

Estado Nutricional do Arroz Irrigado: Efeito da Época de Início de Irrigação e do Manejo da Adubação Nitrogenada





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

ISSN 1981-5980

Dezembro, 2007

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 57

Estado Nutricional do Arroz Irrigado: Efeito da Época de Início de Irrigação e do Manejo da Adubação Nitrogenada

Walkyria Bueno Scivittaro
Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves
Algenor da Silva Gomes
Rochele Sogari Picoloto
Vanessa Gentil Ricordi
Juliana Aguilar Fuhrmann Braun

Pelotas, RS
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
Endereço: BR 392 km 78
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8199
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro
Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia
Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Verneti Azambuja, Luís Antônio Suita de Castro
Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos
Editoração eletrônica e capa: Oscar Castro, Miguel Angelo (estagiário)
Fotos da capa: Algenor da Silva Gomes e Walkyria Bueno Scivittaro
Composição e impressão: Embrapa Clima Temperado

1a edição
1a impressão (200x): 100 exemplares

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

Estado nutricional do arroz Irrigado: efeito da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada / Walkyria Bueno Scivittaro ... [et al.]. -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

29 p. -- (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).

ISSN 1678-2518

Arroz irrigado - Manejo da água - Nitrogênio - Adubo - Análise foliar - Clorofilômetro - Índice de área foliar. I. Scivittaro, Walkyria Bueno.
II. Série

CDD 633.18

Sumário

Resumo	6
Abstract	8
Introdução	10
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	14
Conclusões	27
Referências Bibliográficas	27

Estado Nutricional do Arroz Irrigado: Efeito da Época de Início de Irrigação e do Manejo da Adubação Nitrogenada

Walkyria Bueno Scivittaro¹

Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves²

Algenor da Silva Gomes³

Rochele Sogari Picoloto⁴

Vanessa Gentil Ricordi⁴

Juliana Aguilar Fuhrmann Braun⁵

Resumo

A época de início da irrigação definitiva, assim como o manejo da adubação nitrogenada, podem alterar a disponibilidade de nutrientes no meio de cultivo e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes pelo arroz irrigado. Realizou-se, em três safras agrícolas consecutivas, um experimento para avaliar o efeito da época de início da irrigação e do manejo da adubação nitrogenada sobre o estado nutricional do arroz irrigado. Avaliaram-se quatro épocas de entrada de água [0, 7, 14 e 21 dias após a emissão da quarta folha (estádio V4)] e quatro manejos da adubação nitrogenada em cobertura [testemunha com omissão de N; 1/3 da dose recomendada de N (DR) no

¹ Eng.º Agrôn.º, Dra, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78 Caixa Postal 403 CEP 96001-970 Pelotas, RS. E-mail: wbscivit@cpact.embrapa.br

² Eng.º Agrôn.º, mestranda do Curso de Solos da FAEM-UFPel, Campus Universitário Caixa Postal 354 CEP 90010-900 Pelotas, RS. Bolsista da Fapeg. E-mail: daianar@cpact.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., MSc., pesquisador da Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78 Caixa Postal 403 CEP 96001-970 Pelotas, RS. E-mail: algenor@cpact.embrapa.br

⁴ Acadêmica do curso de Química Ambiental da UCPel, Rua Gonçalves Chaves, 373 CEP 96015-560 Pelotas, RS. E-mail: rochele@cpact.embrapa.br

⁵ Química, pesquisadora visitante do Convênio Embrapa/Petrobras/Fapeg, BR 392 km 78 Caixa Postal 403 CEP 96001-970 Pelotas, RS. E-mail: julianab@cpact.embrapa.br

início do perfilhamento (Perf.) + 2/3 DR na diferenciação da panícula (DP); 1/2 DR Perf. + 1/2 DR DP e 2/3 DR Perf. + 1/3 DR DP]. Os tratamentos foram dispostos em delineamento blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. O atraso na entrada de água favoreceu o estado nutricional da cultura, medido pelo teor de N e índice relativo de clorofila na folha e índice de área foliar do arroz, devido ao maior desenvolvimento radicular das plantas mantidas sob solo drenado por um período mais longo. O efeito preponderante da adubação nitrogenada esteve associado à dose do nutriente fornecida à cultura, assumindo papel secundário o parcelamento desta entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

Termos para indexação: manejo da água, nitrogênio, adubo, análise foliar, clorofilômetro, índice de área foliar.

Nutritional Status of Lowland Rice: Effects of Flooding Time and Nitrogen Fertilization Management

Walkyria Bueno Scivittaro

Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves

Algenor da Silva Gomes

Rochele Sogari Picoloto

Vanessa Gentil Ricordi

Juliana Aguilar Fuhrmann Braun

Abstract

Flooding time and nitrogen fertilization management may change nutrients availability in the growth medium and nutrients uptake by lowland rice. An experiment was carried out on a Planossolo Háplico (Albaqualf), during three growing seasons, to evaluate the effects of the flooding time and nitrogen fertilization management on the rice nutritional status. Treatments comprised combinations of four flooding times treatments (zero; 7; 14; and 21 days after the fourth leaf stage) and four nitrogen topdress fertilization managements [control with no nitrogen fertilization; one third of the nitrogen recommended dose (RD) at the beginning of tillering (TL) + two third of the RD at panicle differentiation (PD); half of RD at TL + half of RD at PD; and two third of RD at TL + one third of RD at PD]. The experimental design was a split plot in which the whole plot structure was a randomized block design with four replications. Flooding time was the plot factor and nitrogen fertilization management was the split plot factor. Flooding delay benefited rice nutritional status, which was measured by the nitrogen concentration in the rice tissue, the chlorophyll relative index and the foliar area index. This increased uptake of nitrogen and other essential nutrients is attributed to a higher

rice root growth due keeping soil under non flooded conditions for longer time. Nitrogen fertilization major effect was related to the N dose applied to rice plants. The effect of nitrogen split between tillering and panicle differentiation was secondary.

Index terms: water management, nitrogen, fertilizer, foliar analyse, chlorophyll meter, foliar area index.

Introdução

No Rio Grande do Sul, a lavoura de arroz é praticamente toda conduzida sob condições de solo alagado. O manejo da água de irrigação varia em função do sistema de semeadura utilizado. Quando realizada em solo seco, sistema de uso mais generalizado no Estado, esta condição deve ser mantida até 20 a 30 dias após a emergência das plântulas, correspondendo ao início do perfilhamento das plantas, procedendo-se, então, a inundação do solo, que se estende até próximo da colheita (SOSBAI, 2007).

A condição de solo alagado, mantida durante a maior parte do período de cultivo do arroz irrigado, promove transformações físicas, químicas e biológicas, que proporcionam aumento da disponibilidade de nutrientes e elevação do pH de solos ácidos. Em decorrência, o arroz irrigado apresenta menor resposta à adubação que culturas de sequeiro produzidas no mesmo solo. Apesar de tal característica e em razão da baixa fertilidade natural de grande parte dos solos cultivados com arroz no Rio Grande do Sul, a prática de adubação é indispensável para que sejam alcançadas produtividades elevadas (SCIVITTARO e GOMES, 2004).

A adubação mineral visa prover, às plantas de arroz, nutrientes em quantidades suficientes para suprir o déficit estabelecido entre sua exigência nutricional e o suprimento do meio de cultivo. As quantidades requeridas variam, porém, em função da interação entre vários fatores: fertilidade do solo; sistema de implantação da cultura; condições climáticas; tipo de planta; características da cultivar e práticas culturais, em especial o manejo da água de irrigação (SCIVITTARO e MACHADO, 2004).

Nesse sentido, um aspecto fundamental referente ao manejo da água de irrigação sobre o desempenho da cultura de arroz irrigado, diz respeito à sua influência sobre a absorção

de nutrientes pela cultura. Variações no manejo da água podem alterar a disponibilidade de nutrientes para o arroz e, conseqüentemente, requerer adequações nas recomendações de adubação.

A química dos solos alagados é distinta daquela estabelecida sob condições de aerobiose. Alguns nutrientes que não se encontram prontamente disponíveis em solos drenados estão freqüentemente disponíveis sob condições de inundação.

Em decorrência, as adubações fosfatada e potássica são recomendadas em menor quantidade para o arroz irrigado.

A disponibilidade de fósforo é garantida pelo alagamento devido a uma combinação de fatores: a) liberação do fósforo da matéria orgânica; b) redução dos fosfatos férricos (Fe^{3+}) a formas mais solúveis (Fe^{2+}); c) hidrólise de fosfatos de ferro e de alumínio, causada pelo aumento do pH dos solos ácidos, e d) liberação do fósforo adsorvido nas argilas ou nos hidróxidos de ferro (Fe^{3+}) e de alumínio (Al^{3+}), por intercâmbio aniônico (PONNAMPERUMA, 1972; 1977; SANCHEZ, 1980).

A disponibilidade de potássio também aumenta com o alagamento, como conseqüência do aumento de sua difusão, através da hidratação contínua e do deslocamento de potássio (K^+) dos sítios de troca para a solução, pelos cátions NH_4^+ , Fe^{2+} e Mn^{2+} (MACHADO, 1985) e devido à liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS e MEURER 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999).

O manejo da água também pode influenciar a disponibilidade de micronutrientes e sua absorção pelo arroz. A deficiência de zinco é a mais amplamente observada no mundo (PATRICK et al., 1985) e para o arroz irrigado (SCIVITTARO e MACHADO, 2004), sendo mais freqüente em solos sujeitos ao alagamento (BEYROUTY et al., 1994). Deficiências de zinco na planta podem ser causadas pela complexação do zinco do solo por carbonatos livres. Por outro lado, tanto o ferro quanto o manganês tornam-se mais solúveis sob condições de redução e situações de deficiência raramente são observadas (PATRICK et al., 1985).

O nitrogênio, contrariamente ao fósforo e potássio, fica sujeito

a perdas por desnitrificação e lixiviação, quando presente na forma nítrica, e em decorrência, a quantidade disponível do nutriente pode ser reduzida drasticamente pelo alagamento, embora a forma amoniacal seja conservada sob redução (BEYROUTY et al., 1994; SCIVITTARO e MACHADO, 2004). Uma particularidade do nutriente no cultivo de arroz irrigado refere-se ao fato de ter sua eficiência de recuperação bastante influenciada pelo manejo da água de irrigação.

Em razão do exposto, realizou-se um experimento para avaliar o efeito da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada sobre o estado nutricional da cultura de arroz irrigado.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em três safras agrícolas consecutivas, a partir de 2003/04, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS, sobre um Planossolo Háptico (EMBRAPA, 2006).

Por ocasião da implantação do experimento, o solo da área experimental apresentava as seguintes características: 190 mg dm⁻³ de argila; pH em água = 5,3; índice SMP = 5,9; 23 g dm⁻³ de M.O.; 3,0 mg dm⁻³ de P; 39 mg dm⁻³ de K; 5,7 Cmol_c dm⁻³ de Al; 23,5 Cmol_c dm⁻³ de Ca e 14,2 Cmol_c dm⁻³ de Mg. Em razão da suficiência de cálcio e magnésio e do valor de pH do solo aproximar-se do requerido pela cultura de arroz irrigado [pH(água) = 5,5], dispensou-se a calagem.

Em todas as três safras, semeou-se o arroz em sistema convencional de cultivo, adotando-se um espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidades de 130 a 150 kg ha⁻¹ de sementes. As épocas de semeadura seguiram o zoneamento agroclimático da cultura (STEINMETZ et al., 2001). Nas safras

2003/04 e 2004/05, utilizou-se a cultivar BRS 7 “Taim” e na safra 2005/06, a cultivar BRS Pelota. Esta alteração visou à eliminação do efeito do material genético sobre os resultados. As adubações de plantio consistiram em aplicações de fontes de fósforo (superfosfato triplo) e de potássio (cloreto de potássio), em doses definidas com base nas recomendações para o arroz irrigado (COMISSÃO, 1995; SOCIEDADE, 2004), para a primeira safra e segunda e terceira safras, respectivamente. Esses fertilizantes foram aplicados a lanço e incorporados na camada de 0 a 15 cm de profundidade. O controle de plantas daninhas e de insetos-praga e os demais tratos culturais seguiram as indicações técnicas da pesquisa para a cultura (SOSBAI, 2003; 2005).

Os tratamentos compreenderam quatro épocas de início da irrigação [0; 7; 14 e 21 dias após o início do perfilhamento - a partir da emissão da quarta folha (estádio V4)], associadas a variações no manejo da adubação nitrogenada em cobertura. Na primeira safra (2003/04), a dose referência (DR) de nitrogênio foi de 90 kg ha⁻¹, estabelecida com base nos resultados da análise de solo e nas recomendações de adubação para a cultura (COMISSÃO, 1995). Nas duas safras seguintes, a dose referência do nutriente passou a ser 120 kg ha⁻¹, atendendo à atualização das recomendações de adubação para o arroz irrigado (SOCIEDADE, 2004). Os manejos de N avaliados compreenderam um tratamento testemunha sem a aplicação do nutriente e três parcelamentos da adubação em cobertura, sendo: a) 1/3 DR aplicada no início do perfilhamento (Perf.) antecedendo a entrada de água (V4) e 2/3 DR aplicada na diferenciação da panícula sobre a lâmina de água (DP); b) 1/2 DR em V4 e 1/2 DR na DP; e c) 2/3 DR em V4 e 1/3 DR na DP. Como fonte de nitrogênio, utilizou-se uréia (44% de N). Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo o fator época de entrada de água alocado nas parcelas principais e o fator manejo do nitrogênio, nas parcelas secundárias. As unidades experimentais apresentaram as seguintes dimensões: 1,93m x 5,0m.

A avaliação do estado nutricional da cultura compreendeu determinações periódicas, ao longo do ciclo da planta, do índice de área foliar e do teor de N e índice relativo de clorofila na folha índice do arroz (última completamente desenvolvida). Excepcionalmente, na safra 2003/04 o teor de N foi determinado em amostras da parte aérea da planta. Também no primeiro cultivo realizou-se, adicionalmente, por ocasião da floração (estádio R4), a determinação dos teores de N; P; K; Ca; Mg; B; Cu; Fe; Mn e Zn no tecido vegetal. Para tanto, coletaram-se as folhas bandeira e anterior de 36 plantas por parcela, as quais foram analisadas segundo métodos descritos em Freire (2001). O índice de área foliar foi medido em uma amostra de 30 perfilhos, utilizando-se o integrador de área foliar LICOR modelo LI3000. Os valores obtidos foram expressos com base na massa de matéria seca dos perfilhos. A determinação do teor de N na folha foi realizada seguindo método descrito em Freire (2001). O índice relativo de clorofila foi medido em clorofilômetro SPAD 502 - Minolta, resultando da média de três posições (basal, intermediária e apical) da folha índice (penúltima completamente desenvolvida) de cinco plantas por unidade experimental.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias do fator época de entrada de água por análise de regressão polinomial e as do fator manejo da adubação nitrogenada pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Resultados e Discussão

Safra 2003/04

A análise dos indicadores do nível de nitrogênio na planta indicou significância da interação entre os fatores época de início de irrigação e manejo da adubação nitrogenada

exclusivamente para a variável índice relativo de clorofila (IRC) na folha, determinada no estádio V7-V8. Na avaliação realizada por ocasião da floração, essa variável foi influenciada, apenas, pela época de início de irrigação. Este efeito também se manifestou para a variável índice de área foliar (IAF), quando da determinação realizada na floração. Em ambas as épocas de avaliação, V7-V8 e floração, o IAF e o teor de N na parte aérea do arroz sofreram influência do manejo da adubação nitrogenada.

Em V7-V8, o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre o índice relativo de clorofila na folha ocorreu apenas para as duas últimas épocas de entrada de água. Quando esta ocorreu 14 dias após V4, maior IRC foi determinado para os tratamentos Perf.45-DP45 e Perf.60-DP30, que não diferiram, porém, da testemunha sem aplicação de N. Este tratamento foi equiparado, também, por Perf.30-DP60, que apresentou menor valor de IRC. Para a época 21 dias após V4, o tratamento Perf.60-DP30 promoveu maior IRC, sendo equiparado pelo manejo Perf.45-DP45, que não diferiu de Perf.30-DP60, com desempenho intermediário e superior ao da testemunha sem adubação nitrogenada (Perf.0-DP0) (Tabela 1). Os resultados obtidos indicam sensibilidade do IRC para avaliar o nível de N na planta, bem como que as leituras realizadas são, de forma geral, proporcionais à dose do nutriente fornecida à planta. Vale ressaltar, porém, que essa avaliação reflete o efeito da primeira cobertura com nitrogênio, no início do perfilhamento, uma vez que a segunda cobertura foi realizada na diferenciação da panícula.

Tabela 1. Índice relativo de clorofila na folha índice do arroz, em função da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada. Avaliação realizada no estádio V7-V8.

N(Perf.)/N(DP) ¹ kg ha ⁻¹	Época de início de irrigação, dias após V4			
	0	7	14	21
0 / 0	27,3a	26,9a	27,1ab	26,2c
30 / 60	27,4a	27,8a	25,6b	28,0b
45 / 45	27,7a	25,4a	27,7a	29,1ab
60 / 30	27,6a	26,9a	27,4a	30,2a

CV [época de início de irrigação] = 3,9% CV [Manejo N] = 4,4%

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

O efeito da época de início de irrigação sobre o índice relativo de clorofila na folha, medido na floração, foi descrito pela equação: $y = 0,119x + 28,559$; $R^2 = 0,72^{**}$; que demonstra aumento do IRC em resposta ao atraso na entrada de água após o estádio V4. Atribui-se tal comportamento ao maior desenvolvimento radicular e, por conseguinte, ao aumento na absorção de N, decorrente da manutenção da planta por período mais longo sob condições de solo drenado.

Em ambas as avaliações, o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre o índice de área foliar esteve relacionado à realização de cobertura com N. Assim, o tratamento sem aplicação do nutriente (Perf.0-DP0) teve desempenho inferior aos demais, independentemente do parcelamento da adubação entre o início do perfilhamento e a diferenciação da panícula (Tabela 2), demonstrando a importância do nitrogênio para o desenvolvimento da planta de arroz.

Com relação à variável teor de N na parte aérea do arroz no estádio V7-V8, maior teor do nutriente foi determinado para o manejo Perf.45-DP45, superando os demais que não diferiram entre si. Por sua vez, na floração, o tratamento Perf.60-DP30 foi o que apresentou maior teor de N, seguido pelos demais, com

desempenho semelhante entre si (Tabela 2). Tais resultados devem estar associados, por um lado, à ocorrência de efeito de diluição e, por outro, às variações no parcelamento da adubação nitrogenada. Deve-se esclarecer, ainda, que essa variável não é a mais sensível para avaliar o nível de N na planta, expressando não apenas a concentração do nutriente na planta, mas também a quantidade absorvida e as diluições envolvidas. Em razão desse fato, nas safras seguintes, a variável foi substituída pelo teor de N na folha índice, que avalia o estado nutricional da planta, no momento da amostragem.

Tabela 2. Índice de área foliar (IAF) e teor de nitrogênio na parte aérea (N) do arroz, em função do manejo da adubação nitrogenada. Avaliações realizadas em V7-V8 e na floração.

N(Perf.)/N(DP) ¹ kg ha ⁻¹	IAF		N	
	V7-V8	Floração	V7-V8	Floração
	cm ² cm ⁻²		g kg ⁻¹	
0 / 0	0,69b	1,45b	1,53b	0,73b
30 / 60	0,86a	2,03a	1,55b	0,82a
45 / 45	0,88a	2,08a	1,71a	0,77b
60 / 30	0,95a	2,00a	1,55b	0,76b
CV, %	21,4	22,0	10,4	7,6

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Quanto à avaliação do estado nutricional do arroz por ocasião da floração, a significância da interação entre os fatores época de entrada de água e manejo da adubação nitrogenada foi verificada para os teores foliares de potássio e de cálcio. Os teores de nitrogênio e de fósforo foram influenciados, apenas, pelo fator época de entrada de água e os de manganês, pelo fator manejo da adubação nitrogenada. Para os demais nutrientes, não houve efeito dos tratamentos, sendo determinados, como valores médios do experimento, os teores: 0,13 g kg⁻¹ de Mg; 17 mg kg⁻¹ de B; 3 mg kg⁻¹ de Cu; 122 mg kg⁻¹ de Fe e 9 mg kg⁻¹ de Zn.

Os teores foliares de N e de P aumentaram à medida que se atrasou o início da irrigação e, conseqüentemente, a cobertura com nitrogênio no perfilhamento. Os efeitos observados ajustaram-se, respectivamente, aos modelos lineares: $y = 1,993 + 0,0095x$, $R^2 = 0,80^{**}$ e $y = 0,204 + 0,0014x$, $R^2 = 0,99^{**}$.

Quanto aos teores de potássio, apenas no tratamento com omissão de adubação nitrogenada verificou-se efeito da época de entrada de água. Também neste caso, houve aumento no teor do nutriente na planta em resposta ao atraso na época de entrada de água, sendo os dados descritos pelo modelo: $y = 1,148 + 0,0064x$, $R^2 = 0,89^*$. O efeito do manejo da adubação nitrogenada manifestou-se, apenas, na primeira época de entrada de água, onde menor teor do nutriente foi observado no tratamento com omissão de adubação nitrogenada, relativamente aos demais, que não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de potássio e de cálcio nas folhas do arroz, por ocasião da floração, em função da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada.

N(Perf.)/N(DP) ¹ kg ha ⁻¹	Época de início de irrigação, dias após V4							
	0		7		14		21	
	K	Ca	K	Ca	K	Ca	K	Ca
	----- % -----							
0 / 0	1,14b	0,32b	1,20a	0,36b	1,26a	0,35a	1,26a	0,35a
30 / 60	1,26a	0,34ab	1,22a	0,42a	1,27a	0,33a	1,23a	0,35a
45 / 45	1,27a	0,38a	1,23a	0,34b	1,28a	0,34a	1,24a	0,32a
60 / 30	1,24a	0,35ab	1,25a	0,36b	1,22a	0,32a	1,25a	0,30a

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Para o cálcio, não houve efeito da época de entrada de água para nenhum dos manejos da adubação nitrogenada avaliados. Porém, verificou-se efeito do manejo do N nas duas primeiras épocas de entrada de água. Quando a entrada de água ocorreu em V4, maior teor de cálcio na folha foi determinado nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, sendo que os parcelamentos 30 kg ha⁻¹ de N Perf. + 60 kg ha⁻¹ de N DP

e 60 kg ha⁻¹ de N Perf. + 30 kg ha⁻¹ de N DP não diferiram da testemunha sem adubação nitrogenada, com menor teor do nutriente na planta. Já na segunda época de entrada de água, destacou-se o tratamento com o manejo 30 kg ha⁻¹ de N Perf. + 60 kg ha⁻¹ de N DP, que apresentou teor foliar de cálcio superior ao dos demais (Tabela 3).

Maior teor de manganês na folha do arroz foi verificado no tratamento com omissão de adubação nitrogenada (211 mg kg⁻¹). Este não diferiu, porém dos manejos 30 kg ha⁻¹ de N Perf. + 60 kg ha⁻¹ de N DP e 45 kg ha⁻¹ de N Perf. + 45 kg ha⁻¹ de N DP, com 198 e 179 mg kg⁻¹ de Mn, respectivamente, que também foram equiparados pelo tratamento 60 kg ha⁻¹ de N Perf. + 30 kg ha⁻¹ de N DP, com menor teor foliar do nutriente (159 mg kg⁻¹).

Os resultados obtidos demonstram, de forma geral, benefício do atraso no início da irrigação em até três semanas após V4 sobre o estado nutricional da cultura de arroz irrigado. Atribuiu-se este comportamento ao maior desenvolvimento radicular das plantas mantidas sob solo drenado por período de tempo mais longo, refletindo em maior capacidade de absorção de nutrientes. Adicionalmente, as condições climáticas vigentes na safra agrícola 2003/04 favoreceram a incidência de bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), cujos danos provocados ao sistema radicular das plantas foram, de forma geral, tanto maiores quanto mais precoce a submersão do solo (Tabela 4), com reflexos sobre a nutrição da cultura. Quanto a este aspecto, destaca-se o desempenho dos tratamentos em que a entrada de água ocorreu 21 dias após V4, cuja incidência de larvas do inseto foi significativamente menor que para as demais épocas, demonstrando que o retardo na entrada de água na lavoura constitui-se em importante método cultural de controle do inseto.

Tabela 4. Densidade populacional de *Oryzophagus oryzae* em amostra padrão de solo e de raízes, em função da época de início de irrigação.

Época de início da irrigação, dias após V4	Nº de larvas/amostra padrão de solo e raízes
0	29,9a ¹
7	33,4a
14	29,9a
21	8,3b

¹ Os dados foram registrados na mesma data, em todos os tratamentos, em 20 de dezembro de 2003.

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

Safra 2004/05

A avaliação do nível de nitrogênio na planta de arroz indicou significância da interação entre os fatores época de entrada de água e manejo da adubação nitrogenada para as variáveis índice relativo de clorofila na folha em V7-V8 e teor de N na folha, na diferenciação da panícula. Por sua vez, o teor de N na planta no estágio V7-V8 foi influenciado pela época de entrada de água e pelo manejo da adubação nitrogenada individualmente. Já o índice relativo de clorofila na diferenciação da panícula sofreu efeito exclusivamente do manejo do nitrogênio.

Na determinação feita em V7-V8, o efeito da época de entrada de água sobre o IRC na folha manifestou-se apenas para o manejo Perf.80/DP40, sendo os dados descritos pelo modelo linear: $y = 23,7 + 0,343x$; $R^2 = 0,86^*$, o qual indica benefício do atraso da entrada de água e, por conseguinte, da adubação nitrogenada sobre a absorção de N pelo arroz. Por sua vez o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre o IRC, em V7-V8, foi verificado apenas para a última época de entrada de água (21 dias após V4), onde maior IRC foi determinado para o manejo de nitrogênio com aplicação da maior dose do nutriente no início do perfilhamento (Perf.80/DP40), seguido pelos manejos Perf.60/DP60 e testemunha sem N (M0/0), com desempenho intermediário. Este último não diferiu, porém, do manejo Perf.40/DP80, que proporcionou menor IRC na folha do

arroz (Tabela 5). Os resultados obtidos confirmam sensibilidade da medida do índice relativo de clorofila na folha na avaliação do suprimento de N para a planta de arroz. Demonstram ainda que, de forma geral, a magnitude do IRC na folha é proporcional à dose de N aplicada à planta de arroz.

Com relação ao teor de N na folha de arroz, verifica-se que, em V7-V8, o efeito do manejo do N foi proporcional à dose do nutriente aplicada no início do perfilhamento (V4). Desta forma, quanto maior a dose de nitrogênio aplicada nesse estágio, maior o teor do nutriente na planta (Tabela 6). O efeito da época de entrada de água sobre essa variável ajustou-se ao modelo linear crescente: $y = 23,5 + 0,321x$; $R^2 = 0,97^{**}$, segundo o qual o atraso no início da irrigação promoveu aumento na concentração de N na planta. Atribui-se esse comportamento ao maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas de arroz, quando do atraso da entrada de água, favorecendo a absorção de nutrientes.

Tabela 5. Índice relativo de clorofila na folha índice do arroz, em função da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada. Avaliação realizada em V7-V8.

N(Perf.)/N(DP) ¹ kg ha ⁻¹	Época de início de irrigação, dias após V4			
	0	7	14	21
0 / 0	25,0a	24,7a	24,7a	26,4bc
40 / 80	23,5a	26,9a	25,9a	24,6c
60 / 60	24,6a	25,9a	26,9a	28,7b
80 / 40	24,8a	25,0a	27,4a	32,0a
CV [época de início de irrigação] = 7,3%		CV [Manejo N] = 7,8%		

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Tabela 6. Teor de nitrogênio, no estádio V7-V8, e índice relativo de clorofila na folha índice do arroz, na diferenciação da panícula, em função do manejo da adubação nitrogenada.

N(Perf.)/N(DP) ¹	N / V7-V8	IRC / DP
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	----
0 / 0	24,2d	27,5b
40 / 80	25,7c	28,0b
60 / 60	27,5b	28,3b
80 / 40	30,2a	29,8a
CV, %	6,3	3,6

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Na segunda época de avaliação (diferenciação da panícula), o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre o IRC na folha restringiu-se ao manejo em que se aplicou maior dose de N no início do perfilhamento (M80/40), o qual propiciou maior IRC relativamente aos demais manejos de N, com desempenho semelhante entre si (Tabela 6). Provavelmente este efeito decorra do período mais longo entre a aplicação do fertilizante nitrogenado e a avaliação da planta, equiparando o efeito dos tratamentos com aplicação de menores doses de N no perfilhamento.

Quanto ao teor de nitrogênio na folha do arroz na diferenciação da panícula, verifica-se que, na primeira época de entrada de água, sobressaiu-se o manejo Perf.80/DP40, cujo valor foi superior ao dos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Também na segunda época (7 dias após V4), maior teor de N na folha foi determinado para o manejo Perf.80/DP40, seguido por Perf.60/DP60, com desempenho intermediário e, finalmente, por Perf.40/DP80 e a testemunha sem N, que não diferiram entre si. O efeito verificado para as duas últimas épocas de entrada de água foi aproximadamente semelhante, sendo que os manejos com aplicação das duas maiores doses de N no perfilhamento (80 ou 60 kg ha⁻¹) propiciaram maior teor de N na folha, superando o desempenho dos tratamentos testemunha sem N e com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N. Uma exceção refere-

se à terceira época de entrada de água, em que o desempenho do manejo M40/80 não diferiu, também, daquele apresentado pelos demais manejos com aplicação de N em cobertura (Tabela 7). Os resultados obtidos refletem o suprimento de nitrogênio proporcionado pelos diferentes parcelamentos da adubação nitrogenada em cobertura.

Tabela 7. Teor de nitrogênio na folha índice do arroz, na diferenciação da panícula (DP), em função da época de início de irrigação e do manejo da adubação nitrogenada.

N(Perf.)/N(DP) ¹ kg ha ⁻¹	Época de início de irrigação, dias após V4			
	0	7	14	21
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			
0 / 0	20,2b	20,6c	21,4b	21,3b
40 / 80	21,4b	20,9c	22,5ab	23,2b
60 / 60	21,1b	22,3b	23,4a	26,2a
80 / 40	22,9a	24,7a	23,9a	27,5a

CV [época de início de irrigação] = 3,1%

CV [Manejo N] = 4,1%

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Safra 2005/06

Nesta safra, a avaliação dos indicadores do nível de nitrogênio na planta revelou significância dos fatores época de início da irrigação e do manejo da adubação nitrogenada, apenas, para a variável teor de N na folha do arroz, medida em V8-V9. Por sua vez, o índice relativo de clorofila na folha sofreu o efeito do manejo da adubação nitrogenada nas três épocas de amostragem (V8-V9, DP e floração); a influência da época de entrada de água manifestou-se, apenas, em V8-V9 e na DP. Quanto ao índice de área foliar, este foi influenciado pelo manejo do nitrogênio nas três épocas de amostragem e pela época de entrada de água, somente na amostragem realizada por ocasião da diferenciação da panícula.

Na primeira época de entrada de água, maior teor de N na folha do arroz em V7-V8 foi proporcionado pelos tratamentos com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ ou 80 kg ha⁻¹ de N no início do

perfilhamento, superando os teores determinados para os tratamentos testemunha sem N e com a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N. Já na segunda época (7 dias após V4), o manejo Perf.80/DP40 propiciou maior teor de N na folha, seguido pelos manejo Perf.60/DP60 e Perf.40/DP80, com desempenho intermediário, e pela testemunha. Nas duas últimas épocas, o efeito dos tratamentos com aplicação de N foi semelhante entre si e superior ao da testemunha com omissão do nutriente (Tabela 8). Tais resultados refletem claramente a magnitude da dose de N aplicada por ocasião da primeira cobertura com o nutriente.

Tabela 8. Teor de nitrogênio na folha índice do arroz, em função da época de início da irrigação e do manejo da adubação nitrogenada. Avaliação realizada uma semana após a última época de entrada de água (V8-V9).

N(Perf.)/N(DP) ¹	Época de entrada de água, dias após V4			
	0	7	14	21
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			
0 / 0	30,2b	31,4c	39,8b	37,8b
40 / 80	31,2b	38,2b	44,6a	45,5a
60 / 60	35,8a	39,4b	46,6a	45,0a
80 / 40	37,4a	44,4a	46,6a	48,1a

CV [Época de início de irrigação] = 4,6% CV [Manejo de N] = 5,6%

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Com relação ao efeito da época de início da irrigação, independentemente do manejo do N, determinou-se, em V8-V9, aumento do teor foliar do nutriente em resposta ao atraso da entrada de água. Os dados ajustaram-se aos modelos: Perf.0/DP0: $y = 30,11 + 0,44x$; $R^2 = 0,72^{**}$; Perf.40/DP80: $y = 32,46 + 0,71x$; $R^2 = 0,92^{**}$; Perf.60/DP60: $y = 36,44 + 0,40x$; $R^2 = 0,81^{**}$ e Perf.80/DP40: $y = 39,0 + 0,49x$; $R^2 = 0,88^{**}$.

Em todas as três épocas de avaliação (V8-V9, DP e floração), o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre o índice relativo de clorofila na folha esteve associado à realização ou não de adubação em cobertura. Desta forma, maior IRC foi determinado para os tratamentos com cobertura nitrogenada, superando a

testemunha sem a aplicação do nutriente. Uma única exceção ocorreu na avaliação realizada em V8-V9, em que o manejo Perf.40/DP80 propiciou desempenho equiparável ao da testemunha, embora não tenha diferido dos demais manejos com aplicação de N (Tabela 9). Tais resultados confirmam o comportamento verificado nas safras anteriores, segundo os quais a variável IRC na folha expressa o nível de nitrogênio na planta e, portanto, a quantidade do nutriente disponível no meio de cultivo.

Tabela 9. Índice relativo de clorofila na folha índice do arroz, em função do manejo da adubação nitrogenada. Avaliações realizadas uma semana após a última época de entrada de água (V8-V9), na diferenciação da panícula (DP) e na floração.

N(Perf.)/N(DP) ¹	V8-V9	DP	Floração
kg ha ⁻¹	---	---	---
0 / 0	33,8b	29,3b	32,5b
40 / 80	35,5ab	31,2a	35,4a
60 / 60	36,4a	31,5a	35,0a
80 / 40	36,8a	31,6a	34,4a
CV, %	4,2	3,5	1,9

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

Nas avaliações realizadas em V8-V9 e na DP, a influência da época de entrada de água sobre o IRC na folha ajustou-se, respectivamente, aos seguintes modelos lineares $y = 32,89 + 0,26x$; $R^2 = 0,81^{**}$ e $y = 29,03 + 0,18x$; $R^2 = 0,83^{**}$, os quais demonstram, à semelhança do verificado para o teor de N na folha, que o atraso na entrada de água promove aumento do IRC da folha, refletindo, pois, o maior potencial de absorção do nutriente pela planta, quando de sua permanência por um período mais longo em solo drenado.

De forma geral, também para a variável índice de área foliar, o efeito do manejo do nitrogênio acompanhou a dose do nutriente fornecida à cultura. Em V7-V8, os valores determinados para os tratamentos com aplicação de N em cobertura proporcionaram maior IAF, sendo que os manejos

Perf.40/DP80 e Perf.60/DP60 não diferiram da testemunhas sem N. Na diferenciação da panícula, os manejos Perf.80/DP40 e Perf.40/DP80 determinaram maior IAF, sendo que este último não diferiu dos tratamentos Perf.60/DP60 e Perf.0/DP0, com menor índice de área foliar. Também no florescimento, os manejos com cobertura nitrogenada promoveram maior IAF, embora Perf.60/DP60 não tenha diferido da testemunha (Tabela 10). Apenas para a avaliação realizada na diferenciação da panícula determinou-se efeito da época de entrada de água sobre o índice de área foliar. Este foi descrito pelo modelo: $y = 3,51 - 0,14x + 0,004x^2$; $R^2 = 0,94^*$, com valor máximo correspondente ao período de 17,5 dias a partir de V4.

Tabela 10. Índice de área foliar da planta de arroz, em função do manejo da adubação nitrogenada. Avaliações realizadas uma semana após a última época de entrada de água (V8-V9), na diferenciação da panícula (DP) e na floração.

N(Perf.)/N(DP) ¹	V8-V9	DP	Floração
kg ha ⁻¹	----- cm ² cm ⁻² -----		
M0/0	2,79b	2,20b	2,62b
M40/80	3,24ab	2,75ab	4,72a
M60/60	3,32ab	2,46b	3,70ab
M80/40	3,85a	3,48a	3,95a
CV, %	15,3	12,3	18,9

¹N(Perf.)/N(DP): parcelamento da aplicação de N entre o perfilhamento e a diferenciação da panícula.

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

As variáveis teor de N e índice relativo de clorofila na folha e índice de área foliar mostraram-se adequadas na avaliação do nível de nitrogênio na planta de arroz, refletindo a disponibilidade do nutriente no meio de cultivo e sua absorção pela planta de arroz. Assim, de forma geral, os valores determinados foram proporcionais à quantidade de N fornecida via adubação para a cultura. Outrossim, o atraso na entrada de água na lavoura em até três semanas após V4 favoreceu a absorção do nutriente pelo arroz, provavelmente estimulando o desenvolvimento de seu sistema radicular.

Conclusão

O atraso na entrada de água em até três semanas após o início do perfilhamento favorece o estado nutricional do arroz irrigado, independentemente do parcelamento da adubação nitrogenada entre o início do perfilhamento e a diferenciação da panícula.

Referências

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*, Philadelphia, v. 17, n. 1, p. 39-55, 1994.

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.

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.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo: SBRS-Núcleo Regional Sul, 1995. 224 p.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- 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.
- MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA-CPATB. Fundamentos para a cultura do arroz irrigado. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 129-179.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. POTAFOS: Piracicaba, 1997. 319 p.
- PATRICK, W. H.; MIKKELSEN, D. S.; WELLS, B. R. Plant nutrient behavior in flooded soil. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Fertilizer technology and use. 3.ed. Madison: SSSA, 1985. p. 197-228.
- PONNAMPERUMA, F. N. Physico-chemical properties of submerged soils in relation to fertility. Los Baños: International Rice Research Institute, 1977. 32 p. (Research Paper Series, 5)
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, Amsterdam, v. 24, p. 29-96, 1972.
- SANCHEZ S., L. F. Aspectos sobre suelos y fertilización del arroz de riego com enfasis en Colombia. Arroz, Bogotá, v. 29, n. 309, p. 22-31, 1980.
- SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S. Manejo da adubação mineral e da calagem para a cultura do arroz irrigado. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. (Ed.). Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 73-87. (Embrapa Clima Temperado, Sistema de Produção, 3).

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

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

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí: SOSBAI, 2003. 126 p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2005. 159 p.

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

STEINMETS, S.; INFELD, J. A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; MARIOT, C. H. P.; AMARAL, A. G.; FERREIRA, J. S. A. Zoneamento agroclimático do arroz irrigado por épocas de semeadura no estado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 81).

