto que para cultivares de ciclo médio ou tardio, o início da submersão do solo pode ser postergado para os estádios de quatro a seis folhas (20 a 30 dias após a emergência) (VAHL et al., 1985; SCIVITTARO et al., 2005; SCIVITTARO; GOMES, 2009). Do mesmo modo, o uso de herbicidas em pré-emergência, com poder residual maior, além de contribuir para que o estabelecimento das plantas de arroz ocorra livre de competição com plantas daninhas, possibilita que o início da irrigação seja realizado até 30 dias após a emergência das plântulas (ANDRES et al., 2007). Por outro lado, quando o controle de plantas daninhas é feito em pós-emergência, é fundamental que a aplicação de herbicida seja feita precocemente, com uma a três folhas, diminuindo a dose requerida e aumentando a eficiência de controle (SOCIEDADE, 2007). Para tanto, a irrigação e o estabelecimento da lâmina de água

devem ocorrer logo após a aplicação do herbicida, evitando a reinfestação da área (RAMÍREZ et al., 1999; MENEZES; RAMIREZ, 2003; RAMIREZ et al., 2003; RAMIREZ et al., 2007).

A recomendação atual da pesquisa preconiza que o início da irrigação para o arroz ocorra até 30 dias após a emergência (SOCIEDADE, 2007). Na prática, isso conduz a situações bastante contrastantes: em um extremo, produtores iniciam a irrigação cerca de 10 dias após a emergência (V2-V3) e em outro, a irrigação definitiva é postergada até próximo do início da fase reprodutiva, com várias outras possibilidades intermediárias. Cada um desses manejos de água requer a adoção de práticas culturais específicas, com efeitos distintos sobre o ambiente de cultivo e o desempenho da cultura. Este fato pode ter influência marcante na disponibilidade de nutrientes para o arroz, em razão na variação do período de inundação do solo, requerendo adequações nas recomendações de adubação para a cultura.

A inundação do solo propicia um ambiente particular para o crescimento e nutrição da planta de arroz, que difere amplamente daquele existente em solos bem drenados. A saturação por água altera o equilíbrio dos elementos e compostos presentes no solo devido ao desencadeamento de uma série de transformações físicas, biológicas, eletroquímicas e químicas (SOUSA et al., 2006). Alguns nutrientes, que não se encontram em formas prontamente disponíveis em um ambiente bem drenado, tornam-se disponíveis sob condições de submersão. Esse efeito é muito importante para fósforo e potássio, cuja resposta da planta à adubação é relativamente baixa (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SCIVITTARO; GOMES, 2004). O aumento inicial na disponibilidade de fósforo na solução de solos alagados deve-se aos seguintes fatores: liberação do fósforo da matéria orgânica, redução de fosfatos férricos a formas ferrosas mais solúveis, hidrólise de fosfatos de ferro e de alumínio causada pelo aumento do pH de solos ácidos e liberação do fósforo adsorvido nas argilas ou nos hidróxidos de ferro e de alumínio, por troca aniônica. O decréscimo posterior pode ser atribuído à readsorção dos fosfatos pelas argilas e hidróxidos de alumínio, na camada reduzida, ou à precipitação de fosfatos ferrosos, decorrentes do acúmulo de Fe^{2+} e do aumento do pH (PONNAMPERUMA, 1972, 1977; SANCHEZ, 1980. Quanto ao potássio, a maior disponibilidade sob inundação é explicada pelo aumento da difusão, deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions NH_4^+ , Fe^{2+} e Mn^{2+} (MACHADO, 1985) e liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS; MEURER,

1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999). Contrariamente, o nitrogênio na forma nítrica fica sujeito a perdas por desnitrificação (VAHL; SOUSA, 2004) e, eventualmente, lixiviação. Em consequência, a disponibilidade do nutriente para as plantas de arroz pode ser reduzida pelo alagamento, embora o nitrogênio na forma amoniacal seja mantido no solo após a submersão (BEYROUTY et al., 1994).

Os cátions cálcio e magnésio, embora não participem diretamente das reações de oxirredução em solos alagados, têm a solubilidade aumentada em razão do deslocamento para a solução do solo pelo manganês e, principalmente, pelo ferro, que ocupa proporção considerável dos sítios de troca (SOUSA et al., 2006). A submersão do solo, também, pode influenciar a disponibilidade de enxofre, pela redução do sulfato a sulfeto, o que se processa em sequência à redução do ferro. A dinâmica da redução é dependente de atributos do solo (VAHL; SOUSA, 2004). Em solos ácidos, que predominam nas regiões arroyeiras do Rio Grande do Sul (ANGHINONI et al., 2004), 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 os micronutrientes podem ter a sua disponibilidade influenciada pelo manejo da água para o arroz. As concentrações de manganês e ferro são aumentadas pelo alagamento do solo; embora benéfico para o arroz, em determinadas situações, os níveis atingidos podem ser tóxicos, prejudicando as plantas. A afinidade de cobre e zinco formarem compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, justifica a redução de sua concentração na solução de solos alagados. Em solos ácidos, isso é atribuído, ainda, à adsorção desses elementos aos colóides 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 e absorção de nutrientes pelo arroz. Com base nesse objetivo, estabeleceu-se a seguinte hipótese:

O atraso na época de início de irrigação do arroz influencia o estado nutricional e a absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado.

2.2 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 (Fig. 1), no município de Capão do Leão, RS. O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de Köppen, como Cfa – temperado quente, com ausência de estação seca definida e com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (VIANELLO; ALVES, 1991). 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 g dm⁻³; pH_(água): 5,8 e 5,6; 12 e 14g dm⁻³ de MO; 13,3 e 12,8mg dm⁻³ de P; 59 e 51mg dm⁻³ de K; 0,0 e 0,1cmol_c dm⁻³ de Al; 6,5 e 6,2cmol_c dm⁻³ de Ca+Mg e 9,1 e 10,1cmol_c 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 (2004).

Os tratamentos compreenderam três épocas de início de irrigação por inundação do solo (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. As três 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 em uma única época para todos os tratamentos (R9 – maturação de colheita). Durante o período de irrigação, foi mantida uma espessura de lâmina de água uniforme de cerca de 7,5cm. As reposições de água foram feitas sempre que a redução no nível de água das parcelas atingia 1,5cm.

Para o acompanhamento dos estádios de desenvolvimento das plantas de arroz utilizou-se, como referência, a escala proposta por Counce et al. (2000).

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



Figura 1- Vista geral do experimento “Estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à época de início de irrigação”. Capão do Leão, RS, 2009.

Fonte: GONÇALVES, 2009.

Em ambas as safras, o arroz foi implantado em sistema convencional de preparo do solo, que compreendeu operações de aração e gradagem seguidas de aplainamento para uma melhor adequação da superfície do terreno, que havia sido sistematizado em nível, com cota zero, dois anos antes do início do estudo. As semeaduras do arroz foram realizadas em 17-11-2007 e em 9-12-2008, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5cm e densidades de semeadura de 120 e 100 kg ha⁻¹ 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 qual é constituída por plantas do tipo “moderno-americano” com potencial produtivo elevado, superior a 12t ha⁻¹ (EMBRAPA, 2006). As sementes foram previamente tratadas com os fungicidas carboxin/thiram (60g + 60gi.a./100kg de sementes) e com o inseticida fipronil (30g i.a./100kg de sementes).

A adubação para o arroz foi estabelecida seguindo indicações da SOSBAI (2007), considerando uma expectativa de incremento de produtividade de 4t ha⁻¹. Essa consistiu na aplicação, por ocasião da semeadura, de 250kg ha⁻¹ da formulação 5-20-20, na safra 2007/08, e de 280kg de 5-25-25, na safra 2008/09. Em

cobertura, realizaram-se, ainda, duas aplicações de 55kg ha^{-1} de N, como uréia. 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, estágio R1, segundo a escala proposta por Counce et al. (2000), sobre a lâmina de água.

No primeiro cultivo de arroz, o controle de plantas daninhas compreendeu uma aplicação do herbicida penoxsulam ($0,06\text{g i.a. ha}^{-1}$), em pré-emergência, e uma aplicação do herbicida cyhalofop-butyl (360g i.a. ha^{-1}), em pós-emergência. Exclusivamente para o tratamento em que a entrada de água ocorreu no estágio V7-V8, foi necessária uma segunda aplicação do herbicida cyhalofop-butyl (2L ha^{-1}), em razão da reinfestação das parcelas por plantas daninhas no período antecedente ao início da irrigação. Na safra 2008/09, realizou-se a dessecação da área com glyphosate ($1,92\text{g i.a. ha}^{-1}$) em pós-plantio, para o controle de plantas daninhas e de arroz espontâneo proveniente do cultivo anterior, e uma aplicação em pós-emergência de mistura dos herbicidas clefoxydim (135g i.a. ha^{-1}) e quinclorac (68g i.a. ha^{-1}). Os demais tratos culturais seguiram as indicações da pesquisa para a cultura de arroz irrigado (SOSBAI, 2007).

Avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre o estado nutricional, produtividade de grãos e acumulação de nutrientes na planta de arroz. A avaliação do estado nutricional da cultura compreendeu a determinação dos teores de macro e micronutrientes e do índice relativo de clorofila (IRC) na folha. Essas determinações foram realizadas em três épocas: perfilhamento pleno, diferenciação da panícula e floração, correspondendo aos estádios V8, R1 e R4. 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.

A acumulação de nutrientes e a produtividade de grãos de arroz foram determinadas na maturação de colheita (estádio R9). Para a determinação da acumulação de nutrientes, coletaram-se amostras constituídas pela parte aérea das plantas presentes em três linhas de 0,5m de comprimento, em duplicata. Do material vegetal colhido, separaram-se os grãos. Ambas as frações, grãos e colmos e folhas, foram secadas em estufa para determinação da produção de matéria seca. Após, foram amostradas e moídas, determinando-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn no tecido vegetal, conforme descrito em Freire (2001). A partir dos dados de produção de massa seca e de teores de nutrientes no tecido vegetal, determinaram-se as quantidades de nutrientes acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos de arroz.

A produtividade de grãos foi determinada considerando-se as plantas de cinco subamostras de 10m² coletadas de cada unidade experimental. O material colhido foi trilhado, seco e pesado, convertendo-se os dados para 130g kg⁻¹ de umidade.

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%).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Estado nutricional do arroz

Na Tabela 2.1 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), nota-se que 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 avaliação 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 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 2.1). Em acréscimo, a antecipação da irrigação pode ter proporcionado maior desenvolvimento vegetativo, 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, onde 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 2.1).

Na segunda safra, o tratamento com início da irrigação em V6-V7 apresentou menor índice relativo de clorofila na folha, relativamente aos demais, por ocasião da floração (Tabela 2.1), 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.

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) relatam 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.

Tabela 2.1. 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. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	V8	R1	R4
2007/2008			
V2-V3	28,6b	31,8a	29,9 ^{ns}
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%.

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 se verificou 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 2.2).

Com relação ao teor foliar de nitrogênio, em ambas as safras, o tratamento com época mais tardia de irrigação proporcionou valores maiores que nas demais épocas, as quais não diferiram entre si (Tabelas 2.2). 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 2.2), 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, nesta 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 (Tabelas 2.2). A variação no teor foliar de magnésio restringiu-se à segunda safra agrícola, com aumento nos valores à medida que se atrasou o início da 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 a concentração 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 (Tabelas 2.2). 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 entrada de água mais precoce.

Tabela 2.2. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz, no estágio V8, em função da época de início de irrigação. Safras 2007/08 e 2008/2009.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
V2-V3	28,5b	3,6b	21,2 ^{ns}	2,9a	2,1 ^{ns}	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 ^{ns}	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 2.3). 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 2.3. 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. Safras 2007/08 e 2008/2009.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
V2-V3	27,3 ^{ns}	3,6 ^{ns}	12,3 ^{ns}	2,8 ^{ns}	1,8 ^{ns}	2,0 ^{ns}
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 ^{ns}	3,0 ^{ns}	17,2 ^b	3,3 ^{ns}	1,6 ^b	1,6 ^b
V4-V5	25,5	2,8	19,6 ^a	3,3	1,8 ^{ab}	2,0 ^a
V6-V7	28,0	2,9	21,1 ^a	3,2	2,0 ^a	2,3 ^a
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 2.4). 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 do solo. 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 do fosfato férrico à forma mais solúvel de fosfato ferroso (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 2.4. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na floração (R4), em função da época de início de irrigação. Safras 2007/08 e 2008/2009.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
V2-V3	27,2 ^{ns}	2,8 ^{ns}	13,7 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,2 ^b	2,0 ^{ns}
V4-V5	26,8	3,2	12,4	3,9	1,4 ^b	1,8
V7-V8	25,3	3,2	12,1	4,4	1,7 ^a	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 ^{ns}	3,5 ^a	12,0 ^{ns}	4,2 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,5 ^{ns}
V4-V5	26,5	3,2 ^b	11,5	4,6	1,8	1,8
V6-V7	25,1	2,0 ^c	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 (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⁻¹, 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 2.5). 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 Fe³⁺ a Fe²⁺ (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 2.5). Muito embora o manganês tenha sua disponibilidade aumentada pela inundações 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 2.5) pode ser explicada pela diminuição de sua disponibilidade na solução do solo, decorrente da precipitação na forma de hidróxidos, carbonatos e sulfetos (DE DATTA, 1981), ou ainda à adsorção por colóides orgânicos, em resposta à elevação do pH (SOUSA et al., 2006).

Tabela 2.5. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz no estádio V8, em função da época de início de irrigação. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
	2007/2008				
V2-V3	33 ^{ns}	6 ^{ns}	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 ^{ns}	25 ^{ns}	97 ^{ns}	78c	20 ^{ns}
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 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 (Tabelas 2.6). 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.

Tabela 2.6. 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. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
2007/2008					
V2-V3	19 ^{ns}	8 ^{ns}	91b	114 ^{ns}	15 ^{ns}
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 ^{ns}	85 ^{ns}	78 ^{ns}	13 ^{ns}
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%.

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 2.7). 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).

No ano 2007/08, também o teor foliar de zinco diminuiu em resposta ao atraso no início da irrigação do arroz (Tabela 2.7), 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 2.7).

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 observadas 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. Apesar destes resultados, não se observou qualquer sintomatologia visual de deficiência de micronutrientes para o arroz, o que pode ser um indicativo de necessidade de revisão dos referenciais nutricionais em uso, que são relativamente antigos e, portanto, foram gerados para cultivares com características e exigências nutricionais distintas.

Tabela 2.7. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz na floração (R4), em função da época de início de irrigação. Safras 2007/08 e 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
2007/2008					
V2-V3	22 ^{ns}	10a	72 ^{ns}	163 ^{ns}	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 ^{ns}	10 ^{ns}
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%.

2.5.2 Absorção de nutrientes pelo arroz

Os resultados de quantidades de macronutrientes acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação, da safra 2007/08, são apresentados nas Tabelas 2.8 e 2.9 e os da safra 2008/09, nas Tabelas 2.10 e 2.11, respectivamente.

No primeiro ano agrícola, determinou-se efeito da época de início de irrigação sobre as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre acumuladas nos colmos e folhas do arroz (Tabela 2.8), sendo que os tratamentos com início de irrigação precoce (V2-V3) e no início do perfilhamento (V4-V5) apresentaram maior acumulação de nutrientes que aquele com início tardio da irrigação (V7-V8). O comportamento observado reflete, por um lado, a maior produção de matéria seca da parte aérea dos tratamentos com irrigação iniciada até o início do perfilhamento e por outro, o aumento na disponibilidade de nutrientes proporcionado pelo estabelecimento antecipado da condição de redução do solo (SOUSA et al., 2006). Tais resultados concordam com aqueles descritos por Wielewicki et al. (1997) que, no Rio Grande do Sul, reportaram maior produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo arroz irrigado aos 15 dias após a emergência (dae), comparativamente à irrigação iniciada aos 35 dae. Também Beyrouty et al. (1994), em estudo realizado em Arkansas (EUA), verificaram redução na acumulação de nutrientes pelo arroz em decorrência do atraso no início da irrigação para o estágio de diferenciação da panícula, atribuindo-a à diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e à menor disponibilidade de nutrientes no solo. Contrariamente, Scivittaro et al. (2006) reportaram benefício do atraso no início da irrigação em até três semanas após o início do perfilhamento sobre a nutrição do arroz cv. BRS 7 'Taim', atribuindo esse efeito à menor incidência de bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), cujos danos ao sistema radicular das plantas foram tanto maiores quanto mais precoce a submersão do solo.

Nessa safra (2007/08), os dados de exportação de nutrientes pelos grãos acompanharam aqueles descritos para nutrientes acumulados nos colmos e folhas. A exceção do enxofre, o atraso na submersão do solo proporcionou redução nas quantidades de nutrientes exportadas pelos grãos. Para N, P e K, não houve, porém, distinção entre as duas primeiras épocas de início de irrigação. Já para o cálcio, sobressaiu-se o efeito da irrigação antecipada para V2-V3, que proporcionou maior

exportação do nutriente relativamente às demais épocas de entrada de água. Quanto ao magnésio, houve redução gradativa nas quantidades exportadas pelos grãos com o atraso na época de início de irrigação (Tabela 2.9). Tais resultados refletem, basicamente, a maior produção de matéria seca e disponibilidade de nutrientes decorrente da antecipação da entrada de água na lavoura de arroz.

Tabela 2.8. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre acumulados nos colmos e folhas do arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
V2-V3	51,8a	15,1a	165,4a	30,8a	20,3 ^{ns}	8,8a
V4-V5	60,0a	14,6a	164,8a	32,2a	23,4	10,0a
V7-V8	26,5b	7,9b	135,0b	21,8b	16,2	3,9b
Média	46,1	12,6	155,1	28,2	20,0	7,6
CV, %	17,8	16,8	5,5	8,4	12,0	10,7

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

Tabela 2.9. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre exportados pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
V2-V3	79,5a	34,5a	59,8a	3,9a	13,5a	6,1 ^{ns}
V4-V5	78,1a	30,2ab	48,0a	2,9b	11,4b	5,6
V7-V8	57,2b	27,2b	34,3b	2,5b	8,5c	4,3
Média	71,6	30,6	47,4	3,1	11,1	5,3
CV, %	9,2	8,3	12,4	12,1	2,8	15,1

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

Em 2008/09, a época de início de irrigação influenciou a acumulação de nitrogênio, potássio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas (Tabela 2.10) e a exportação de P, K e Mg pelos grãos de arroz (Tabela 2.11). Divergindo do que se verificou no ano anterior, o atraso da irrigação para V6-V7 proporcionou maior acumulação de N, K, Mg e S na parte aérea das plantas de arroz, em comparação às demais épocas de entrada de água (Tabela 2.10). Esse efeito não se manifestou nas quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos, que, para fósforo, potássio e magnésio, diminuíram com o atraso na irrigação (Tabela 2.11). Dois fatores

explicam esse decréscimo: a menor produção de massa seca (APENDICE C) e disponibilidade desses nutrientes no solo (SOUSA et al., 2006).

Tabela 2.10. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre acumulados nos colmos e folhas do arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
V2-V3	46,1b	13,3 ^{ns}	106,2b	27,0 ^{ns}	15,6b	8,6b
V4-V5	47,4b	13,8	115,2b	26,3	17,0b	10,7ab
V6-V7	62,1a	20,9	135,2a	26,4	24,8a	13,2a
Média	55,2	16,0	118,9	26,6	19,1	10,8
CV, %	22,1	29,0	20,2	18,0	21,7	15,0

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

Tabela 2.11. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre exportados pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
V2-V3	79,1 ^{ns}	33,6a	67,7a	3,1 ^{ns}	15,1a	7,9 ^{ns}
V4-V5	75,4	30,0ab	67,2a	3,5	15,1a	7,3
V6-V7	77,8	25,4b	54,8b	2,6	11,1b	7,0
Média	77,4	29,7	63,2	3,0	13,8	7,4
CV, %	8,4	11,6	9,1	19,3	11,2	9,4

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

Ainda com relação às Tabelas 2.8 a 2.11, destacam-se as quantidades elevadas de macronutrientes absorvidas pela planta de arroz, particularmente N, P e K, que, em algumas situações, superam aquelas normalmente fornecidas à cultura, via adubação, indicando que parte considerável dos nutrientes utilizados pelo arroz são supridos pelo meio de cultivo, incluindo solo, água de irrigação e resíduos de cultivos anteriores. Em ambos os anos, o potássio foi o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz, seguido do nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Por sua vez, a exportação de nutrientes pelos grãos decresceu na seguinte ordem: N > K > P > Mg > S > Ca. Os resultados obtidos aproximam-se daqueles reportados por Reis et al. (2005), que, na média de três cultivares de arroz, verificaram exportação

pelos grãos de 60% do nitrogênio, 59% do fósforo, 47% do enxofre, 23% do magnésio, 19% do cálcio total e 15% do potássio total da parte aérea.

Entre as safras, apenas as quantidades de potássio na parte aérea do arroz apresentaram variações representativas, sendo as quantidades do nutriente acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos superiores em 2008/09, refletindo maior disponibilidade no meio de cultivo, proporcionada por adubação mais pesada. Também os resíduos culturais do ano anterior podem ter contribuído para a maior disponibilidade do nutriente, visto que a manutenção da palhada restitui ao solo entre 80% e 90% do potássio absorvido pelo arroz (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).

Apenas na primeira safra agrícola (2007/08) a variação na época de início de irrigação influenciou a absorção de micronutrientes pelo arroz, sendo a acumulação de boro, ferro e manganês nos colmos e folhas maior nos tratamentos em que a entrada de água ocorreu até o início do perfilhamento das plantas (estádio de quatro a cinco folhas), relativamente à época mais tardia de início de irrigação (V7-V8) (Tabela 2.12). Este resultado está associado à produção de matéria seca das plantas em resposta à variação na época de início de irrigação, visto que os teores de nutrientes na planta pouco variaram entre os tratamentos (APÊNDICE H), muito embora a antecipação da submersão do solo seja uma situação favorável ao aumento da disponibilidade de ferro e manganês no solo (SOUSA et al., 2006). Beyrouty et al. (1994), no Arkansas (EUA) verificaram redução na absorção de Mn e Zn pelo arroz quando do atraso da irrigação para o início da fase reprodutiva. Quanto ao boro, este nutriente tem a sua disponibilidade aumentada pela elevação do pH (McBRIDE, 1994), decorrente do estabelecimento da condição de redução.

Tabela 2.12. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco acumulados nos colmos e folhas do arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
V2-V3	63a	39 ^{ns}	6602a	1899a	216 ^{ns}
V4-V5	69a	40	5465a	2080a	246
V7-V8	57b	35	1698b	1188b	156
Média	63	38	4588	1722	206
CV, %	4,1	17,3	17,8	6,6	26,0

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

Ainda na safra 2007/08, determinou-se redução nas quantidades de B, Cu, Fe, Mn e Zn exportadas pelos grãos de arroz em resposta ao atraso no início da irrigação; de forma geral, as diferenças mais marcantes ocorreram para o tratamento com irrigação mais tardia (V7-V8) (Tabela 2.13). Para estas variáveis, além da menor produção de matéria seca, o efeito observado reflete a menor concentração desses nutrientes no tecido vegetal dos grãos.

Tabela 2.13. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco exportados pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
V2-V3	41a	28a	992a	848a	174a
V4-V5	32b	24a	618b	662a	152b
V7-V8	6c	6b	258c	273b	61c
Média	26	19	622	594	129
CV, %	15,8	24,7	21,9	15,8	2,6

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

Na segunda safra acompanhada (2008/09), não se determinou efeito da época de início de irrigação sobre as quantidades de micronutrientes acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos de arroz (Tabelas 2.14 e 2.15). Atribuiu-se esse resultado à menor variação na produção de matéria seca entre os tratamentos observada, particularmente dos grãos, bem como à pequena variação nos teores de micronutrientes na matéria seca (APÊNDICE J e K), o que é indicativo de que a época de início de irrigação exerce pouca influência sobre a absorção de micronutrientes pelo arroz.

Tabela 2.14. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco acumulados nos colmos e folhas do arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
V2-V3	48 ^{ns}	23 ^{ns}	1836 ^{ns}	1126 ^{ns}	175 ^{ns}
V4-V5	43	20	1637	1388	181
V7-V8	47	21	1758	1255	243
Média	46	21	1744	1256	200
CV, %	14,6	25,2	31,1	24,7	33,0

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

Tabela 2.15. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco exportados pelos grãos de arroz, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
V2-V3	29 ^{ns}	14 ^{ns}	483 ^{ns}	586 ^{ns}	149 ^{ns}
V4-V5	32	13	374	634	134
V7-V8	27	12	281	507	115
Média	29	13	379	576	132
CV, %	11,4	37,0	29,7	35,3	32,4

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

2.4 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.

A época de irrigação exerce efeito sobre a absorção de nutrientes pelo arroz; seu atraso além do início do perfilhamento reduz a absorção dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, bem como dos micronutrientes B, Fe e Mn.

3. ESTADO NUTRICIONAL E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM RESPOSTA À ESPESSURA DE LÂMINA DE ÁGUA

3.1 Introdução

A água vem se tornando um recurso cada vez mais escasso, em decorrência da demanda crescente dos setores urbano, industrial e agrícola, bem como da disponibilidade irregular, variando marcadamente ao longo do ano, entre os anos e de uma região para outra. Disto evidencia-se a impossibilidade de utilização contínua e indefinida dos recursos hídricos, requerendo o estabelecimento de estratégias para sua conservação, com a definição de critérios para uso nas atividades produtivas.

No segmento agrícola, a orizicultura irrigada por inundação do solo destaca-se pela elevada demanda hídrica. No Brasil, essa atividade produtiva está concentrada no Rio Grande do Sul, que ocupa anualmente uma área próxima a um milhão de hectares e responde por mais de 60% da produção nacional do cereal, com produtividade média de 7,02t ha⁻¹ (CONAB, 2009). Pela magnitude elevada do cultivo, a lavoura arrozeira no Estado vivencia conflitos frequentes com os demais usuários da água, confrontando-se, na atualidade, com o grande desafio de elevar a eficiência de uso da água, mantendo a produtividade elevada e a sustentabilidade do sistema produtivo.

A demanda hídrica elevada da lavoura arrozeira decorre do fato desta requerer, além da água necessária para a evapotranspiração, uma quantidade adicional, que é utilizada para a saturação do solo, formação e manutenção da lâmina de água, e a água perdida por infiltração lateral ou por percolação ao longo do perfil do solo (STONE, 2005). No Rio Grande do Sul, isso representa um volume médio aplicado de 12 mil m³ ha⁻¹ (VIANNA, 1997; GOMES et al., 2008), embora os valores variem amplamente com o clima, tipo de solo e práticas de manejo.

Os dados de demanda hídrica do arroz, consagrados ao longo do tempo, ainda servem como referência para o dimensionamento de reservatórios e estações de recalque, contribuindo para uma demanda energética igualmente alta (GOMES et al., 2004). Em decorrência, a irrigação constitui-se em um dos principais componentes do custo de produção do arroz (IRGA, 2009).

Considerando a conjuntura atual, escassez de água, conflitos no seu uso e a demanda crescente por alimentos (STONE, 2005), a adoção de procedimentos para a otimização do uso da água pelo arroz apresenta-se como uma questão prioritária a ser implementada pelo setor orizícola, particularmente na região Sul do Brasil. Para atender a essa demanda, a pesquisa local tem se dedicado a propor e avaliar alternativas de manejo da água para o arroz com vistas à redução no uso e elevação da eficiência de irrigação. Várias estratégias têm sido propostas; as mais viáveis envolvem variações no sistema de irrigação (contínuo com água corrente ou estagnada e intermitente), período de irrigação, determinado por diferentes épocas de início ou supressão da irrigação, espessura da lâmina de água e duração do ciclo biológico da cultivar de arroz.

Dentre essas, a diminuição na espessura da lâmina de água tem se mostrado bastante promissora, pela redução significativa no volume de água aplicado à lavoura, sem comprometimento da produtividade. Isto porque para atender a demanda hídrica do arroz irrigado é necessário, apenas, manter o solo saturado ao longo do ciclo da cultura. Embora, via de regra, preconize-se o cultivo do arroz em presença de uma lâmina de água sobre o solo, visando garantir maior eficiência no controle de plantas daninhas, conferir proteção, às plantas, contra a ocorrência de baixas temperaturas durante o ciclo da cultura, especialmente na fase reprodutiva (SOCIEDADE, 2007) e favorecer o avanço da água entre tabuleiros (TUONG; BHUIYAN, 1999).

A espessura da lâmina de água influencia, entre outros fatores, a distribuição e a economicidade da água de irrigação. Lâminas de água menores são favoráveis quanto à economia de água, podendo viabilizar produtividades elevadas, desde que haja um bom controle de plantas daninhas e não se verifiquem outros problemas, como a ocorrência de baixas temperaturas durante o ciclo da cultura. Requerem, porém, uma maior sistematização do terreno. Por outro lado, a adoção de lâminas de água de maior espessura aumenta o uso de água pelo arroz, mas exige menor nivelamento do terreno e cuidados menores, quanto ao controle de plantas daninhas (SCIVITTARO; GOMES, 2009).

Resultados de pesquisas realizadas no país (SACHET, 1977 ; STONE et al., 1990; MURLIKI et al, 2009) e no exterior (JOHNSON, 1965 ; PANDE ; MITTRA, 1970) constataram produtividade de grãos igual ou superior para o arroz cultivado em solo saturado ou com lâmina de água baixa, relativamente àquele em que se

utilizou lâminas maiores. Em todos esses estudos, a eliminação ou redução da espessura da lâmina proporcionou aumento da eficiência de uso da água pela cultura, o que se deve à diminuição das perdas por percolação (FERGUSON, 1970) e fluxo lateral (STONE et al., 1990), bem como da evaporação noturna (TSUTSUI, 1972).

A despeito dos possíveis benefícios em produtividade e, especialmente, em economia de água resultantes da redução na espessura da lâmina de água no cultivo de arroz, esse manejo pode influenciar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, com reflexos sobre sua nutrição. Isto porque a submersão altera o equilíbrio de elementos e compostos presentes no solo, em resposta a transformações físicas, biológicas, eletroquímicas e químicas (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).

Fósforo e potássio figuram como os nutrientes mais beneficiados pela submersão do solo, razão pela qual a resposta do arroz irrigado por inundação do solo às adubações fosfatada e potássica é menor que em solos drenados (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SCIVITTARO; GOMES, 2004). O aumento na disponibilidade de fósforo em solos inundados é atribuído à sua liberação da matéria orgânica, redução de fosfatos férricos a formas ferrosas mais solúveis, hidrólise de fosfatos de ferro e de alumínio causada pelo aumento do pH de solos ácidos e 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 inundação se deve ao aumento da difusão, deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions NH_4^+ , Fe^{2+} e Mn^{2+} (MACHADO, 1985) e 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 a seu 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, 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 conseqüente redução da concentração na solução de solos alagados. Em solos ácidos, esse efeito se deve, ainda, à adsorção desses elementos aos colóides orgânicos, em resposta à elevação do pH (SOUSA et al., 2006).

Pelo exposto, realizou-se um experimento com o objetivo de avaliar o efeito da espessura da lâmina de água sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz. Com base nesse objetivo, estabeleceu-se a seguinte hipótese:

A presença de lâmina de água durante o período de irrigação do arroz é benéfica para a nutrição e absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado.

3.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), da Embrapa Clima Temperado (Fig. 2), em Capão do Leão, RS. O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de Köppen, como Cfa – temperado quente, com ausência de estação seca definida e com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (VIANELLO; ALVES, 1991).

O solo da área experimental, um Planossolo Háplico (SANTOS et al., 2006), foi sistematizado em nível, com cota zero, dois anos antes da implementação deste estudo. Desde então, até a sua instalação, foi mantido em pousio. Na ocasião da instalação dos cultivos de arroz irrigado, o solo apresentava as seguintes características químicas, na profundidade de 0-20cm, respectivamente: argila: 190 g dm^{-3} ; $\text{pH}_{(\text{água})}$: 5,8 e 5,6; 12 e 14g dm^{-3} de MO; 13,3 e 12,8mg dm^{-3} de P; 59 e 51mg 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 (2004).

Os tratamentos compreenderam três espessuras de lâmina de água para o arroz irrigado por inundação do solo: 10cm, 5cm e lâmina inferior a 1cm. Neste último tratamento, o solo foi mantido sob condições de umidade de saturação durante todo o período de irrigação dos demais tratamentos. Esses foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, na primeira safra agrícola, e quatro repetições, na segunda safra. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 10m x10m, sendo individualizadas por taipas.



Figura 2- Vista geral do experimento “Estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à espessura de lâmina de água. Capão do Leão, RS, 2009.

Fonte: GONÇALVES, 2009

As épocas de início e de supressão da irrigação foram fixas, correspondendo, respectivamente, aos estádios de quatro a cinco folhas (V4-V5) e maturação de colheita do arroz (R9), conforme a escala de Counce et al. (2000). No primeiro ano de cultivo, o início da irrigação ocorreu 21 dias após a emergência do arroz (dae) e no segundo, em razão da época de semeadura mais tardia, 13 dae. A irrigação foi feita de maneira intermitente, mantendo-se uma lâmina de água uniforme com uma variação aceitável de 1cm.

Em ambas as safras, o arroz foi implantado em sistema convencional de preparo do solo, que compreendeu operações de aração e gradagem seguidas de aplainamento para correção de pequenas ondulações na superfície do terreno. As semeaduras do arroz foram realizadas em 17-11-2007 e em 9-12-2008, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5cm e densidade de semeadura de 120kg ha⁻¹ de sementes viáveis.

Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado BRS Querência, de ciclo precoce, ao redor de 110 dias da emergência à maturação completa dos grãos, a qual é constituída por plantas do tipo “moderno-americano” com potencial produtivo

elevado, superior a $12t\ ha^{-1}$ (EMBRAPA, 2006). As sementes foram previamente tratadas com os fungicidas carboxin/thiram ($60g + 60g\ i.a./100kg$ de sementes).

A adubação para o arroz foi estabelecida seguindo indicações da SOCIEDADE (2007), considerando uma expectativa de incremento de produtividade de $4t\ ha^{-1}$. Essa consistiu na aplicação, em pré-semeadura, de $250kg\ ha^{-1}$ da formulação 5-20-20, na safra 2007/08, e de $280\ kg$ de 5-25-25, na safra 2008/09. Em cobertura, realizaram-se, ainda, duas aplicações de $55kg\ ha^{-1}$ de N, como uréia. A primeira adubação em cobertura foi realizada em solo seco imediatamente antes do início da irrigação, no estágio de 4 a 5 folhas, e a segunda, na diferenciação da panícula, sobre a lâmina de água ou em solo saturado, conforme o tratamento.

No primeiro cultivo de arroz, o controle de plantas daninhas compreendeu uma aplicação do herbicida penoxsulam ($0,06g\ i.a.\ ha^{-1}$), em pré-emergência, e uma aplicação do herbicida cyhalofop-butyl ($360g\ i.a.\ ha^{-1}$), em pós-emergência. Exclusivamente para o tratamento em que se manteve lâmina de água inferior a 1 cm, foi necessária uma segunda aplicação do herbicida cyhalofop-butyl ($360g\ i.a.\ ha^{-1}$), em razão da reinfestação das parcelas por plantas daninhas. Na safra seguinte, imediatamente após a semeadura do arroz, procedeu-se à dessecação da área experimental com glyphosate ($1,92g\ i.a.\ ha^{-1}$), visando o controle de plantas daninhas presentes e de arroz espontâneo proveniente do cultivo anterior. Adicionalmente, aplicou-se em pós-emergência mistura dos herbicidas clefoxydim ($135g\ i.a.\ ha^{-1}$) e quinclorac ($68g\ i.a.\ ha^{-1}$). Todos os demais tratamentos culturais seguiram as indicações da pesquisa para o arroz irrigado (SOCIEDADE, 2007).

Avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre o estado nutricional, produtividade de grãos e acumulação de nutrientes na planta de arroz. A avaliação do estado nutricional da cultura compreendeu a determinação dos teores de macro e micronutrientes e do índice relativo de clorofila (IRC) na folha. Essas determinações foram realizadas em três épocas: perfilhamento pleno, diferenciação da panícula e floração, correspondendo aos estádios V8, R1 e R4. 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 $65^{\circ}C$ 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 de plantas por parcela. Em cada folha, os dados resultaram da média de medidas feitas nas posições basal, intermediária e apical.

A acumulação de nutrientes e a produtividade de grãos do arroz foram determinadas na maturação de colheita (estádio R9). Para a determinação da acumulação de nutrientes, coletaram-se de cada parcela, em duplicata, amostras constituídas pela parte aérea das plantas presentes em três linhas de 0,5m de comprimento. Do material vegetal colhido, separaram-se os grãos. Ambas as frações, grãos e colmos e folhas, foram secadas em estufa para determinação da produção de matéria seca. Após, foram amostradas e moídas, determinando-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn no tecido vegetal, conforme descrito em Freire (2001). A partir dos dados de produção de massa seca e de teores de nutrientes no tecido vegetal, determinaram-se as quantidades de nutrientes acumulada nos colmos e folhas e exportada pelos grãos de arroz.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativa ao nível de 5%, procedeu-se à comparação das médias de espessuras de lâmina de água para o arroz pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Estado nutricional do arroz

Na Tabela 3.1 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. Em ambas as safras, não houve efeito da variação na espessura da lâmina de água sobre variável índice relativo de clorofila (IRC) nas três épocas de avaliação. Este resultado mostra que a variação no manejo da água não influenciou a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, bem como a absorção do nutriente pelo arroz, uma vez que os valores de IRC são indicativos do nível do nutriente na planta, por se correlacionar de forma direta com a concentração de N no tecido foliar (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995). Em arroz irrigado, essa correlação foi verificada em estudos anteriores, sendo influenciada por diferentes fatores, como cultivar, estágio de desenvolvimento (TURNER; JUND, 1994), espessura e peso específico da folha (PENG et al., 1993).

Tabela 3.1. Índice relativo de clorofila (IRC) na folha de arroz nos estádios V8, R1 e R4, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	V8	R1	R4
2007/2008			
< 1 cm	30,6 ^{ns}	27,4 ^{ns}	31,2 ^{ns}
5 cm	30,8	29,0	29,4
10 cm	31,9	32,4	29,6
Média	31,2	29,6	30,1
CV,%	6,7	8,9	7,6
2008/2009			
< 1 cm	31,6 ^{ns}	28,2 ^{ns}	31,5 ^{ns}
5 cm	32,2	29,6	31,8
10 cm	32,2	29,0	30,7
Média	32,0	28,9	31,3
CV,%	3,2	4,0	4,0

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

Em ambas as safras, os maiores valores de IRC foram determinados no estágio de oito folhas (V8) e os menores, na diferenciação da panícula. Na floração,

os valores determinados foram pouco menores que em V8 (Tabela 3.1). Este resultado reflete tanto a disponibilidade de nitrogênio no meio de cultivo, proporcionada pelas adubações nitrogenadas em cobertura, que foram realizadas no início do perfilhamento (estádio de quatro a cinco folhas) e na diferenciação da panícula (imediatamente após a avaliação do estado nutricional da cultura), como a demanda e capacidade de utilização de N pelo arroz, a qual se intensifica na fase reprodutiva (SLATON et al., 1994).

No perfilhamento pleno (estádio V8), a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado não mostrou efeito dos tratamentos sobre os teores de macronutrientes na safra 2007/08 (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz no estágio V8, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
< 1 cm	35,9 ^{ns}	4,0 ^{ns}	20,4 ^{ns}	5,0 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}
5 cm	35,7	4,5	23,2	4,1	2,0	2,0
10 cm	38,0	4,7	16,0	5,4	2,2	2,0
Média	36,5	4,4	19,8	4,8	2,2	2,0
CV,%	11,0	8,8	32,9	32,5	17,2	48,4
2008/2009						
< 1 cm	35,8 ^{ns}	3,2 ^{ns}	22,6b	3,5 ^{ns}	2,4 ^{ns}	2,6b
5 cm	36,2	3,3	24,2a	3,0	2,4	2,7a
10 cm	34,8	3,3	24,2a	3,1	2,3	2,6b
Média	35,6	3,3	23,7	3,2	2,4	2,6
CV,%	5,6	4,5	3,4	10,6	4,6	1,9

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

Na safra 2008/09, a variação na espessura da lâmina de água influenciou os teores foliares de potássio e enxofre (Tabela 3.2). Assim, a concentração de potássio foi maior nos tratamentos com manutenção de lâmina de água, relativamente àquele em que se manteve o solo apenas sob umidade de saturação. Explica-se a maior absorção de potássio na presença de lâminas de água de maior espessura pela magnitude mais elevada da condição de redução estabelecida na presença de lâmina de água, favorecendo a difusão e deslocamento do potássio dos

sítios de troca para a solução (MACHADO, 1985) e a liberação do nutriente das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS; MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999). Sarwar e Khanif (2005) avaliaram o efeito de diferentes regimes de umidade no potencial redox do solo, verificando que lâminas de água de 5cm de espessura antecipam a redução e proporcionam valores de potencial redox mais negativos, comparativamente à lâmina de 1cm.

Quanto ao enxofre, o teor foliar do nutriente proporcionado pelo tratamento com lâmina de água intermediária (5cm) foi maior que o dos demais, que não diferiram entre si (Tabela 3.2). Ressalta-se que, embora estatisticamente significativas, as diferenças entre os tratamentos foram tênues, com efeito muito discreto sobre a nutrição do arroz.

Já no início da fase reprodutiva (diferenciação da panícula), a variação na espessura da lâmina de água exerceu efeito, apenas, sobre a concentração de fósforo no tecido foliar, na safra 2007/2008, e na safra seguinte, também na de potássio (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na diferenciação da panícula (R1), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
< 1 cm	26,6 ^{ns}	3,2b	15,8 ^{ns}	3,4 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,9 ^{ns}
5 cm	25,6	3,9a	16,6	2,9	1,7	1,4
10 cm	31,4	4,1a	17,0	2,8	1,8	1,6
Média	27,8	3,7	16,5	3,1	1,8	1,6
CV,%	7,9	6,8	6,2	8,8	10,1	14,9
2008/2009						
< 1 cm	28,4 ^{ns}	3,1b	17,6b	3,4 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,2 ^{ns}
5 cm	30,1	3,5a	20,0a	3,0	2,2	2,1
10 cm	27,6	3,6a	21,5a	3,4	2,3	2,1
Média	28,6	3,4	19,6	3,3	2,2	2,1
CV,%	4,6	6,0	5,1	9,6	10,6	7,6

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

O efeito observado para ambos os nutrientes e safras foi semelhante, qual seja: os tratamentos com manutenção de lâmina de água (5cm e 10cm) propiciaram

maior concentração foliar de nutriente que aquele com solo saturado (Tabela 3.3). Isso pode ser atribuído ao estado de redução antecipada e mais intenso estabelecido na presença de lâminas de água de espessura intermediária (5cm) a alta (10cm), com consequentes aumentos na disponibilidade de fósforo e potássio na solução do solo e absorvidos pelo arroz (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SOUSA et al., 2006).

Por sua vez, a avaliação do estado nutricional da cultura realizada por ocasião da floração indicou efeito dos tratamentos de espessura de lâmina de água exclusivamente para os teores foliares de potássio e cálcio, na safra 2007/08 (Tabela 3.4). A concentração de potássio aumentou proporcionalmente à espessura da lâmina de água. Assim como descrito para as avaliações realizadas em estádios anteriores, atribui-se a maior concentração de potássio no tecido foliar do arroz cultivado em presença de lâmina de água ao grau de redução do solo mais intenso, proporcionando maior disponibilidade do nutriente em solução (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; SOUSA et al., 2006). Para o cálcio, os teores foliares determinados para os tratamentos com presença de lâmina de água (5 cm e 10 cm) foram semelhantes entre si e inferiores ao do tratamento sem lâmina de água (umidade de saturação). É provável que a maior disponibilidade de potássio em solução, decorrente de lâminas de água de maior espessura, tenha inibido a absorção de cálcio pelo arroz, visto que os dois cátions competem pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA, 2006). Isto ocorreu a despeito de o cálcio em ambiente reduzido ter a sua solubilidade aumentada em razão do deslocamento dos sítios de troca para a solução do solo pelos cátions ferro e manganês (VAHL, 1999; SOUZA et al., 2006).

Na safra 2008/09, não se determinou influência da presença / espessura da lâmina de água sobre as concentrações de macronutrientes no tecido foliar de arroz (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha de arroz na floração (R4), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
2007/2008						
< 1 cm	30,0 ^{ns}	3,4 ^{ns}	9,6b	4,5a	1,6 ^{ns}	1,6 ^{ns}
5 cm	29,8	3,2	10,6ab	3,8b	1,2	1,6
10 cm	29,4	3,0	12,3a	3,2b	1,2	1,4
Média	29,7	3,2	10,8	3,8	1,3	1,6
CV,%	3,2	4,1	8,1	8,0	13,8	31,0
2008/2009						
< 1 cm	27,0 ^{ns}	1,9 ^{ns}	11,9 ^{ns}	4,6 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,9 ^{ns}
5 cm	27,2	2,1	12,3	4,4	1,7	1,8
10 cm	26,7	2,1	12,1	3,6	1,6	1,8
Média	27,0	2,0	12,1	4,2	1,6	1,8
CV,%	5,3	10,6	4,1	20,4	4,6	5,5

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

Os resultados de ambos os anos, particularmente aqueles referentes à amostragem realizada na floração (estádio recomendado para a avaliação do estado nutricional da planta de arroz (COMISSÃO, 2004)), revelam ausência ou efeito tênue da variação na espessura da lâmina de água sobre a nutrição do arroz irrigado. Isto é um indicativo bastante favorável da possibilidade de diminuição da espessura, ou mesmo eliminação, da lâmina de água, como estratégia para a redução da demanda hídrica da cultura, sem prejuízos para sua nutrição.

Acrescenta-se com relação à avaliação do estado nutricional do arroz que a comparação dos teores médios de macronutrientes no tecido vegetal, determinados na floração, com as faixas de suficiência preconizadas para a cultura indicou, para a safra 2007/08, adequação para nitrogênio, fósforo e cálcio. As concentrações de potássio, magnésio e enxofre foram pouco inferiores aos níveis críticos estabelecidos pela cultura. Na safra 2008/09, independentemente do manejo da água praticado, os teores de fósforo, potássio e enxofre foram inferiores aos níveis críticos estabelecidos para o arroz irrigado, os demais macronutrientes estiveram dentro das faixas de suficiência indicadas pela Comissão (2004). Apesar desses resultados, em ambos os anos não se observou nenhuma sintomatologia visual de deficiência desses nutrientes para o arroz ao longo de todo o seu ciclo.

Assim como para os macronutrientes, a influência da espessura da lâmina de água sobre a concentração foliar de micronutrientes no arroz variou entre as épocas de amostragem e safras. No perfilhamento pleno (estádio V8), em ambas as safras, o efeito dos tratamentos manifestou-se para cobre, manganês e zinco (Tabela 3.5). Maiores concentrações de cobre, manganês e zinco no solo foram determinadas sob umidade de saturação, comparativamente aos tratamentos com manutenção de lâmina de água. Os menores teores foliares de cobre e zinco proporcionados pela presença de lâmina de água podem ser explicados pelo grau mais avançado de redução no solo (SARWAR; KHANIF, 2005), diminuindo a disponibilidade desses nutrientes, pela formação de compostos de baixa solubilidade e adsorção aos colóides orgânicos (SOUSA et al., 2006).

Quanto ao manganês, possivelmente teve sua absorção reduzida nos tratamentos com presença de lâmina de água em razão do aumento da concentração de ferro em solução (Tabela 3.5), proporcionado pelo ambiente mais reduzido, visto que esses nutrientes apresentam absorção competitiva (MALAVOLTA, 2006). A interação Fe-Mn é bastante comum (BATAGLIA, 1991); em algumas situações, o excesso de ferro na solução do solo induz redução na absorção de outros micronutrientes, incluindo-se o manganês (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1985). Relatos de diminuição na absorção de manganês pelo arroz em presença de altas concentrações de ferro em solução foram apresentados, anteriormente, por Pande e Mitra (1970); Obermueller e Mikkelsen (1974) e Stone et al. (1990).

A avaliação realizada por ocasião da diferenciação da panícula indicou efeito da espessura da lâmina de água sobre os teores de cobre e manganês, na safra 2007/08, e de ferro, na safra de 2008/09 (Tabela 3.6). Como no perfilhamento pleno, atribui-se a menor absorção de cobre nos tratamentos com manutenção de lâmina de água (safra 2007/08) à diminuição na disponibilidade do nutriente sob redução, decorrente da formação de compostos de baixa solubilidade e de sua adsorção a colóides orgânicos (SOUSA et al., 2006). Schmidt et al. (2009) relataram maior adsorção de cobre em resposta à elevação do aumento do pH proporcionado pelo alagamento do solo. Por sua vez, Bertoni et al. (1999) atribuíram a redução na disponibilidade de cobre no solo decorrente do alagamento ao aumento das quantidades solúveis de Fe, Mn, Ca, Mg e K, que competiriam com o cobre pela absorção. Também nessa fase do ciclo da cultura, a absorção de manganês foi bem

menor em presença de lâmina de água (Tabela 3.6). Segundo Sims e Patrick (1978), o Mn solubilizado pela inundação do solo pode, em seguida, ser retido pela fase sólida, precipitar na forma de hidróxidos ou precipitar com o fósforo da solução, mecanismos que explicariam os resultados obtidos. Em 2008/09, a concentração foliar de ferro foi maior no tratamento lâmina de água de 5cm; os demais tratamentos foram semelhantes entre si (Tabela 3.6). Tal resultado deve estar relacionado à interação competitiva com manganês (MALAVOLTA, 2006), uma vez que o aumento na absorção de um desses nutrientes necessariamente condiciona redução na absorção do outro e vice-versa.

Tabela 3.5. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz no estágio V8, em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
	2007/2008				
< 1 cm	40 ^{ns}	14a	93 ^{ns}	296a	49a
5 cm	41	6b	115	72b	10b
10 cm	44	4b	119	72b	10b
Média	41,6	8	109	147	23
CV,%	16,5	23,9	19,8	17,5	23,8
	2008/2009				
< 1 cm	19 ^{ns}	8a	96 ^{ns}	156a	38a
5 cm	20	6b	102	95b	27b
10 cm	21	6b	103	87b	26b
Média	20	6	100	113	30
CV,%	7,8	15,8	7,8	12,7	8,3

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

Na floração, a variação na espessura da lâmina de água exerceu efeito sobre os teores de boro e manganês, em 2007/08, e exclusivamente de manganês, na safra de 2008/09. A presença de lâmina de água proporcionou menor concentração foliar de B e Mn, comparativamente ao solo saturado. Confirmando resultados de avaliações anteriores, o manganês teve sua absorção diminuída na presença de lâmina de água (Tabelas 3.7), refletindo a menor disponibilidade devida retenção na fase sólida do solo e/ou a precipitação na forma de hidróxidos ou fosfatos (Sims; Patrick, 1978).

Tabela 3.6. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz, na diferenciação da panícula (R1), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
2007/2008					
< 1 cm	22 ^{ns}	6a	75 ^{ns}	242a	8 ^{ns}
5 cm	20	4b	90	64b	7
10 cm	19	4b	75	59b	8
Média	21	5	85	122	8
CV,%	15,7	10,8	11,9	36,0	18,6
2008/2009					
< 1 cm	19 ^{ns}	6 ^{ns}	78b	94 ^{ns}	13 ^{ns}
5 cm	22	5	94a	81	14
10 cm	18	5	75b	68	14
Média	20	5	82	81	13
CV,%	12,7	18,0	8,0	20,2	26,4

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

Tabela 3.7. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na folha de arroz, na floração (R4), em função da espessura de lâmina de água. Safras 2007/08 e 2008/09.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
2007/2008					
< 1 cm	24a	7 ^{ns}	64 ^{ns}	362a	12 ^{ns}
5 cm	18b	9	61	140b	17
10 cm	16b	10	54	110b	14
Média	22	9	59	204	14
CV,%	7,4	24,2	10,8	34,4	31,2
2008/2009					
< 1 cm	11 ^{ns}	6 ^{ns}	51 ^{ns}	241a	14 ^{ns}
5 cm	11	5	51	138b	13
10 cm	11	5	51	133b	12
Média	11	6	51	170	13
CV,%	8,9	14,5	10,7	15,0	11,5

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

Confrontando-se os dados médios obtidos na floração, em ambas as safras, com os padrões disponíveis para lavouras produtivas (COMISSÃO, 2004), foi verificada suficiência, apenas para cobre e manganês. Os demais micronutrientes não atingiram o nível crítico. Também para os micronutrientes não se observou sintomatologia visual de deficiência nutricional para o arroz. Assim, é possível que a exigência nutricional da cultivar em avaliação (BRS Querência) seja menor que as estabelecidas no padrão disponível.

3.3.2 Absorção de nutrientes pelo arroz

Os resultados de quantidades de macronutrientes acumulados nos colmos e folhas e exportados pelos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água da safra 2007/08 são apresentados nas tabelas 3.8 e 3.9 e os da safra 2008/09, nas Tabelas 3.10 e 3.11, respectivamente.

No primeiro ano agrícola, apenas as quantidades de cálcio e enxofre acumuladas nos colmos e folhas do arroz foram influenciadas pela espessura da lâmina de água. A manutenção de uma lâmina de água mais espessa (10cm) propiciou maior acumulação de ambos os nutrientes na parte aérea da planta de arroz, comparativamente aos tratamentos com lâmina baixa ou com omissão desta (Tabela 3.8). Este efeito reflete tanto a maior produção de matéria seca, como o aumento na disponibilidade de cálcio e enxofre proporcionados pela lâmina de 10 cm (APÊNDICES L e M). Embora não participe diretamente das reações de oxirredução que se processam sob alagamento, o cálcio tem sua solubilidade aumentada devido ao deslocamento para a solução do solo pelo manganês e ferro (SOUSA et al., 2006), sendo a intensidade desse efeito diretamente proporcional à condição de redução estabelecida. O enxofre, contrariamente, tem a disponibilidade da forma preferencialmente absorvida pelas plantas (sulfato) diminuída pela redução, porém essa é uma reação que se processa em sequência à redução do ferro, o que pode levar até alguns meses para se processar em solos ácidos (VAHL; SOUSA, 2004).

Tabela 3.8. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre acumulados nos colmos e folhas de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
< 1 cm	65,9 ^{ns}	12,9 ^{ns}	157,3 ^{ns}	26,2 ^b	16,4 ^{ns}	5,9 ^b
5 cm	58,1	12,4	142,5	25,6 ^b	13,7	5,3 ^b
10 cm	62,2	12,6	155,3	33,0 ^a	20,0	8,4 ^a
Média	62,1	12,6	151,6	28,3	16,6	6,5
CV,%	17,6	19,4	12,2	7,8	12,4	6,0

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

Na mesma safra (2007/08), não se observou efeito da variação na espessura da lâmina de água sobre as quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos (Tabela 3.9), indicando que as diferentes condições de redução proporcionadas pela presença ou não de lâmina de água, bem como pela variação em sua espessura, têm pouco efeito sobre o desempenho produtivo e absorção de nutrientes pelo arroz. Isto é válido para cultivos estabelecidos sob condições adequadas de clima e de manejo, visto que a presença de lâmina de água traz benefícios importantes à cultura, particularmente exercendo efeito termorregulador e promovendo o controle de plantas daninhas não aquáticas (SOCIEDADE, 2007).

Tabela 3.9. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre exportados pelos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
< 1 cm	65,0 ^{ns}	28,5 ^{ns}	40,0 ^{ns}	3,0 ^{ns}	9,3 ^{ns}	4,4 ^{ns}
5 cm	68,1	31,1	48,0	3,8	10,3	4,8
10 cm	75,9	33,8	50,3	3,7	11,0	5,6
Média	69,7	31,1	46,0	3,4	10,2	5,0
CV,%	16,6	14,0	14,4	19,9	16,4	10,9

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

Em 2008/09, o efeito da variação na espessura da lâmina de água foi ainda mais restrito, manifestando-se, apenas, sobre a quantidade de cálcio acumulada nos colmos e folhas do arroz. O comportamento observado foi distinto, entretanto,

daquele reportado para o ano anterior, ou seja, a acumulação de cálcio na parte aérea da planta foi maior na ausência da lâmina de água, decrescendo a medida que se aumentou sua espessura (Tabela 3.10). Este efeito esteve associado à variação na produção de matéria seca dos colmos e folhas e na concentração de cálcio no tecido vegetal, que diminuíram com o aumento da espessura da lâmina de água (APÊNDICES L e O).

Os resultados relativos à exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelos grãos foram semelhantes ao do primeiro ano agrícola, não havendo efeito da espessura da lâmina de água sobre as quantidades de macronutrientes exportadas pelos grãos (Tabela 3.11). Isto reforça observações da safra anterior de que as variações no estado de redução decorrentes de diferentes espessuras de lâmina de água têm efeito discreto sobre a absorção e acumulação desses nutrientes nos grãos de arroz.

É importante ressaltar que esses resultados foram gerados em anos agrícolas onde a produtividade do arroz foi limitada por motivos associados ao clima e ao manejo da cultura, havendo pouca resposta do arroz aos tratamentos de espessura de lâmina de água. É possível que, em cultivos com melhor desempenho produtivo, haja maior resposta da cultura à variação no manejo da água, com reflexos sobre a absorção de nutrientes.

Estudo anteriores (CHERIAN et al., 1968; JUGSUJINDA; PATRICK JR, 1977; SENG et al., 1999) relataram benefícios da presença de lâmina de água sobre a absorção de alguns nutrientes pelo arroz, porém os efeitos mais importantes estiveram associados à comparação do arroz irrigado por inundação do solo com aquele cultivado em condições aeróbicas.

Tabela 3.10. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre acumulados nos colmos e folhas de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
< 1 cm	74,1 ^{ns}	22,4 ^{ns}	151,5 ^{ns}	38,5a	28,8 ^{ns}	8,2 ^{ns}
5 cm	80,6	27,5	189,0	33,0ab	29,4	6,4
10 cm	67,6	19,7	141,3	27,8b	21,2	7,0
Média	74,0	23,2	160,6	33,1	26,4	7,2
CV,%	23,3	36,5	20,1	13,3	22,4	10,5

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

Tabela 3.11. Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre exportados pelos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
< 1 cm	75,2 ^{ns}	33,5 ^{ns}	70,1 ^{ns}	3,0 ^{ns}	14,7 ^{ns}	8,4 ^{ns}
5 cm	83,8	28,2	65,3	3,0	13,1	8,1
10 cm	73,1	31,4	64,9	2,9	14,0	7,2
Média	77,4	31,0	66,8	2,9	13,9	7,9
CV,%	12,1	14,0	10,6	22,0	16,1	18,0

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

As quantidades de nutrientes (N, P e K) fornecidas via adubação não supriram integralmente a demanda da cultura, mesmo com produtividades de grãos menores que o potencial produtivo da cultivar BRS Querência, indicando que parte dos nutrientes absorvidos é oriunda de outras fontes (solo, resíduos de cultivos anteriores e água de irrigação). Em ambas as safras, o potássio foi o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz, seguido do nitrogênio, fósforo, cálcio/magnésio e enxofre (Tabelas 3.8 a 3.11). O nitrogênio ocupou a primeira colocação em exportação pelos grãos, seguido do potássio, fósforo, magnésio, enxofre e, finalmente, o cálcio (Tabelas 3.9 e 3.11). De forma geral, as quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea e exportadas pelos grãos foram um pouco maiores na segunda safra, possivelmente em razão da magnitude da adubação básica de semeadura.

A acumulação de micronutrientes na planta de arroz foi mais sensível às alterações no estado de redução do solo, proporcionadas pela variação na espessura da lâmina de água. Esse efeito foi mais intenso na safra 2007/08, onde se determinou efeito dos tratamentos sobre as quantidades de cobre, ferro, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas e exportadas pelos grãos (Tabela 3.12 e 3.13). Em 2008/09, a influência dos tratamentos manifestou-se, apenas, sobre as quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas (Tabela 3.14), não havendo efeito na exportação pelos grãos (Tabela 3.15).

Em 2007/08, maiores quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas foram determinadas para o tratamento com lâmina de água de 10cm, relativamente aos demais, que não diferiram entre si. Para o ferro, o efeito dos tratamentos com presença de lâmina de água foi superior ao do solo saturado

(Tabela 3.12). De forma geral, esse resultado está associado à quantidade de matéria seca dos colmos e folhas, que foi superior no tratamento com lâmina de água mais espessa (APÊNDICE L), visto que as variações entre tratamentos nas concentrações desses micronutrientes foram pequenas (APÊNDICE Q). Nessa mesma safra, a exportação de cobre e manganês pelos grãos também foi superior para o tratamento com lâmina de água de 10cm. Já para o ferro, maior exportação ocorreu sob lâmina de 5cm (Tabela 3.13). Tais resultados refletem, basicamente, as variações na produção de matéria seca e nos teores de nutrientes no tecido vegetal proporcionadas pelos tratamentos.

Tabela 3.12. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco acumulados nos colmos e folhas de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
< 1 cm	55 ^{ns}	40b	1636b	957b	134b
5 cm	58	34b	3098a	737b	123b
10 cm	65	53a	3536a	2309a	259a
Média	59	42	2756	1334	172
CV, %	17,4	10,5	11,2	18,4	20,0

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

Tabela 3.13. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco exportados pelos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
< 1 cm	17 ^{ns}	32b	398b	333b	115 ^{ns}
5 cm	21	38b	498a	368b	128
10 cm	17	43a	370b	1217a	149
Média	18	37	422	639	131
CV, %	16,7	12,0	8,4	9,3	14,1

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

Na segunda safra (2008/09), as quantidades de cobre, manganês e zinco acumuladas nos colmos e folhas decresceram com o aumento da espessura da lâmina de água (Tabela 3.14), refletindo as variações na produção de matéria seca da parte aérea e nas concentrações desses nutrientes no tecido vegetal. Segundo Sousa et al. (2006), a concentração de cobre e zinco é reduzida em ambientes

reduzidos, devido à formação de compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, ou à sua adsorção aos colóides orgânicos do solo. Por outro lado, a menor absorção de manganês em ambiente mais reduzido deve estar associada à diminuição na disponibilidade devido à retenção na fase sólida do solo e/ou a precipitação na forma de hidróxidos ou fosfatos (Sims; Patrick, 1978).

A ausência de significância dos tratamentos sobre a exportação de micronutrientes pelos grãos de arroz em 2008/09 (Tabela 3.15) está associada, principalmente, à pequena variação na produção de massa seca dos grãos (APÊNDICE L).

Tabela 3.14. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco acumulados nos colmos e folhas de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
< 1 cm	64 ^{ns}	39a	1996 ^{ns}	1969a	341a
5 cm	66	28ab	2937	1315ab	261ab
10 cm	56	19b	2069	978b	219b
Média	62	29	2334	1421	274
CV, %	19,5	15,5	25,9	26,9	24,0

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

Tabela 3.15. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco exportados nos grãos de arroz, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g ha ⁻¹ -----				
< 1 cm	33 ^{ns}	17 ^{ns}	521 ^{ns}	822 ^{ns}	164 ^{ns}
5 cm	28	15	442	642	155
10 cm	31	14	449	635	152
Média	31	15	471	700	157
CV, %	24,2	18,2	29,0	30,9	14,7

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

Quanto aos resultados de micronutrientes absorvidos, vale acrescentar que a ausência ou pequenas diferenças entre os tratamentos são indicativos de que o solo utilizado no presente estudo, independentemente do manejo de água praticado, supriu adequadamente as exigências nutricionais do arroz, atenuando, ou mesmo, impedindo a expressão de efeito dos tratamentos. Nesse sentido, Scivittaro;

Machado (2004) relatam que, de forma geral, a disponibilidade de micronutrientes dos solos arroseiros do Rio Grande do Sul atende a exigência nutricional da cultura.

3.4 Conclusões

A espessura da lâmina de água exerce efeito discreto sobre o estado nutricional do arroz.

A presença de lâmina de água propicia maior teor foliar de potássio e menores de cobre, manganês e zinco, no perfilhamento pleno.

Na diferenciação da panícula, a manutenção de lâmina de água proporciona maiores concentrações de fósforo e potássio no tecido foliar do arroz, mas promove redução nos teores cobre e manganês.

Na floração, a concentração foliar de potássio aumenta com a espessura da lâmina de água, sendo o efeito contrário para cálcio, boro e manganês.

A presença e variação na espessura da lâmina de água praticamente não influencia a absorção de nutrientes pelo arroz irrigado, acompanhando a estabilidade na produção de matéria seca da planta.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade, a pesquisa vem estudando várias alternativas de manejo da água para o arroz irrigado por inundação do solo, com vistas à redução de seu uso e à elevação da eficiência de irrigação. Entre as estratégias em avaliação, destacam-se a época de início de irrigação, que interfere no período de irrigação, e a espessura da lâmina de água.

O manejo da água para o arroz interage fortemente com fatores abióticos e bióticos, bem como com outras práticas culturais. Assim, preconiza-se que a introdução de alterações no manejo da água para o arroz pode requerer adequações no manejo da cultura.

Nesse sentido, a disponibilidade e absorção de nutrientes pelo arroz podem ser influenciados por alterações no manejo da água, visto que este interfere na duração e condição de redução estabelecida no ambiente de cultivo e, portanto, na transformações químicas decorrentes do alagamento do solo.

Este trabalho propôs-se a avaliar a influência da época de início de irrigação e da espessura da lâmina de água sobre o estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz. O principal efeito observado esteve associado à época de início de irrigação, que condicionou variações importantes no período de irrigação. Por outro lado, a redução da espessura da lâmina de água ou sua eliminação por completo, mantendo-se o solo apenas em umidade de saturação tiveram menor influência sobre a nutrição da cultura.

O efeito da época de início de irrigação foi mais intenso especialmente por condicionar períodos distintos de manutenção da planta em condições de restrição hídrica, antecedendo o estabelecimento da irrigação. Na região de cultivo, são comuns situações de déficit hídrico no final da primavera, coincidindo com os estádios iniciais de desenvolvimento do arroz. A intensidade da restrição de água nessa fase tem influência sobre o desenvolvimento e crescimento do arroz; em condições extremas podendo, inclusive, afetar o potencial produtivo da cultura.

Por sua vez, a influência da variação na lâmina de água é menor, visto que a irrigação é simultânea, independentemente do estabelecimento e espessura da lâmina de água. Consequentemente, seu efeito sobre o desenvolvimento, crescimento e potencial produtivo do arroz é menor. Não menos importante, porém, são outros benefícios associados à presença da lâmina de água para o arroz, como o termoregulador e adjuvante no controle de pragas.

As variações no estado nutricional e absorção de nutrientes pelo arroz em resposta ao manejo da água verificadas no presente trabalho foram determinadas pela interação de dois fatores: variações no crescimento e, portanto, na produção de matéria seca da planta, e na disponibilidade de nutrientes no solo. Isso condicionou, por vezes, efeitos distintos entre os estádios de desenvolvimento da cultura e entre os anos.

Embora alterações na nutrição do arroz tenham sido determinadas em função do manejo da água, particularmente associadas à época de início da irrigação, os resultados indicam que os manejos em avaliação não influenciaram de forma marcante a disponibilidade de nutrientes para o arroz; o efeito principal esteve associado à produção de matéria seca da cultura, que variou, preponderantemente, em função da disponibilidade de água.

Assim, até o presente momento, os resultados obtidos não indicam a necessidade de adequações nas indicações de adubação para o arroz irrigado, quando da implementação de variações no manejo da água associadas à época de início de irrigação e à espessura da lâmina de água, dentro de intervalos próximos aos ensaiados.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRES, A.; FREITAS, G. D.; CONCENÇO, G.; MELO, P. T. B. S.; FERREIRA, S. A. Desempenho do cultivar de arroz BRS Pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) submetidos a quatro épocas de entrada d' água após aplicação de doses reduzidas de herbicidas. **Planta Daninha**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 859-867, 2007.
- ANGHINONI, I.; GENRO JÚNIOR., S. A.; SILVA, L. S. da; BOHNEN, H.; RHEINHEIMER, D. S'; OSÓRIO FILHO, B. D. ; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2004. 52 p. (Boletim Técnico, 1).
- 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.
- BATAGLIA, O. C.. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da.. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 734.
- BERTONI, J. C.; HOLANDA, F. S. R.; CARVALHO, J. G.; PAULA, M. B.; ASSIS, M. P. Efeito do cobre na nutrição do arroz irrigado por inundação – teores e acúmulos de nutrientes. **Ciênc. Agrotéc**, Lavras, v. 23, p. 547-559, 1999.
- 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. 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. **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. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 330-333.

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. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999a. p. 326-329.

CHERIAN, E. C.; PAULSEN, G.; MURPHY, L. S. Nutrient uptake by lowland under flooded and nonflooded soil conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 554-557, 1968.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS-RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. p. 400.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Safra 2008/2009. Nono Levantamento [Junho/2009]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos_08.09.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2009.

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.

DeDatta, S. K. **Principles and practices of rice production**. John Wiley & Sons: New York, 1981.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Cultivares de arroz irrigado da Embrapa Clima Temperado indicadas para o cultivo no Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2006. Folder.

FEPAM. **Licenciamento ambiental**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento_ambiental/enquadramento/p1.htm>

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

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**, Campina, 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: Embrapa Informação Tecnológica, 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. p. 44 (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 (IRGA). **Custo de produção do arroz irrigado no Rio Grande do Sul**: sistema semidireto. Safra 08/09. Disponível em: <[HTTP://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20090828095727.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20090828095727.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2010.

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: 1965, p. 18.

JUGSUJINDA, A.; PATRICK JR, W.H. Growth and nutrient uptake by rice in a flooded soil under controlled aerobic-anaerobic and pH conditions. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 69, p. 705-710, 1977.

KABATA-PENDIAS, A; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 1985. p. 315.

MACEDO, V. R. M.; CHAVES, A. P. L. Qualidade da água e racionalização do uso na lavoura de arroz irrigado no RS. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 54, n. 439, p. 27-38, 2006.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 638.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994. p. 406.

MENEZES, V. G.; RAMIREZ, H. Rendimento de grãos de arroz irrigado em função do início da irrigação e do controle precoce de plantas daninhas em Cachoeirinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 190-192.

MORAES, J. F.; FREIRE, C. J. 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.

MURLIKI, J. D.; CASTRO, N. M. R.; LOUZADA, J. A.; OLIVEIRA, M. H. C. de; SCIVITTARO, W. B. Efeito de lâminas de água sobre a demanda hídrica e eficiência de irrigação do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6, 2009, Porto Alegre. 2009. 1. CD-ROM.

NUNES, D. R. ; SCHAFFER, G.; SCIVITTARO, W. B. Estado nutricional do Arroz Irrigado em função da época de entrada de água e do manejo da adubação nitrogenada. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14, 2005, Pelotas. CD-ROM.

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**. Lod 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.

RAMÍREZ, H. V.; HERZOG, R. L. da S.; CHAVES, A, da C.; MENEZES, V. G. Aumento de produtividade através do manejo da água de irrigação na cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas . **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 434-435, 2007.

RAMIREZ, H.; MENEZES, V. G.; JACEGUAY, I. de B. ; CREMONESE, J. L. Rendimento de grãos de arroz irrigado em função do início da irrigação e do controle precoce de plantas daninhas em Cachoeira do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camburiú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 193-195.

RAMÍREZ, H.; MENEZES, V. G.; OLIVEIRA, J. C. S. de. Controle Precoce de plantas daninhas e início da irrigação na cultura do arroz irrigado no sistema convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 524-527.

REIS, M. de S.; SOARES, A. A.; SOARES, P. C.; CORNÉLIO, V. M. de O. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciênc. Agrotec**, Lavras, v.29, p. 707-713, 2005.

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) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANCHEZ S., L. F. Aspectos sobre suelos y fertilización del arroz de riego com enfasis em 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. (eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SARWAR, M. J.; KHANIF, Y. M. Low water Rice Production and its effect on redox potential and soil pH. **Journal of Agronomy**, Madison, v. 4, p. 142-146, 2005.

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.; FARIAS, D. G.; SILVA, C. A. S. Manejo integrado da água e do nitrogênio na cultura do arroz irrigado. IN: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO, 15., 2005. Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S.; LOUZADA, J. A.; CASTRO, N. M. dos R.; VALE, M. L. C. do; FERREIRA, L. H. G.; WINKLER, A. S.; SILVA, P. S. da. Estratégia para o aumento da eficiência de uso da água pelo arroz: efeito da época de início de irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008. Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2008. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. Manejo da adubação mineral e da calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; SANTOS, A. B. dos (org.). **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004, p. 73-87.

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. **Palestras...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S.; MARTINS, J. F. da S.; STEINMETZ, S. Manejo da água e da adubação nitrogenada para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S. (ed.) **Novos horizontes para a sustentabilidade da lavoura orizícola do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. p. 41-96.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: Algenor da Silva Gomes; Ariano Martins de Magalhães Júnior. (org.), **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, v.1, 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**, Hague, v. 14, n. 2, p. 127-146, 1961.

SENG, V.; BELL, W. R.; WILLET, I. R.; NESBITT, H. J. Phosphorus nutrition of rice in relation to flooding and temporary loss of soil-water saturation in two lowland soils of Cambodia. **Plant and Soil**, Hague, v. 207, p. 121-132, 1999.

SHMIDT, F. SOUSA, R.O. de.; FORTES, M. de A.; WOLTER, R. C.D.; WESZ, J. Resíduos de azevém na superfície de um Planossolo alagado e seus efeitos na concentração de nutrientes na solução do solo e em plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2080-2086, 2009.

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 Camburiú. **Anais...** Itajaí: Epagri, 2003. p. 255-257.

SIMS, J. L.; PATRICK, W. H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions varying redox potential and pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 258-262, 1978.

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 (SOSBAI). **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, p. 48 (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.

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

TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, n.1, p. 117-122, 1999.

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. S.; PAULETTO, E. A., Eds. **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: Embrapa Informação Tecnológica, 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. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 286-293.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 449.

VIANNA, M. L. de S. O desperdício de energia na irrigação do arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.50, n.432, p.9-11, 1997.

WIELEWICKI, A. **Eficiência de calagem em arroz sob duas épocas de início da irrigação**. 1997. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados mensais médios das temperaturas máxima ($T_{max.}$) e mínima ($T_{min.}$) e de precipitação pluviométrica acumulada relativos ao período experimental na safra 2007-08. Capão do Leão, RS.

Mês / ano	$T_{max.}$	$T_{min.}$	Precipitação
	----- °C -----		mm
Novembro/2007	24,2	13,6	78,3
Dezembro/2007	28,3	17,4	123,4
Janeiro/2008	28,1	19,1	80,4
Fevereiro/2008	27,5	19,0	140,4
Março/2008	27,8	18,3	102,6
Abril/2008	25,4	12,7	31,2

APÊNDICE B – Dados mensais médios das temperaturas máxima ($T_{max.}$) e mínima ($T_{min.}$) e de precipitação pluviométrica acumulada relativos ao período experimental na safra 2008-09. Capão do Leão, RS.

Mês / ano	$T_{max.}$	$T_{min.}$	Precipitação
	----- °C -----		mm
Novembro/2008	26,1	17,1	45,3
Dezembro/2008	27,0	17,8	57,4
Janeiro/2009	28,1	18,2	264,8
Fevereiro/2009	28,5	19,3	238,0
Março/2009	27,4	18,6	86,5

APÊNDICE C – Matéria seca dos colmos e folhas (colmos) e das panículas com grãos (grãos), em função da época de início de irrigação. Safras 2007/08 (dados médios de três repetições) e 2008/09 (dados médios de quatro repetições). Capão do Leão, RS.

Início de irrigação	Colmos	Grãos	Colmos	Grãos
	Safra 2007/08		Safra 2008/09	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
V2-V3	8251	8274	6849	7720
V4-V5	8583	7258	7114	7480
V7-V8 / V6-V7	6581	6087	8526	6685

APÊNDICE D – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
V2-V3	6,3	1,8	20,1	3,7	2,5	1,1
V4-V5	7,0	1,7	19,2	3,8	2,7	1,2
V7-V8	4,0	1,2	20,5	3,3	2,5	0,6

APÊNDICE E – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
V2-V3	9,6	4,2	7,2	0,5	1,6	0,7
V4-V5	10,8	4,2	6,6	0,4	1,6	0,8
V7-V8	9,4	4,5	5,6	0,4	1,4	0,7

APÊNDICE F – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
V2-V3	6,7	1,9	15,5	3,9	2,3	1,3
V4-V5	6,6	1,9	19,0	3,7	2,4	1,5
V6-V7	8,5	2,5	21,7	3,1	2,9	1,6

APÊNDICE G – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Início de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
V2-V3	10,3	4,4	8,8	0,4	2,0	1,0
V4-V5	10,1	4,0	9,0	0,5	2,0	1,0
V6-V7	11,6	3,8	8,2	0,4	1,7	1,1

APÊNDICE H – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
V2-V3	8	5	800	230	26
V4-V5	8	5	634	242	29
V7-V8	9	5	258	180	24

APÊNDICE I – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
V2-V3	5	3	120	102	21
V4-V5	4	3	85	91	21
V7-V8	1	1	42	45	10

APÊNDICE J – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
V2-V3	7	3	265	165	26
V4-V5	6	3	229	193	25
V6-V7	6	3	206	147	29

APÊNDICE K – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da época de início de irrigação. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Início de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
V2-V3	4	2	62	76	19
V4-V5	4	2	50	85	18
V6-V7	4	2	41	74	17

APÊNDICE L – Matéria seca dos colmos e folhas (colmos) e das panículas com grãos (grãos) na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safras 2007/08 (dados médios de três repetições) e 2008/09 (dados médios de quatro repetições). Capão do Leão, RS.

Lâmina de água	Colmos	Grãos	Colmos	Grãos
	Safra 2007/08		Safra 2008/09	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
<1 cm	7443	5581	9086	7357
5 cm	6875	6306	8552	7417
10 cm	8452	6115	7516	6898

APÊNDICE M – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
<1 cm	8,9	1,7	21,1	3,5	2,2	0,8
5 cm	8,5	1,8	20,7	3,7	2,0	0,8
10 cm	7,4	1,5	18,3	3,9	2,4	1,0

APÊNDICE N – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
<1 cm	11,7	5,1	7,2	0,5	1,7	0,8
5 cm	10,8	4,9	7,6	0,6	1,6	0,8
10 cm	12,4	5,5	8,2	0,6	1,8	0,9

APÊNDICE O – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
<1 cm	8,1	2,5	16,9	4,2	3,2	0,9
5 cm	9,4	3,2	22,1	3,9	3,4	0,8
10 cm	9,0	2,6	18,4	3,7	2,9	0,9

APÊNDICE P – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Lâmina de água	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
<1 cm	10,2	4,6	9,6	0,4	2,0	1,1
5 cm	11,3	3,8	8,8	0,4	1,8	1,1
10 cm	10,6	4,6	9,4	0,4	2,0	1,1

APÊNDICE Q – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
<1 cm	7	5	417	128	18
5 cm	8	5	513	108	18
10 cm	8	6	194	272	31

APÊNDICE R – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2007/08. Capão do Leão, RS. Dados médios de três repetições.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
<1 cm	3	6	72	60	21
5 cm	3	6	79	58	20
10 cm	3	7	61	199	24

APÊNDICE S – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos colmos e folhas do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
<1 cm	7	4	218	213	38
5 cm	8	3	344	154	31
10 cm	8	3	272	132	29

APÊNDICE T – Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nos grãos do arroz na maturação de colheita, em função da espessura da lâmina de água. Safra 2008/09. Capão do Leão, RS. Dados médios de quatro repetições.

Lâmina de água	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
<1 cm	5	2	71	112	22
5 cm	4	2	60	87	21
10 cm	5	2	65	92	22