

EXPEDITO ALVES CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E AVALIAÇÃO DO ESTADO
DE NITROGÊNIO DO ARROZ IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C268i
2011

Cardoso, Expedito Alves, 1973-

Influência da adubação nitrogenada e avaliação do estado
de nitrogênio do arroz irrigado / Expedito Alves Cardoso –
Viçosa, MG, 2011.

vii, 51f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Arroz - Cultivo. 2. Fertilizantes nitrogenados.
3. *Oriza sativa* L. 4. Plantas - Efeito do nitrogênio. 5. Arroz -
Irrigação. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.18

EXPEDITO ALVES CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E AVALIAÇÃO DO ESTADO
DE NITROGÊNIO DO ARROZ IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 30 de agosto de 2011.

Prof. Paulo Cezar Rezende Fontes
(Coorientador)

Prof. Tocio Sedyama
(Coorientador)

Prof. Lucas Koshy Naoe

Pesq. Daniel de Brito Fragoso

Prof. Moacil Alves de Souza
(Orientador)

*Aos meus pais, Edno Cardoso (in
memorian) e Maria Eunice, meus irmãos,
Evencio, Evandson, Evania e Evaldson.*

Ofereço e dedico.

***"Sempre faço o que não consigo fazer
para aprender o que não sei!"
(Pablo Picasso)***

AGRADECIMENTOS

À Deus!

Ao professor Moacil Alves de Souza pela orientação, pelos ensinamentos, e amizade durante a realização deste curso.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes pelos ensinamentos, pelas orientações, pelo exemplo e pela amizade durante realização deste curso.

Ao professor conselheiro Tocio Sedyama pela co-orientação buscando o aprimoramento das atividades.

À Universidade Federal de Viçosa em especial ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de realizar curso de Doutorado.

À Fundação Universidade do Tocantins pelo vínculo e pelo apoio concedido na participação desta pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária na pessoa do Analista Carlos Santiago da Embrapa Arroz e Feijão, pela disponibilização das cultivares de arroz.

A todos os professores, funcionários e colegas da UFV que de alguma maneira contribuíram no repasse de experiência para a execução deste trabalho e ampliação de conhecimentos.

Aos professores Daniel de Brito Fragoso (Embrapa Arroz e Feijão) e Lucas Koshy Naoe (UNITINS) pelas sugestões e participação na banca de defesa de tese e aos Valterley Soares Rocha (UFV) e João Carlos pela participação no exame de qualificação.

Ao meu pai Edno Cardoso, minha sobrinha Adriane Cardoso Lima e a Eng.^a Agrônoma Rita da Mata pela ajuda prestada na condução dos experimentos.

Aos colegas Andrea, Davi, Eliane, Fábio, Glauter, Júlio Cezar, Maria Inês, Nelson, Ronaldo, e a você que contribuiu com este trabalho e neste momento, acredita que foi esquecido(a) o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

EXPEDITO ALVES CARDOSO, filho de Edno Cardoso Lima e Maria Eunice Alves Cardoso, nasceu em Formoso do Araguaia, Tocantins, em 15 de novembro de 1973.

Em dezembro de 1992, formou-se em Técnico em Agropecuária pelo Colégio Cenecista Agropecuário de Natividade, Tocantins. Durante o curso técnico, foi estagiário no Laboratório de solos por um período de 27 meses. Nessa mesma instituição, atuou como Técnico em Laboratório até março de 1994.

Em janeiro de 1999, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Fundação Universidade do Tocantins, Gurupi, Tocantins. Durante o curso de graduação, foi Técnico em Agropecuária, atuando como assistente de pesquisa no campo de pesquisa do Campus Universitário de Gurupi até 1999.

Entre os anos de 2000 e 2003, cursou o Mestrado em Ciências Agrárias na área de concentração: Uso, manejo e conservação dos recursos naturais: água e solo, pela Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, Bahia. Neste mesmo período, foi assessor especial do Instituto Natureza do Tocantins, atuando nos municípios de Formoso do Araguaia, Gurupi, Peixe e Palmas.

Em novembro de 2004, concluiu o curso de licenciatura em Química pela Fundação Universidade do Tocantins, Palmas, Tocantins. Durante o ano de 2004, foi assessor especial da secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins e Professor no curso de Administração Rural na Faculdade São Marcos de Porto Nacional, Tocantins.

Atualmente, é Coordenador de Projetos de Pesquisa Agropecuária da Fundação Universidade do Tocantins e Inspetor de Recursos Naturais da Secretária de Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins.

Em março de 2007, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na área de nutrição mineral e adução de plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se defesa de tese em 30 de agosto de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	4

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE ARROZ

IRRIGADO.....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
CONCLUSÕES.....	17
LITERATURA CITADA.....	18

CAPÍTULO II

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E RENDIMENTO DE GRÃOS EM ARROZ

IRRIGADO.....	20
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÕES.....	33
LITERATURA CITADA.....	34

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO EM TEMPO REAL DO ESTADO NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO ARROZ POR MÉTODO

INDIRETO.....	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	48
LITERATURA CITADA.....	48

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
----------------------------------	-----------

RESUMO

CARDOSO, Expedito Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2011. **Influência da adubação e avaliação do estado de nitrogênio do arroz irrigado.** Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: Paulo Cezar Rezende Fontes e Tocio Sedyama.

Na safra de 2008/09 foram conduzidos experimentos na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, com objetivo de investigar quatro cultivares tropicais de arroz irrigado, submetidas a seis doses de nitrogênio, quanto a: eficiência de uso de nitrogênio; absorção de nutrientes; produtividade de grãos e rendimento de grãos beneficiados. Complementarmente o estado de nitrogênio das plantas foi avaliado pelos métodos teor de N na folha, SPAD, fita métrica e tabela de cor, em três épocas (25, 40 e 55 dias) após o transplântio. O delineamento foi de blocos ao acaso, com cinco repetições, no esquema de parcelas subdivididas. As doses de N: 0, 50, 100, 150, 200 e 400 kg.ha⁻¹ constituíram a parcela principal, e as cultivares BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1 as subparcelas. Todos os componentes da produtividade apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio. A massa de 1000 grãos apresentou diferença significativa entre cultivares, sendo a BRS Tropical a que apresentou média superior as demais em todos os tratamentos. Quanto à produtividade de grãos, não foram verificadas diferenças significativas entre as cultivares, todavia obteve-se resposta quadrática a aplicação de nitrogênio. O número de panículas/m² foi o componente que apresentou maior relação com produtividade de grãos que foi máxima econômica com 254 kg.ha⁻¹. A adubação nitrogenada influenciou ainda a absorção dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S. Do ponto de vista de qualidade, a adubação nitrogenada afetou positivamente o rendimento de grãos inteiros, sendo esta característica dependente da cultivar. Não houve efeito significativo da interação entre doses de N e cultivares, bem como de cultivares sobre os valores das leituras no SPAD, na fita métrica, na tabela de cor e no teor de N foliar. Para as três épocas, os métodos SPAD, fita métrica e tabela de cor apresentaram sensibilidade para avaliação do estado de N da planta. Exceto o SPAD, estes métodos constituem-se em alternativos, com a vantagem de apresentarem menor custo.

ABSTRACT

CARDOSO, Expedito Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2011. **Influence of fertilization and assessment of nitrogen on irrigated rice fields.** Advisor: Moacil Alves de Souza. Co-Advisors: Paulo Cezar Rezende Fontes and Tocio Sedyama.

Experiments were carried out at the Experimental Station of the Federal University of Viçosa, Viçosa City, Minas Gerais State, Brazil, in 2008/09 crop, in order to investigate four tropical irrigated rice cultivars, subjected to six nitrogen doses for nitrogen use efficiency, nutrient uptake, grains productivity, and benefited grains productivity. In addition, nitrogen status of plants was evaluated by the leaf N content method, SPAD, measuring tape, and color table in three periods (25, 40, and 55 days) after transplanting. The design was randomized blocks with five replications in a split-plot. Nitrogen doses of 0, 50, 100, 150, 200, and 400 kg.ha⁻¹ were the main plot and the cultivars BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1 were subplots. All yield components showed responses to nitrogen. The mass of 1.000 grains showed significant difference among cultivars, and the BRS Tropical presented the higher average over the others in all treatments. Significant differences among cultivars for grains yield were not verified, however we obtained a quadratic response to nitrogen. The number of panicles/m² was the component that presented more closely related to grains yield that was the highest economic with 254 kg.ha⁻¹. Nitrogen fertilization also influenced the absorption of macronutrients N, P, K, Ca, Mg, and S. From the standpoint of quality, nitrogen fertilization positively affected the yield of whole grains, feature dependent on cultivar. There was no significant interaction among N doses and cultivars and cultivars from each other, as well as cultivars on the values of the SPAD readings, measuring tape, color table, and leaf N content. For three seasons, SPAD methods, measuring tape, and color table presented sensitivity for assessing N from the plant. Except SPAD, these methods are alternatives presenting the advantage of a lower cost.

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é o principal componente da dieta das populações asiáticas e latina americanas. Nos últimos anos, a produção de arroz não tem sido suficiente para compensar o crescimento do consumo, com o agravante da tendência atual de redução das áreas semeadas em virtude da redução da disponibilidade de água para irrigação e de novas áreas para o cultivo, principalmente nos países asiáticos em que o processo de urbanização tem sido alto. Além disso, o estoque mundial de arroz reduziu, continuamente, mais de 40% na última década, tendo ainda uma situação em que os grandes produtores são também grandes consumidores, tornando o mercado internacional desse cereal bastante reduzido e levando muitos países há aumentar seus estoques a fim de garantir a segurança alimentar (USDA, 2011).

O arroz é um alimento de grande valor nutricional, altamente energético, sendo ainda fonte de proteínas, sais minerais (fosfato, ferro e cálcio) e vitaminas do complexo B. A proteína do arroz distribui-se por todo o grão, permeando o amido e dando-lhe alto valor nutricional e de fácil digestão. No conjunto de todos os países em desenvolvimento, o arroz representa mais de 50% da dieta básica da população, sendo diariamente fonte de 27% de consumo de energia e 20% de proteínas (FAO, 2003).

No Brasil, o arroz desempenha, juntamente com o feijão, importante papel na alimentação da população, sendo a base da dieta alimentar de todas as classes sociais e faixas etárias, fazendo parte da cultura e tradição do povo brasileiro. O consumo *per capita* de arroz processado no país está em torno de 47 kg (Costa et al., 2008).

O Brasil é o maior produtor de arroz na América Latina e o décimo maior produtor mundial. A produção brasileira de arroz na safra 2009/2010 foi em torno de 11 milhões de toneladas, sendo que 86% está concentrada nos estados do Rio Grande do Sul (61,5%), Santa Catarina (9,4%), Mato Grosso (6,6%), Maranhão (4,6%) e Tocantins (4%); os demais estados contribuem com 14% (IBGE, 2010).

A produção de alimentos deverá ser elevada em, pelo menos, 40% nas próximas duas décadas para evitar o aumento da fome no mundo (The Government Office for Science, 2011). Para tanto, a solução deve ser o esforço conjunto em várias frentes, combinando o aumento da produção sustentável de alimentos e energia. Neste contexto, é essencial aumentar a

produção e produtividade do arroz, o que pode ser obtido por meio da combinação de fatores tecnológicos, ambientais e socioeconômicos, seguramente a utilização racional de fertilizantes químicos é um fator que pode contribuir para elevação da produtividade nacional de arroz.

A adubação nitrogenada e a disponibilidade de água são primordiais na produção da planta de arroz. A deficiência de nitrogênio limita a produção de biomassa e contribui para que as plantas não alcancem a máxima produção. Normalmente, em extensas áreas a fertilização, normalmente é praticada, levando-se em consideração a média de dosagens para aplicação de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, não considerando as necessidades específicas da fertilidade, textura do solo, assim como das cultivares utilizadas.

Nos últimos 15 anos, o consumo de fertilizantes nitrogenados no país aumentou aproximadamente 235% (IPNI, 2011), sendo que 50% de todo o volume são aplicados nas culturas de arroz, trigo e milho. Para a cultura do arroz, a eficiência do uso do nitrogênio é normalmente inferior a 40% (Cassman, et al., 1993; Fageria, 1998; Raun e Johnson, 1999; Cassman, et al., 2002; Fageria e Baligar, 2005; Fageria et al., 2007). Isto significa que a maioria dos fertilizantes nitrogenados aplicados não são absorvidos pelas plantas, sendo lixiviados da zona radicular ou perdida para a atmosfera pela desnitrificação, antes que ele seja incorporados a biomassa.

Dado ao aumento dos preços dos fertilizantes industrializados, o uso excessivo, aumenta o custo de produção das lavouras, além de causar impactos ambientais em grande escala. É essencial que se aumente a eficiência de uso do N pelas culturas, haja vista que o Brasil importa mais da metade dos fertilizantes nitrogenados consumido na agricultura. Deste modo, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental para aumentar a produtividade, reduzir custo de produção e proporcionar menor risco de poluição ambiental.

A fertilização nitrogenada dentro de um amplo sistema de produção da cultura, aliado a sustentabilidade ambiental e econômica, em consonância com os princípios da agricultura de precisão (Fontes e Araújo, 2007). Isto pressupõe sintonia fina da recomendação de adubação e a tentativa de ajustar

procedimentos para cada local por meio de manejo integrado da adubação, respondendo as perguntas com que, quando, como e quanto adubar.

Estratégias de diagnósticos por meio de métodos indiretos tende a ser uma alternativa para correlacionar com o estado nutricional do nitrogênio em plantas (Fontes, 2001). Neste propósito, existem trabalhos que indicaram o momento de maior demanda pelas plantas por métodos indiretos (Balasubramanian, 2000; Stevens, 2008; Barbosa Filho, et al, 2008; Silva et al., 2009). O processo de determinação convencional para determinar a quantidade de clorofila na folha requer destruição de amostras de tecido é mais trabalhoso nos procedimentos de extração e quantificação.

Alternativas de manejo que promovam maior sincronismo entre a aplicação do nitrogênio e a época de maior demanda pelas plantas do arroz tende a aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, pois as aplicações convencionais baseadas em épocas pré-determinadas são de baixa eficiência (Barbosa Filho, et al, 2008). A eficiência do uso nitrogênio é também característica intrínseca a cada cultivar, o que torna necessário ajuste para cada cultivar.

Neste sentido, objetivou-se investigar quatro cultivares tropicais de arroz irrigado submetido a seis doses de nitrogênio quanto a eficiências de uso de nitrogênio; absorção de macronutrientes; produtividade de grãos, rendimento de grãos, assim como o uso de ferramentas para avaliação do estado de nitrogênio na planta por meio de métodos indiretos.

LITERATURA CITADA

BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; THIYAGARAJAN, T.M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S. e HAI, L.H. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, 2000, 8p.(International Rice Research Notes, 25.1)

BARBOSA FILHO, M.P; COBUCCI, T; FAGERIA, N.K. MENDES, P.N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008.

CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. Agroecosystems, Nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. **Ambio**, v.31, n.2, p.132-40, 2002.

CASSMAN, K.G.; KROPFF, M. J.; GAUNT, J.; PENG, S. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: What are the key constraints? **Plant and Soil**, v.155/156, n.1, p.359-362, 1993.

COSTA, A.C.P.A.; MACEDO, F.S.; HANCZAR, G. **Agronegócio Brasileiro: características, desempenho, produtos e mercados**. São Paulo: FIESP, 2008. 118p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1029-1034, 2007.

FAO. **Ano internacional do arroz**: Documento base. FAO, 2003. 26p.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 122p.

FONTES, P.C.R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 148p.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE v.23, n.12. 2010. 80p.

IPNI. **Evolução do consumo aparente de nitrogênio no Brasil-1950 a 2010**. Disponível em:

[http://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/\\$webindex/B6879383B13DFFEF83256B12005CACDD](http://www.ipni.net/ppiweb/brazil.nsf/$webindex/B6879383B13DFFEF83256B12005CACDD) Acesso em: 10 de julho de 2011.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. **Agronomy Journal**, v. 91, p.357–363, 1999.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; BRAUN H; COELHO, F.S.; BUSATO, C.; MARTINS, A.D. Produção de batatas em função de doses de nitrogênio usando tabela de cor 'UFV-80' em canteiros. 2 Época das águas. **Horticultura Brasileira**, v 27, n.2, p.S2440-S2443. 2009.

STEVENS, G.; WRATHER, A.; RHINE, M.; VORIES, E.; DUNN, D. Predicting Rice Yield Response to Midseason Nitrogen with Plant Area Measurements. **Agronomy Journal**, v.100, n.2, p.387-392, 2008..

The Government Office for Science. Foresight. **The Future of Food and Farming** (Relatório Final) Londres, 208p. Disponível em: <http://www.bis.gov.uk/assets/bispartners/foresight/docs/food-and-farming/11-546-future-of-food-and-farming-report.pdf> Acesso em: 10 de fevereiro de 2011.

USDA. A Report from the Economic Research Service: **2009/10 Rice Yearbook/RCS**. 2011. 24p.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a resposta da produtividade de quatro cultivares tropicais de arroz irrigado, doses de nitrogênio, bem como, a eficiência no uso deste nutriente, foi desenvolvido um experimento na Universidade Federal de Viçosa. O delineamento foi de blocos ao acaso, com cinco repetições no esquema de parcelas subdivididas. As doses de N (0, 50 100, 150, 200 e 400 kg de N.ha⁻¹) constituíram a parcela principal, e as cultivares as subparcelas (BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1). As cultivares em estudo apresentaram diferenças significativas para a produtividade de grãos com reposta quadrática a aplicação de nitrogênio. Todos os componentes de produtividades todos apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio, sendo que a massa de 1000 grãos apresentou diferenças significativas entre cultivares e a BRS tropical apresentou média superior para todos os tratamentos. O número de panículas por metro quadrado foi a componente que apresentou maior relação com produtividade de grãos. As cultivares não apresentaram diferenças significativas quanto ao uso de nitrogênio.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., orizicultura, utilização de N.

USE OF NITROGEN ON IRRIGATED RICE CULTIVARS

ABSTRACT

For evaluating the yield response of four tropical irrigated rice cultivars, nitrogen rates, as well as efficiency in the use of this nutrient, an experiment was carried out at the Federal University of Viçosa, Viçosa City, Minas Gerais State, Brazil. The experiment was in randomized blocks design with five replications in a split-plot. Nitrogen doses of 0, 50 100, 150, 200, and 400 kg N.ha⁻¹ formed the main plot, and BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical and Metica1 cultivars formed the subplots. Cultivars under study showed

significant differences for grains yield with a quadratic response to nitrogen application. All components of productivity showed responses to nitrogen application, and the mass of 1,000 grains showed significant differences among cultivars, and BRS tropical had an average higher for all treatments. The number of panicles per square meter was the component that more closely related to grains yield. Cultivars showed no significant differences in the use of nitrogen.

Keywords: *Oryza sativa* L., rice culture, use of N.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um alimento básico da população mundial, principalmente nos países em desenvolvimento. É cultivado em mais de 150 milhões de hectares, representando mais de 50% da dieta básica da população, sendo diariamente responsável por 27% de consumo de energia e 20% de proteínas (FAO, 2003). O tema segurança alimentar e mudanças climáticas globais, tem tido grande importância em nível mundial e, na orizicultura, torna-se um grande desafio para os próximos anos.

O Brasil é o maior produtor de arroz na América Latina e o décimo maior produtor mundial, sendo que a maior parte está localizada na região Sul, em clima subtropical (Rio Grande do Sul e Santa Catarina), responsável por 74% da produção nacional. Na região de clima tropical, o Estado do Tocantins é o terceiro maior produtor nacional de arroz irrigado e sua produção total de arroz, representa 42% da região norte do Brasil (CONAB, 2011), sendo este, atualmente, o estado mais promissor para a expansão orizícola irrigada do país, devido à grande oferta de extensas áreas de várzea, com características dos solos e condições de hidromorfismo propícias ao cultivo irrigado por inundação (Coelho et al, 2006).

Na cultura do arroz irrigado, o nitrogênio (N) é fundamental para o bom crescimento da planta, sendo o segundo nutriente mais absorvido (Fageria et al., 2007). Sua essencialidade está relacionada a constituição das proteínas, aminoácidos, pigmentos, ácidos nucleicos, hormônios, coenzimas, vitaminas e alcaloides (Floss, 2008). A eficiência de uso de N pela cultura do arroz é baixa, situando-se em torno de 40% (Yoshida, 1981; Cassman, et al., 2002; Fageria et al., 2007). Entretanto, existe a possibilidade de diminuir esta perda e aumentar

a eficiência com o manejo apropriado do nitrogênio, utilizando práticas adequadas, como doses, época de aplicação e controle adequado de água de irrigação (Fageria et al., 2003).

A ineficiência do uso do N pelas culturas tem contribuído para aumentar o teor de N reativo nos oceanos e na atmosfera sob a forma de N_2O , contribuindo para o aumento dos gases formadores do efeito estufa (Galloway et al., 2008).

Este trabalho teve como objetivo determinar o efeito de doses de N sobre os componentes da produtividade (altura de planta, massa de 1000 grãos, acúmulo de matéria seca na parte aérea) e eficiência do uso de N em cultivares de arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Fundão, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola 2008/09, no município de Viçosa-MG, situada nas coordenadas geográficas: 20°45'S e 42°50'W(Gr.) e altitude aproximada de 650m. Na Figura 1, são apresentados os dados da temperatura (máxima e mínima), precipitação de chuva e umidade relativa do período referente ao ciclo da cultura.

O experimento foi conduzido em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa com as seguintes características química e granulométrica: pH= 4,9; MO= 3,2 dag kg^{-1} ; P= 6,3 mg dm^{-3} ; K= 48 mg dm^{-3} ; Ca= 1,8 cmol_c dm^{-3} ; Mg= 0,5 cmol_c dm^{-3} ; H + Al= 5,1 cmol_c dm^{-3} ; Zn= 7,3 mg dm^{-3} ; Cu= 3,6 mg dm^{-3} ; Fe= 125 mg dm^{-3} e Mn= 45 mg dm^{-3} . A análise granulométrica apresentou 75 dag kg^{-1} de argila, 16 dag kg^{-1} de silte e 9 dag kg^{-1} de areia. As análises química e granulométrica foram realizadas de acordo com o manual e métodos de análise do solo da Embrapa (1997), no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

O experimento foi instalado no delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições com esquema de parcelas subdivididas. As doses de N constituíram a parcela principal e os cultivares as subparcelas. As parcelas foram separadas por meio de taipas recobertas com lonas plásticas de 200 micras, de modo a impedir a mistura da água de irrigação. As subparcelas

foram compostas por seis fileiras de 5 m de comprimento. Os tratamentos consistiram de quatro cultivares de arroz irrigado, recomendadas para clima tropical: BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1 e seis doses de N: 0, 50, 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹. As doses de N, tendo como fonte a uréia, foram aplicadas 1/3 no momento do transplante, 1/3 aos 27 dias e 1/3 aos 47 dias após o transplante (DAT).

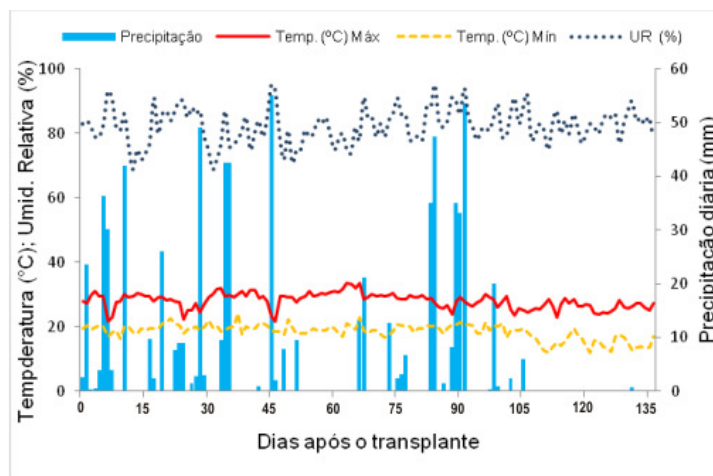


Figura 1. Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, a partir da data de plantio até a colheita, Viçosa, MG, Safra 2008/2009.

Fonte: Estação meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

O preparo do solo constitui-se de uma aração, seguida de destorroamento com uso de enxada rotativa tracionada por trator. A adubação de base foi realizada antes do transplante de acordo com interpretação da análise de solo, conforme as recomendações de Paula et al. (1999). As doses utilizados foram 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo como fontes superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. Os canteiros foram construídos, medindo 10 cm de altura 1,0 m de largura e 10 m de comprimento. No dia 03 de novembro foi realizado a semeadura com 1000 sementes pré-germinada por m². O transplante foi realizado no dia 30 de dezembro de 2008 quando as mudas atingiram 30 dias de idade, correspondente ao estágio de seis folhas desenvolvidas. O espaçamento foi 0,2 x 0,2m entre covas e três plantas por cova. Foi mantida uma lâmina d'água de aproximadamente cinco centímetros.

Para determinar a produtividade de cada parcela foi determinada a massa de grãos obtida da parcela útil, constituída de quatro fileiras centrais de

4,0 m, excluindo-se 0,5 m em cada extremidade da parcela. A colheita foi realizada no dia 08 de abril de 2009 quando as plantas apresentaram umidade dos grãos de 20%. Após a secagem, a massa dos grãos foi corrigida para 13% de umidade e convertida em kg ha⁻¹.

A determinação da altura das plantas foi realizada na fase de maturação, através da medida do comprimento do colmo principal da planta, desde a superfície do solo até a extremidade da panícula. A massa de 1000 grãos foi estabelecida pela pesagem de 1000 grãos secos e limpos.

O acúmulo de matéria seca da parte aérea da planta foi obtida de uma amostra de 1,0 m de linha por parcela, sendo as plantas ceifadas ao nível do solo. Após a ceifa, o material foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar forçada a 70 °C até atingir peso constante. Destes foram obtidos ainda o número de panículas e de perfilhos totais e inférteis.

Para a avaliação da eficiência do uso de N, foi determinado o teor de N pelo método *Kjeldahl* na parte aérea e nos grãos secos. Para o cálculo da eficiência do uso de N foram empregadas as seguintes fórmulas (FAGERIA et al., 2007).

$EAN = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (QNa)$, em que *EAN* é a eficiência agrônômica do uso do nitrogênio, em kg kg⁻¹; *PG_{cf}* é a produção de grãos (kg ha⁻¹) com fertilizante nitrogenado; *PG_{sf}* é a produção de grãos (kg ha⁻¹) sem fertilizante nitrogenado e; *QNa* é a quantidade de N aplicado em kg.

$EFN = (PB_{cf} - PB_{sf}) / (AN_{cf} - AN_{sf})$, em que: *EFN* é a eficiência fisiológica de uso do N, em kg kg⁻¹; *PB_{cf}* é a produção biológica (palha + grãos), em kg ha⁻¹, com fertilizante nitrogenado; *PB_{sf}* é a produção biológica (palha + grãos) em kg ha⁻¹, sem fertilizante nitrogenado; *AN_{cf}* é a acumulação de N na parte aérea e grãos (kg), com fertilizante nitrogenado e; *AN_{sf}* é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos (kg), sem fertilizante nitrogenado.

$EAF = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (AN_{cf} - AN_{sf})$, em que *EAF* é a eficiência agrofisiológica, em kg kg⁻¹; *PG_{cf}* é a produção de grãos (kg ha⁻¹), com fertilizante nitrogenado; *PG_{sf}* é a produção de grãos (kg ha⁻¹), sem fertilizante nitrogenado; *AN_{cf}* é a acumulação de N na parte aérea e grãos (kg), com fertilizante nitrogenado e; *AN_{sf}* é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos (kg), sem fertilizante nitrogenado.

A Eficiência de recuperação (ER)= $(AN_{cf} - AN_{sf})/QNa$, em que AN_{cf} é a acumulação de N na parte aérea e grãos (kg), com fertilizante nitrogenado; AN_{sf} é a acumulação de N na parte aérea e grãos (kg), sem fertilizante nitrogenado e; QNa é a quantidade de N aplicado em kg.

Para a análise dos dados obtidos adotou-se o seguinte modelo estatístico:

$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + (tb)_{ij} + t'_k + (tt'')_{ik} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} é o efeito da i -ésima dose de N, na j -ésima repetição e na k -ésima cultivar, μ é a média geral; t_i é o efeito i -ésima dose de N, na parcela; b_j é o efeito da repetição j ; $(tb)_{ij}$ é o erro em nível de parcelas; t'_k é o efeito do tratamento Cultivar, em nível de subparcelas; $(tt'')_{ik}$ é o efeito da interação de dose N x Cultivar; e e_{ijk} é o erro experimental em nível de subparcelas. Para interpretação dos dados, empregou-se a análise de variância utilizando o teste F ($p \leq 0,05$), para verificar existência dos efeitos dos tratamentos, teste de Tukey 5% para comparação entre médias e regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O incremento das doses de nitrogênio promoveu aumento na altura das plantas, entretanto, não houve efeito significativo para as cultivares. Para o tratamento sem N (dose zero) a altura das plantas, de um modo geral, foi menor, em relação às médias obtidas com as demais doses, independente das cultivares. Não foi observado acamamento, mesmo em doses de N consideradas altas. (Figura 2).

Os dados ajustaram-se à equação linear quadrática. A altura máxima foi observada com dose de 254 kg ha^{-1} . Segundo Mauad et al. (2003) verificaram a redução na altura de planta com o aumento das doses de N. Deve-se ao fato de que o efeito do N na altura da planta depende não só da dose de N, mas sim de outros fatores como luminosidade, temperatura e umidade.

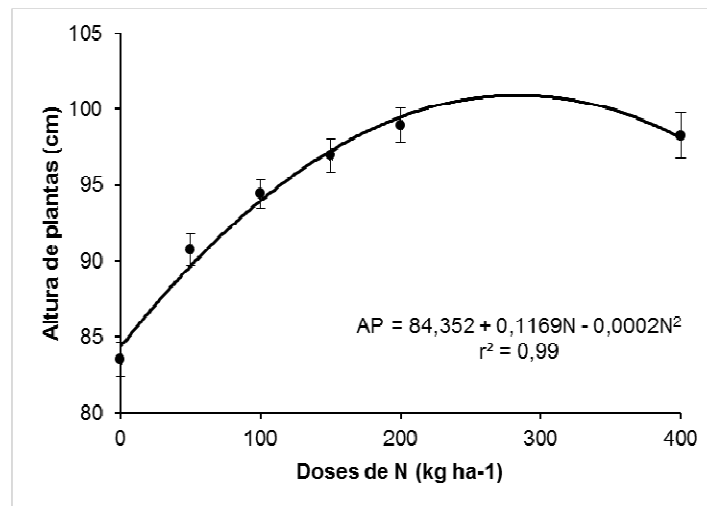


Figura 2. Altura média de plantas de quatro cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

Em pesquisa realizada por Buzetti et al. (2006), também foi observado efeito significativo para doses de N, porém os dados ajustaram-se a equação linear crescente. Resultados semelhantes foram relatados por Freitas et al. (2001), Fabre et al. (2011), Kischel et al. (2011), que verificaram aumento na altura de plantas das cultivares de arroz irrigado, com a aplicação de doses crescentes de N em cobertura, sem propiciar, no entanto, acamamento das plantas. Provavelmente, em sistema de cultivo de arroz por mudas, devido ao estresse provocado nas plantas durante o transplântio, pode ter contribuído para redução do risco de acamamento mesmo quando a cultura é submetida a altas doses de N. Há de se considerar no método por transplântio que a população de plantas inicial é menor quando comparado com outros métodos de semeadura do arroz. Esta condição do ambiente oferece maior disponibilidade de luz no dossel e, conseqüentemente, menor coeficiente de extinção luminosa, menor competição por luz entre plantas, e menor estatura, quando comparadas ao sistema de semeadura. Segundo Sachulze & Caldwell (1995) a distribuição uniforme de plantas, reduz o coeficiente de extinção luminosa no dossel e resulta em maior produtividade das culturas.

Quanto à massa de 1000 grãos (Figura 3), houve diferença significativa entre os efeitos médios de cultivares, de doses de N e de interação doses x cultivares. Os efeitos de doses dentro de cultivares ajustaram-se a uma equação linear quadrática. Ocorreu aumento da massa de grãos para todas as cultivares com doses de até 150 kg ha⁻¹ de N a partir do qual houve decréscimo

da massa de grãos, podendo ser decorrente de uma melhor granação e, portanto, efeito de competição entre os grãos (Hernandes et al., 2010).

Resultados obtidos por Kischel et al. (2011), que trabalharam com duas doses de N (20 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1}), foi observada maior massa de 1000 grãos na menor dose de N. Em outra situação, Freitas et al. (2001) observaram variabilidades significativas entre cultivares e doses de N. Por outro lado, Andrade et al. (1992), não obtiveram ganhos para massa de 1000 grãos entre os genótipos, mesmo em altas doses de N.

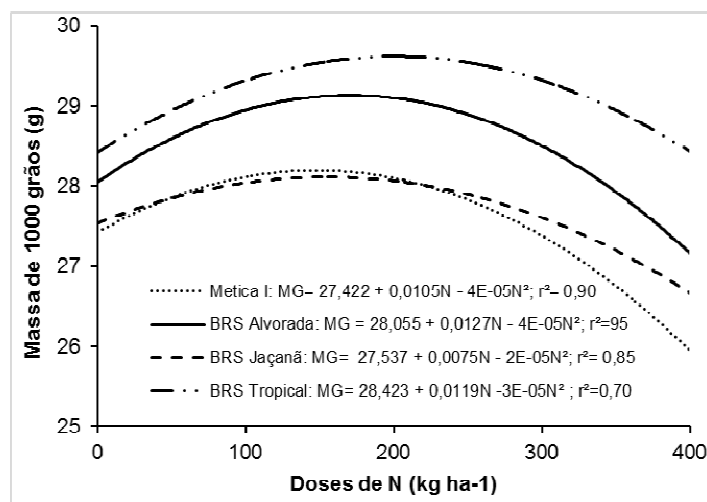


Figura 3. Massa de 1000 grãos de cinco cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

No que se refere ao número de panículas, houve efeito significativo de doses de N e os dados ajustaram-se ao modelo linear simples (Figura 4).

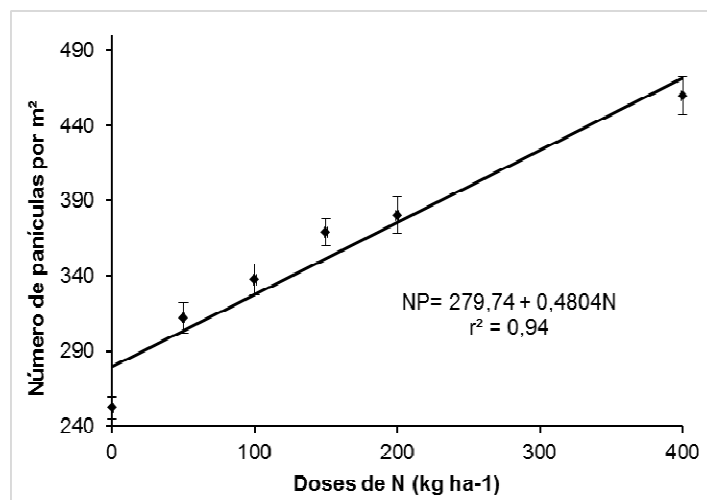


Figura 4. Número de panículas por m^2 de quatro cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

De acordo com Fageria e Baligar (2001), o número de panículas é uma característica da cultivar, mas pode ser aumentado com aplicação de dose de N. Segundo, Matsushima (1970), o número de panículas é influenciado por fatores genéticos e por condições externas vigentes no estágio de perfilhamento ativo.

Quanto ao perfilhamento, a disponibilidade de N influenciou o número de perfilhos por unidade de área, positivamente e linearmente ao aumento das doses de nitrogênio ($r^2=0,97$). Entretanto, ocorreu aumento do número de perfilhos inférteis (Figura 5). Em plantas deficientes em nitrogênio, os compostos nitrogenados das folhas inferiores são hidrolisados, sendo o N remobilizado para folhas do perfilho principal resultando em menor atividade fotossintética, com reflexos negativos no fornecimento de carboidratos para raízes e, conseqüentemente, menor viabilidade dos perfilhos (Nedel et al., 1998, citado por Fornasieri Filho e Fornasieri, 2006). O contrário foi observado nas parcelas submetidas às altas doses de N, em que, na época da colheita as plantas apresentavam com grande volume de matéria verde e a maioria dos perfilhos não apresentavam panículas. Segundo Larcher (2006), em concentração excessiva nas plantas, o nitrogênio provoca crescimento acentuado da parte aérea, desenvolvimento inadequado dos tecidos, fraco desenvolvimento radicular, adiantamento do desenvolvimento reprodutivo, além de aumentar a susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos nocivos.

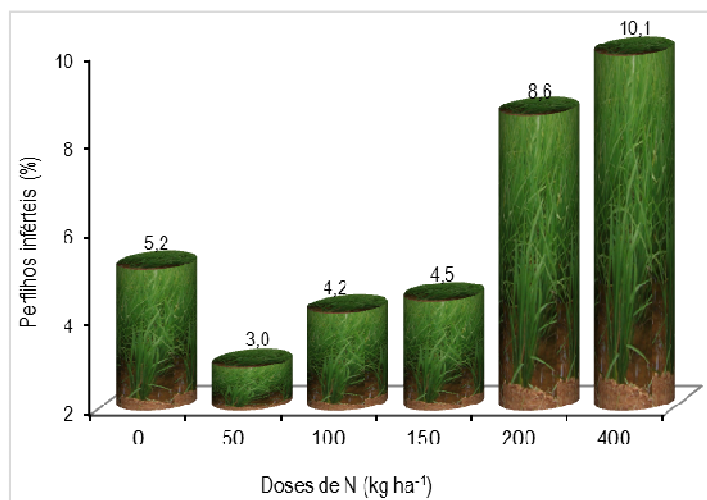


Figura 5. Perfilhos inférteis em quatro cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

A relação entre o número de panícula e produtividade foi quadrática (Figura 6) e significativa, ressaltando que a produtividade pode ser aumentada, com o aumento do número de panículas por unidade de área fato este, relatado por Fageria e Baligar (2005).

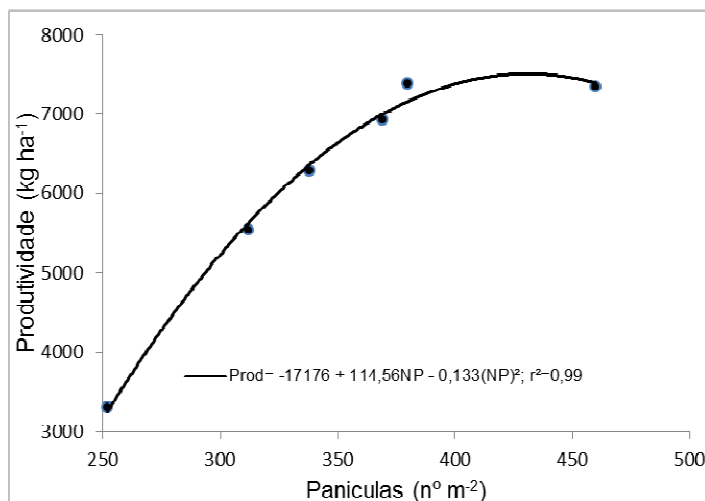


Figura 6. Relação entre numero de panículas e produtividade na média de quatro cultivares de arroz irrigado em função de doses de nitrogênio (N).

Dentre os componentes de produtividade avaliados neste estudo o número de panículas foi o que mais influenciou a produção de grãos (Figura 7). Apesar dos resultados não apresentarem diferenças significativas entre as cultivares, Fageria et al. (2007) afirmam que o número de panículas é características do genótipo, entretanto os mesmos relatam que a aplicação de dose adequada de nitrogênio pode aumentar o número de panículas.

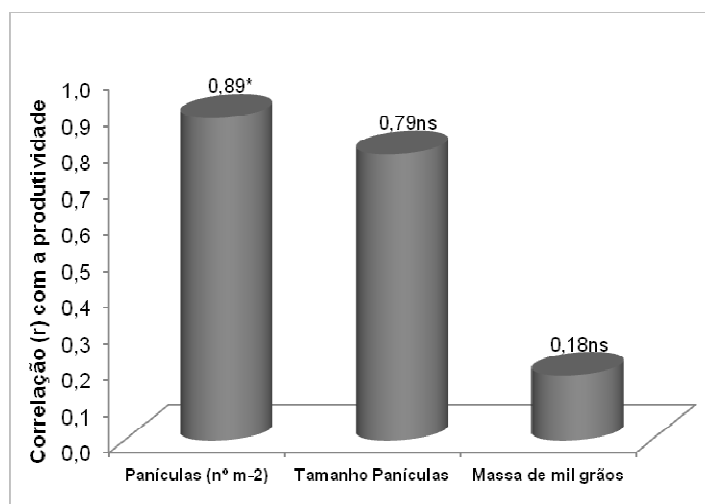


Figura 7. Correlação entre a produtividade de grãos e seus componentes na média de quatro cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

As cultivares não diferiram entre si e não houve interação entre doses e cultivares quanto à eficiência de uso de nitrogênio. Nota-se na Tabela 1 que todas as eficiências diminuíram com o incremento nas doses de nitrogênio. Em média, pode-se observar que a eficiência agronômica foi de aproximadamente 27 kg de grãos e 122 kg de matéria seca da parte aérea (grãos + palha) para cada 1 kg de N aplicado. A eficiência agrofisiológica apresentou média de 63 kg de grãos para cada 1 kg de N absorvido pela cultura.

Tabela 1. Eficiência do uso de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado, sob cinco dosagens de nitrogênio.

Eficiência	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					Média	r ²
	50	100	150	200	400		
	-----Eficiência de uso do nitrogênio-----						
Agronômica (kg kg ⁻¹)	47,27	30,99	24,98	21,04	10,42	26,94	0,89**(L)
Fisiológica (kg kg ⁻¹)	210,73	126,57	122,73	93,35	56,07	121,89	0,76**(L)
Agrofisiológica (kg kg ⁻¹)	113,51	67,88	62,56	45,57	26,56	63,22	0,76**(L)
Recuperação	0,54	0,48	0,41	0,48	0,38	0,46	-

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F.

L: Efeitos de nitrogênio regressão linear simples.

A eficiência de recuperação varia de acordo com as propriedades do solo, época de aplicação e outras práticas de manejo da cultura do arroz. A média de recuperação de 0,46, obtida neste estudo está dentro dos valores relatados por Yoshida (1981), em que, nas regiões dos trópicos a eficiência de recuperação na cultura do arroz fica entre 0,3 e 0,5. Trabalhando com 12 genótipos de arroz e cinco doses de N, Fageria et al. (2007) encontraram valores médios de eficiências: agronômicas, fisiológicas, agrofisiológicas e recuperação de 19, 155, 77 e 0,29, respectivamente. A eficiência de utilização do N, na orizicultura é baixa, em decorrência das perdas por volatilização, imobilização, lixiviação e desnitrificação (Fageria et al., 2003).

As cultivares não diferiram quanto a produtividade de grãos. Quando se considerou a média das cultivares avaliadas, a resposta ao nitrogênio foi quadrática, atingindo a produtividade máxima econômica de 7980 kg ha⁻¹, na dose de 270 kg de N por hectare (Figura 8). Segundo Fageria et al. (1999), o modelo quadrático é o mais indicado para escolher a dose adequada.

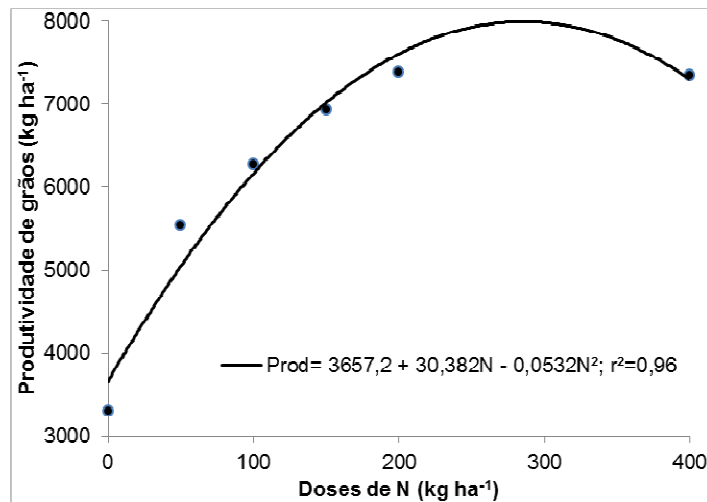


Figura 8. Produtividade média de quatro de cultivares de arroz irrigado em função de doses de nitrogênio (N).

A produtividade média geral das cultivares e das doses de N foi de 6130 kg ha⁻¹. Na dose zero de nitrogênio, observou-se produtividade superior a 3000 kg ha⁻¹, valor que aproxima de 70% da produtividade média de arroz irrigado no Estado do Tocantins. Diante dessas evidências e ao contrário do que se acredita, as cultivares melhoradas, ditas como modernas, com alta capacidade de rendimento, mesmo em condições de estresse nutricional, ainda tem potencial produtivo elevado.

CONCLUSÕES

Cultivares de arroz irrigado não necessitam receber doses diferenciadas de N para a produção de grãos.

Para maximizar economicamente a produção de arroz é necessário aplicar 270 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

É possível estimar a produtividade de grãos pela contagem do número de panículas.

Cultivares de arroz irrigado apresentam eficiência de 27 kg de grãos para cada kg de N aplicado.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, W.E.B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G.M.B.; OLIVEIRA, H.F. Épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado na Região Norte Fluminense. **Lavoura Arrozeira**, v.45, p.14-17, 1992.
- BUZETTI, S.; BAZANINI, G.C.; FREITAS, J.G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M.E.; MEIRA, F. A. Resposta de cultivares de arroz de nitrogênio e de regulador de crescimento cloreto de clormequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.12, p.1731-1737, 2006.
- CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management. **Ambio**, v.31, n.2, p.132-140, 2002.
- COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; OLIVEIRA, R.P.; MORAIS, J.F.V. Solos In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (Eds). **A Cultura do Arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão. 2006. p.161-208.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2010/2011**. 7º Levantamento. 2011, 54p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FABRE, D.V.O.; CORDEIRO, A.C.C.; FERREIRA, G.B.; VILARINO, A.A.; MEDEIROS, R.D. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em arroz de várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.29-38, 2011.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1405-1429, 2001.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1029-1034, 2007.
- FAGERIA, N.K.; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.80, p.63-152, 2003.
- FAO. **Ano internacional do arroz: Documento base**. FAO, 2003. 26p.
- FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 4.ed. rev. Passo Fundo: UPF, 2008. 733p.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006.
- FREITAS, J.G.; AZZINI, L.E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C.R.; CASTRO, L.H.S.M.; GALLO, P.B.; FELÍCIO, J.C. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agrícola**, v.58, n.3, p.573-579, 2001.

GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A.R.; ERISMAN, J.W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J.R.; MARTINELLI, L.A.; SEITZINGER, S.P.; SUTTON, M.A. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. **Science**, v.320, p.889–892, 2008.

HERNANDES, A.; et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e Agrotecnologia** .[online]. 2010, vol.34, n.2, p.307-312.

KISCHEL, E.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M.; BRANDÃO, D.R., CANCELLIER, E.L.; NASCIMENTO, I.R. Efeito do Nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.1, p.84-89, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Editora RiMa, São Carlos, 550p. 2006.

MATSUSHIMA, S. **Crop Science in rice: Theory of yield determination and its application**. Tokio: Fuji, 1970. 379p.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C.; CORRÊA, J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.5, p.867-873, 2003.

NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N.; CARMONA, P.S. A planta do arroz: morfologia e fisiologia. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A (ed) **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: UFPel, 1998, p.45-65.

PAULA, M.B.; BARBOSA FILHO, M.; CARVALHO, J.G. Sugestões de adubação para grandes culturas anuais ou perenes: Arroz. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.281-284.

SACHULZE, E.D.; CALDWELL, M.M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Spring Verlag, 1995. 576p.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila: IRRI, 1981. 269p.

CAPÍTULO II

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E RENDIMENTO DE GRÃOS EM ARROZ IRRIGADO

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito de doses de nitrogênio (N) sobre o desempenho de quatro cultivares de arroz irrigado, indicadas para cultivo em região tropical, e sobre a capacidade de absorção de nutrientes, foi desenvolvido um experimento na Estação Experimental do Fundão, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com cinco repetições. As doses de N: 0, 50 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹, constituíram a parcela principal, e as subparcelas as cultivares: BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1. Foi verificado que a adubação nitrogenada influencia a absorção dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e eleva a produtividade da cultura, havendo resposta econômica com a dose de 254 kg de N por hectare. A qualidade dos grãos é afetada positivamente pela adubação nitrogenada e o rendimento de grãos varia com a cultivar.

Palavras-chave: Orizicultura, nutrição mineral, qualidade de grãos.

NITROGEN FERTILIZATION IN NUTRIENT ABSORPTION AND GRAINS YIELD ON IRRIGATED RICE

ABSTRACT

For evaluating the effect of nitrogen (N) doses on the performance of four cultivars of irrigated rice, suitable for cultivation in a tropical region, and the ability to absorb nutrients, an experiment was carried out at Estação Experimental do Fundão (Fundão Experimental Station), Federal University of Viçosa, Viçosa City, Minas Gerais State, Brazil. The experiment was in randomized blocks design in split plots with five replications. Nitrogen doses of 0, 50 100, 150, 200, and 400 kg ha⁻¹ formed the main plot, and BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical, and Metica1 cultivars formed the subplots. It was

found that nitrogen fertilization influences the macronutrients absorption (N, P, K, Ca, Mg, and S) and increases the crop productivity, with economic response for 254 kg of N dose per hectare. Grains quality is positively affected by nitrogen fertilization and grains yield varies with the cultivar.

Keywords: rice culture, mineral nutrition, grains quality.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das fontes alimentícias mais importantes para cerca da metade população humana mundial (UNFPA, 2010), sendo alimento básico, principalmente, nos países em desenvolvimento, e consiste em 27% de consumo de energia e 20% de proteínas (FAO, 2003). O arroz é cultivado em torno de 116 países, tanto em regiões tropicais como temperadas. Vários problemas comprometem a capacidade de satisfazer as necessidades futuras de arroz como maior relação demanda versus produção e limitação de áreas para o cultivo nos países maiores consumidores.

Do ponto de vista de fertilização do solo a cultura do arroz, juntamente com trigo e milho é dependente de fertilizantes nitrogenados. O nitrogênio (N) é o quinto elemento mais abundante do sistema solar e o componente principal da atmosfera terrestre (78,1% em volume), constituindo-se em elemento essencial para a síntese de ácidos nucléicos e proteínas (Canfield et al., 2010). Sua essencialidade também está relacionada com a formação de pigmentos, hormônios, coenzimas, vitaminas e alcaloides (Floss, 2008).

A deficiência de N resulta em clorose gradual das folhas e interfere negativamente no processo fotossintético, haja vista que faz parte da molécula da clorofila, neste caso, afetando a habilidade da planta em executar funções essenciais, como a absorção de nutrientes (Dechen e Nachtigall, 2006).

A absorção de nutrientes pelas plantas é influenciada por fatores externos e internos inerentes à própria planta. Segundo Cantarela (2006), a absorção de N pode afetar a absorção de outros nutrientes pela alteração do pH na região da rizosfera. Quando o N é absorvido na forma de nitrato ocorre alcalinização, ao passo que quando a absorção é na forma de amônia provoca o aumento da acidez e, nesse caso, como o N é absorvido em grandes quantidades, a mudança de pH pode resultar no aumento ou na redução da

solubilidade ou disponibilidade de alguns nutrientes, assim como a qualidade dos grãos.

Na alimentação humana, o arroz é utilizado após o beneficiamento dos grãos, em que se retira a casca, camada nucelar e o embrião. O percentual de arroz descascado e polido (inteiros ou quebrados) é conhecido por renda no benefício, já o rendimento de grãos é o percentual de grãos inteiros e quebrados, separadamente, para classificação comercial do arroz (Fornasieri Filho e Fornasieri, 2006). Segundo Vieira (2004), o comportamento do arroz no beneficiamento deve ser considerado no processo de obtenções de cultivares, a fim de atender as exigências do mercado. De acordo com Andrade et al. (1995), além de fatores intrínsecos à cultivar, a qualidade dos grãos pode variar, dependendo das práticas agronômicas realizadas e das condições climáticas verificadas durante o desenvolvimento da cultura.

É sabido que, além do sistema de cultivo, vários outros fatores, como características próprias da cultivar em uso, condições climáticas durante o desenvolvimento, maturação e colheita do grão, condições de processamento e manejo de pós-colheita influenciam o rendimento do arroz beneficiado (Vieira e Rabelo, 2006). No desenvolvimento da cultura o estado nutricional da planta pode ser um dos fatores a influenciar na qualidade dos grãos.

A influência do N sobre o rendimento de grãos tem sido uma variável estudada por diversos autores (Silva e Brandão, 1987; Andrade et al., 1992; Freitas et al., 2001; e Freitas et al., 2007) e sugerem que o efeito da aplicação de N sobre o rendimento de grãos inteiros não é constante e, provavelmente, depende da cultivar e de fatores ambientais.

Portanto, a constante introdução de novas cultivares de arroz com bom potencial produtivo e, geralmente, mais exigentes em nutrientes, necessita de maior atenção na avaliação do estado nutricional e fertilidade do solo. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com os objetivos de avaliar o desempenho de quatro cultivares tropical de arroz irrigado, quanto ao efeito de níveis de nitrogênio sobre a capacidade de absorção de nutrientes, produtividade e qualidade dos grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Fundão, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola 2008/09, no município de Viçosa-MG, situada nas coordenadas geográfica: 20°45'S e 42°50'W(Gr.) e altitude aproximada de 650 m. Na Figura 1, são apresentados os dados da temperatura (máxima e mínima), precipitação de chuva e umidade relativa do período referente ao ciclo da cultura. A implantação do experimento foi realizada em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa com as seguintes características química: pH= 4,9; MO= 3,2 dag kg⁻¹; P= 6,3 mg dm⁻³; K= 48 mg dm⁻³; Ca= 1,8 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,5 cmol_c dm⁻³; H+Al= 5,1 cmol_c dm⁻³; Zn= 7,3 mg dm⁻³; Cu= 3,6 mg dm⁻³; Fe= 125 mg dm⁻³ e Mn= 45 mg dm⁻³. A análise granulométrica apresentou 75 dag kg⁻¹ de argila, 16 dag kg⁻¹ de silte e 9 dag kg⁻¹ de areia. As análises, química e granulométrica, foram realizadas de acordo com o manual e métodos de análise do solo da Embrapa (1997), no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

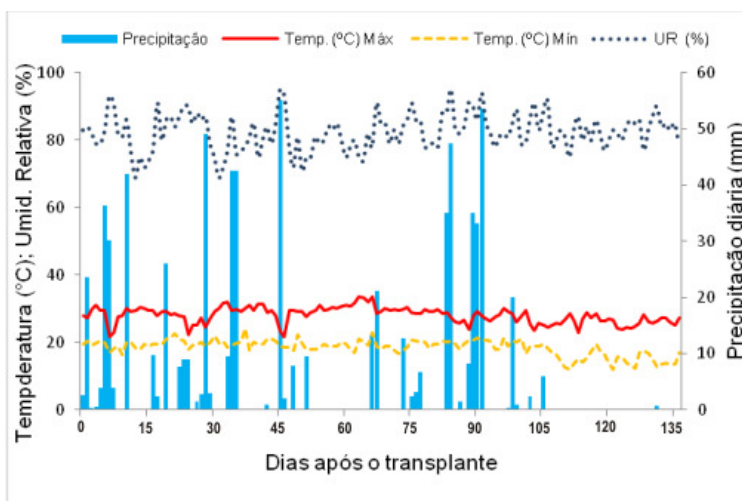


Figura 1. Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, a partir da data de plantio até a colheita, Viçosa, MG, Safra 2008/2009.

Fonte: Estação meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

O experimento foi instalado no delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições em esquema de parcelas subdivididas. As doses de N constituíram a parcela principal e as cultivares as subparcelas. As parcelas foram separadas por meio de taipas recobertas por lona plástica de 200 micras,

de modo a impedir contaminação entre os tratamentos pela infiltração da água de irrigação. As subparcelas foram compostas por seis fileiras de 5 m de comprimento. Os tratamentos consistiram de quatro cultivares de arroz irrigado, recomendadas para clima tropical: BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1, e seis doses de N: 0, 50, 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹. As doses de N foram aplicadas 1/3 no momento do transplante, 1/3 aos 27 dias e 1/3 aos 47 dias após o transplante (DAT), tendo como fonte a uréia (45% de N).

O solo foi preparado com uma aração e o destorreamento foi feito com enxada rotativa. A adubação de base foi realizada antes do transplante de acordo com interpretação da análise de solo, utilizando-se superfosfato simples e cloreto de potássio de acordo com as recomendações de Paula et al. (1999). A adubação foi de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O. Os canteiros foram construídos, medindo 10 cm de altura 1,0 m de largura e 10 m de comprimento. No dia 03 de novembro foi realizado a semeadura com 1000 sementes pré-germinada por m². O transplante foi realizado no dia 30 de dezembro de 2008 quando as mudas atingiram 30 dias após a semeadura no viveiro, utilizando-se o espaçamento de 0,2 x 0,2m entre covas e três mudas por cova. Foi mantida pequena lâmina d'água (2 cm) que foi aumentada até atingir, aproximadamente, 5,0 cm na fase de floração.

Para determinar a produtividade de grãos da parcela útil foi coletada quatro fileiras centrais de 4,0 m, tendo excluído 0,5 m em ambas as extremidades da parcela. A colheita foi realizada no dia 08 de abril de 2009 quando os grãos atingiram teor de umidade em torno de 20%.

A massa total dos grãos da área útil da parcela foi determinada após secagem dos grãos, com a umidade corrigida para 13% e convertido em kg ha⁻¹. A produtividade máxima econômica (PME) foi obtida por meio da obtenção da dose máxima econômica:

$$DME = [(t/w) - b_1] / 2b_2$$
, em que: *DME* é a dose máxima econômica de N; *t* é o preço de um quilo do arroz em casca; *w* é preço de um quilo de N, valor médio (*t* e *w*) dos últimos 15 anos; *b*₁ é coeficiente de regressão linear; *b*₂ é o coeficiente de regressão quadrática.

Foi colhida uma linha de 1,0 m por parcela com a finalidade de obter o acúmulo de matéria seca da parte aérea da planta, sendo ceifada ao nível do solo. O material colhido foi submetido à secagem em estufa com circulação de

ar forçada a 70 °C, até atingir peso constante. Após a secagem as amostras foram pesadas e processadas em moinho tipo Wiley, utilizando peneira de 20 mesh. Posteriormente, as amostras do material vegetal foram submetidas às análises específicas visando a determinação de cada nutriente.

O teor de N-total foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Bremner (1965), na parte aérea e nos grãos secos. Os demais elementos foram analisados após mineralização pela digestão nítrico-perclórica. Sendo o P determinado por espectrofotometria de absorção molecular, com base no desenvolvimento do complexo fósforo-molibídico em meio redutor (Braga e Defelipo, 1974). O K foi determinado por fotometria de emissão de chama; o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por medidas turbidimétricas feitas em espectrofotômetro (Blanchar et al., 1965).

O rendimento de engenho foi determinado a partir do beneficiamento de uma amostra de trabalho de 100 gramas de arroz. O percentual de renda foi determinado pela pesagem direta do produto descascado e polido. Para obtenção do rendimento de grãos utilizou-se o classificador trieur, onde o mesmo foi obtido diretamente em porcentagem, mediante a pesagem dos grãos retidos no trieur (inteiros) e dos grãos retidos no cocho (quebrados).

O modelo estatístico adotado para a análise dos dados do experimento foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + (tb)_{ij} + t'_k + (tt'')_{ik} + e_{ijk}$$
, em que: Y_{ijk} é o efeito da i -ésima dose de N, na j -ésima repetição e na k -ésima cultivar, μ é a média geral; t_i , é o efeito i -ésima dose de N, na parcela; b_j é o efeito da repetição j ; $(tb)_{ij}$ é o erro em nível de parcelas; t'_k é o efeito do tratamento Cultivar, em nível de subparcelas; $(tt'')_{ik}$ é o efeito da interação de dose N x Cultivar; e e_{ijk} é o erro experimental em nível de subparcelas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ($p \leq 0,05$). Para a comparação entre médias utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Quando significativa, foram feitas análises de regressões e correlações entre os resultados de absorção de nutrientes e produtividade de grãos para doses de N.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao efeito da fertilização nitrogenada sobre a absorção de macronutrientes e o desdobramento da interação entre doses de N e cultivares estão apresentados na Figura 2. Com base nestes resultados, foi verificado efeito significativo na absorção dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S) para doses de N e cultivares (Figura 2).

Analizando estes resultados, observa-se que a absorção de N aumenta linearmente com o incremento das doses, sugerindo que essa maior quantidade de N acumulada nos tecidos resulta em maior produção de fotoassimilados. O N é um dos principais constituintes da clorofila e pigmentos que absorvem energia solar e desencadeia o processo fotossintético (Taiz e Zeiger, 2006).

Em trabalho realizado por Reis et al. (2005), os autores encontraram resultados semelhantes e observaram que a taxa de translocação de P para os grãos depende do nível de fornecimento de N para a planta. De acordo com Espindula et al. (2010), o N promove incremento na biomassa e no desenvolvimento vegetativo e espera-se que processos fisiológicos que envolvam reações redox, como respiração e fotossíntese, sejam aumentados. Com isso, é esperado que a concentração de nutrientes, na parte vegetativa, também seja aumentada, uma vez que estes nutrientes estão diretamente ligados a estas reações.

Quanto ao potássio, o incremento da oferta de N, aumentou a absorção deste nutriente, em que os dados ajustaram-se a equação linear quadrática, ou seja, até certo ponto o incremento nas doses de N promoveu acréscimo na absorção de K. É sabido que o nitrogênio promove a expansão foliar, o que faz aumentar a divisão celular e a expansão de células dos vegetais, conseqüentemente ocorre alteração do conteúdo do suco celular. A manutenção da concentração osmótica dos tecidos foliares requer aumento na absorção de K, em quantidade para manter eficazmente a turgescência das células.

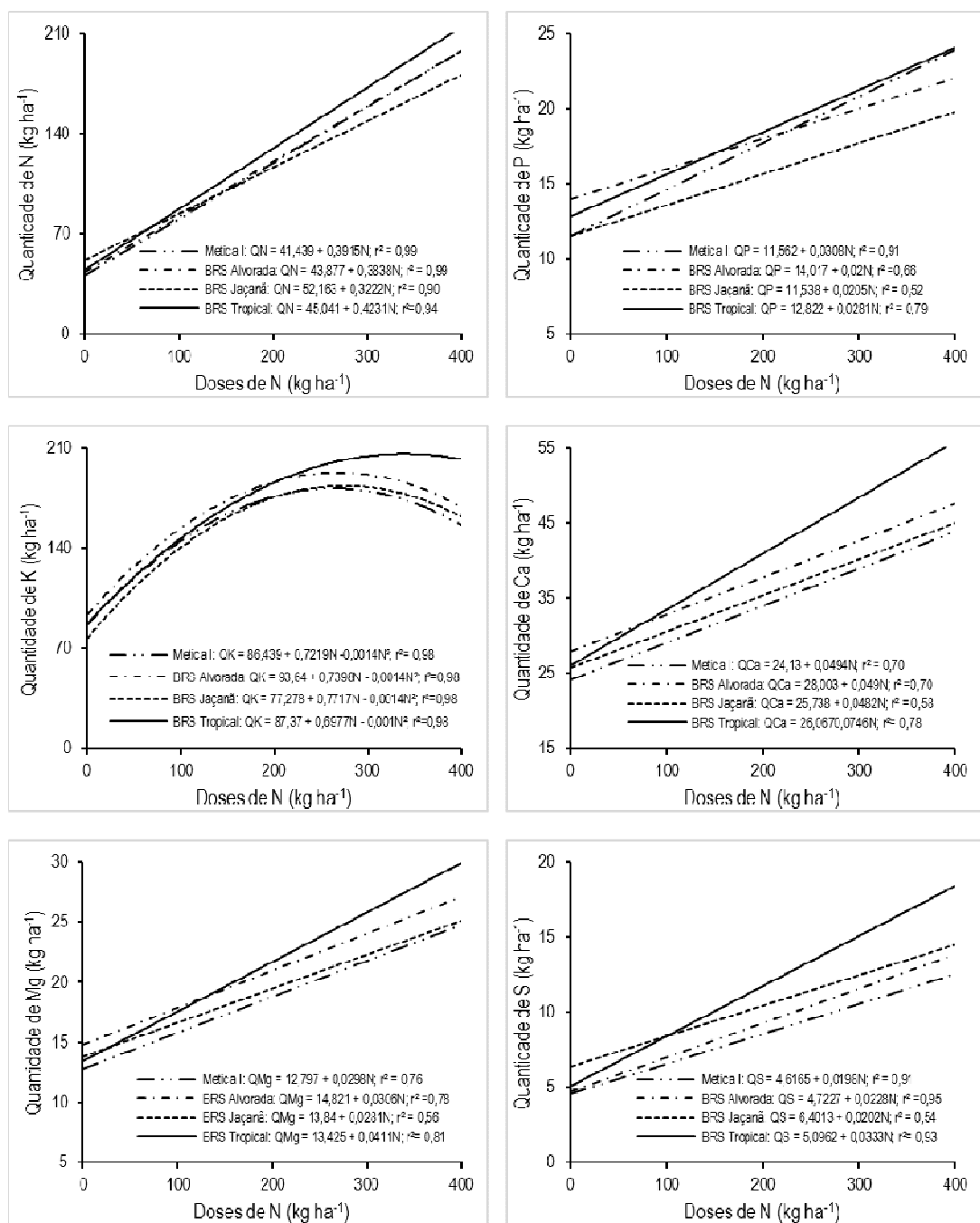


Figura 2. Efeitos de doses de N na absorção dos macronutrientes em quatro cultivares de arroz irrigado.

Estando com deficiência de potássio há menor síntese de proteína e menor ocorrência de poliaminas e estas são produzidas sempre que houver alta disponibilidade de nitrogênio (Floss, 2008). Possivelmente, seja essa uma das razões para que a adubação de N e K seja equilibrada; se forem utilizadas altas doses de adubação nitrogenada sem aplicação de K pode ocorrer redução no crescimento das plantas. De acordo com Cantarella (2006), a

absorção de um elemento eleva a demanda pelo outro; o estímulo do crescimento provocado pela adição de N pode levar a deficiência de K por efeito de diluição e vice versa. O suprimento não balanceado em solos deficientes pode levar a decréscimos na produção e no acúmulo do nutriente.

Os macronutrientes Ca, Mg e S tiveram seus teores aumentados linearmente, em resposta à aplicação de nitrogênio. Espindula et al. (2010) sugerem que o aumento do teor de Ca em função do aumento da adubação nitrogenada pode estar relacionada à maior necessidade de cálcio nos grãos para formação de parede celular. A cultivar BRS Tropical, em média, absorveu maior quantidade de Ca, em torno de 55 kg ha⁻¹ para a dose máxima aplicada.

Quanto ao Mg é esperado que, com a aplicação de N, os níveis de clorofila nas folhas aumentem e, como consequência, a quantidade de Mg também aumenta.

O incremento nas doses de N aumentou linearmente, o teor de enxofre (S) nos grãos, dobrando a quantidade absorvida para a dose máxima de N aplicada. É importante ressaltar que a única disponibilidade de S no solo foi da utilização do superfosfato simples que contém 12% de S, e o mesmo foi aplicado na mesma dose, em todos os tratamentos.

É sabido que o íon amônio é extremamente tóxico para as plantas e, portanto, são metabolizados rapidamente mediante sua incorporação em aminoácidos. Este aumento pode ser explicado pela presença do S nos aminoácidos cisteína e metionina (Taiz e Zeiger, 2006).

Os dados das médias de seis doses de nitrogênio para as quatro cultivares, referente à absorção de nutrientes na cultura de arroz irrigado, são apresentados na Tabela 1. Os resultados encontrados neste trabalho estão em coerência aos encontrados por outros autores (De Datta, 1981; Fageria et al., 1995; Wielewicki et al., 1998; Fageria et al., 2003), em que a acumulação de nutrientes segue a seguinte ordem: K>N>Ca>P>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu (Tabela 1). Para a média geral de doses N e cultivares observou-se que para produção de uma tonelada de grãos de arroz irrigado foram extraídos, em média, 16,75 kg de N, 2,64 kg de P, 23,72 kg de K, 5,59 kg de Ca, 3,03 kg de Mg, e 1,44 kg de S. Informação referente ao acúmulo de matéria seca, da absorção de nutrientes e de sua distribuição na planta (palha e grãos) compõe elementos auxiliares no manejo da adubação.

Quanto a exportação de nutrientes (Tabela 2) as cultivares não diferiram em relação ao nitrogênio exportado. Na média das quatro cultivares e das seis doses de N, foram exportados 64,96 dag kg⁻¹ do nitrogênio total pelos grãos. Os resultados são concordantes com Reis et al. (2005), em que relatam que a exportação média foi de 60 dag kg⁻¹. Esse valor é conhecido também por Índice de colheita de N, sendo este um parâmetro para medir a eficiência de uso e produtividade (Fageria e Santos, 2003).

Tabela 1. Absorção média de nutrientes pela planta de arroz (palha e grãos), com aplicação de doses de nitrogênio.

Cultivares	Absorção de nutrientes (kg ha ⁻¹)*					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Metica I	100,17 a	16,19 ab	141,12 a	31,54 b	17,26 b	7,59 b
BRS Alvorada	101,44 a	17,01 a	150,56 a	35,36 ab	19,42 a	8,14 b
BRS Jaçanã	100,50 a	14,62 b	138,17 a	32,96 b	18,05 ab	9,43 a
BRS Tropical	108,51 a	17,03 a	151,77 a	37,25 a	19,58 a	10,09 a
Média	102,66	16,21	145,41	34,28	18,58	8,81

*Médias para cultivares seguida da mesma letra na coluna, não diferem entre si (Tukey, 5%).

Uma quantidade adequada de fósforo no solo é essencial para o crescimento normal da planta, sendo extremamente importante para o perfilhamento. As cultivares foram influenciadas pela adubação nitrogenada, sendo que a BRS Jaçanã e a BRS Tropical exportaram maior quantidade de fósforo (Tabela 2) quando comparados a Metica 1 e BRS Alvorada. Segundo Fageria (2006), aproximadamente 65% do fósforo absorvido é exportado pelos grãos. Reis et al. (2005) observaram, também, que a taxa de translocação de P para os grãos depende do nível de fornecimento de N para a planta.

O potássio é um nutriente essencial para vários processos fisiológicos e bioquímicos na planta, sendo extraído em maior quantidade em cultivares modernas de arroz irrigado (Fageria e Santos, 2003). Entretanto, apenas 10% encontra-se nos grãos (Fornasieri Filho e Fornasieri, 2006). A BRS Jaçanã apresentou menor exportação de K. Na média geral o potássio, dentre os nutrientes estudados é o menos exportado. Valor semelhante foi relatado por Fageria (2006), que para solo de média fertilidade obteve 8,33 dag kg⁻¹ de K exportado.

A cultivar Metica1 exportou maior quantidade de Ca para os grãos, sendo que para Mg não houve diferenças significativas para as cultivares.

Segundo Cuntrim et al. (2006), a cultivar BRS Alvorada é oriunda do programa de retrocruzamento entre a cultivar comercial recorrente Metica 1 e a fonte de resistência à brusone Huan-Sen-Go. As duas cultivares têm comportamentos semelhantes e quando comparadas entre si, não diferem na exportação dos macronutrientes, fato indicador de que esta capacidade pode ser uma característica geneticamente controlada.

Tabela 2. Exportação média de nutrientes pela planta de arroz (grãos), com aplicação de doses de nitrogênio.

Cultivares	Exportação de nutrientes (dag kg ⁻¹)*					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Metica I	65,20 a	70,85 b	9,08 a	17,28 a	31,05 a	23,55 a
BRS Alvorada	64,07 a	70,30 b	8,77 a	15,84 ab	29,07 a	22,95 a
BRS Jaçanã	66,44 a	76,07 a	7,49 b	15,11 b	29,19 a	19,65 b
BRS Tropical	64,11 a	75,05 a	8,79 a	15,12 b	29,66 a	18,80 b
Média	64,96	73,07	8,53	15,84	29,74	21,24

*Médias para cultivares seguida da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, 5%).

De maneira geral, os teores médios de macronutrientes exportados, situaram-se dentro das faixas de valores tidas como adequadas para a cultura do arroz irrigado, conforme os níveis de interpretação propostos por diversos autores (Lopes et al, 1993; Reis et al, 2005; Fageria, 2006).

No que diz a respeito à produtividade de grãos de arroz em casca, observou-se efeito significativo somente para doses de N. A estimativa da média da produtividade de grãos, em função das doses de N aplicadas foi significativa e ajustou ao modelo de regressão quadrática (Figura 3). A produtividade máxima técnica (PMT) foi de 7995 kg ha⁻¹, para a dose de 285,5 kg ha⁻¹. Entretanto, a dose máxima econômica (DME) de N foi de 254 kg ha⁻¹, que possibilitaria uma produtividade máxima econômica (PME) de 7944 kg ha⁻¹. Fageria et al. (2007), trabalhando com 12 genótipos, em dois anos consecutivos, encontrou efeitos significativos entre doses de N e genótipos, entretanto, os dois genótipos BRS Jaçanã e BRS Alvorada que também estavam presentes no referido estudo não diferiram, entre si.

A média geral entre todas as cultivares e as seis doses de N foi de 6130 kg ha⁻¹. Cordeiro e Medeiros (2008), avaliando a cultivar BRS Jaçanã, no estado de Roraima, obtiveram média de 6.607 kg ha⁻¹, valor semelhante ao encontrado neste trabalho. Fabre et al (2011) obtiveram para a referida cultivar

uma produtividade média, independentemente da dose de N e época de aplicação, de 5.543 kg ha^{-1} , com mínima de 3.896 kg ha^{-1} e máxima de 7.162 kg ha^{-1} .

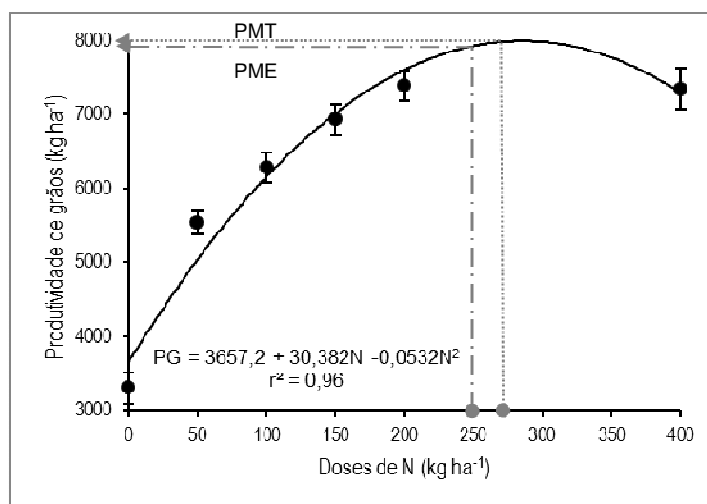


Figura 3. Média de produtividade de quatro de cultivares de arroz irrigado em função de doses de nitrogênio (N).

A dose máxima econômica de N encontrada é superior a maioria dos trabalhos e das recomendações brasileiras para cultura do arroz. Fageria e Baligar (2001), obtiveram respostas significativas e quadráticas a aplicação de N, na faixa de 0 a 210 kg ha^{-1} de N. Fabre et al (2011) observaram respostas a produtividade máxima de até $153,2 \text{ kg}$ de N por hectare. Entretanto, trabalhos recentes têm relatado repostas às aplicações de N superior a 200 kg de N por hectare (Fageria et al, 2003). Freitas et al (2007) obtiveram em dois anos consecutivos produtividade máxima para as doses de 227 e 257 de N por hectare para a cultivar IAC 103. Wang et al (2004), na região do Delta do Yangtse, avaliando a otimização do uso de nitrogênio e suas perdas de nitrogênio na cultura do arroz encontraram dose ótima de 225-270 kg por hectare. Entretanto, essa reposta pode ser em função da capacidade do solo em fornecer N, além de outros fatores como manejo da água e épocas de adubação, durante o ciclo da cultura.

Houve efeito significativo no rendimento de grãos beneficiados, tendo aumentado em função da adubação nitrogenada. Na média geral, os dados ajustaram-se ao modelo linear simples ($r^2=0,92$). Também houve diferenças significativas entre as médias de rendimento de grãos beneficiados das cultivares ($p<0,01$). Por sua vez, não foi significativa a interação entre as

cultivares e as doses de N para a mesma característica. Observa-se que a BRS Alvorada, foi superior a BRS Tropical e Metica I (Tabela 3). Estudando três cultivares de arroz, Freitas et al. (2001) verificaram que o rendimento de grãos beneficiados foi afetado pela adubação nitrogenada e sugerem que o efeito da aplicação de N sobre o rendimento de grãos inteiros não é constante e, provavelmente, depende da cultivar e dos fatores ambientais.

Tabela 3. Renda de benefício de grãos (%) de quatro cultivares de arroz irrigado, sob seis dosagens de nitrogênio.

Cultivar	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)						Média*
	0	50	100	150	200	400	
BRS Tropical	70,82	70,83	71,46	71,79	71,69	72,21	71,47 b
BRS Alvorada	71,42	72,07	72,70	73,24	73,09	73,65	72,70 a
BRS Jaçanã	71,32	71,63	71,75	72,12	72,85	73,28	72,16 ab
Metica I	71,17	71,77	71,63	71,99	72,45	72,88	71,98 b
Média	71,18	71,58	71,88	72,29	72,52	73,01	

*Médias para cultivares seguida da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, 5%).

O rendimento de grãos inteiros foi influenciado pela adubação nitrogenada (Figura 4), sendo que, para a dose máxima econômica (DME) encontrou-se 65% de rendimento de grãos inteiros (RGI). Dados semelhantes foram descrito por Jandrey (2008) que verificou que rendimento de grãos inteiros aumentou linearmente com o incremento da dose de adubação nitrogenada aplicada e encontrou valores em torno de 65% de grãos inteiros.

Por outro lado, Andrade et al. (1992) não detectaram influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento de grãos inteiros de dois cultivares de arroz. Para Barbosa Filho e Fonseca (1994), o incremento da adubação com N eleva a porcentagem de grãos translúcidos, os quais são mais resistentes ao quebramento no processo de beneficiamento. Segundo Vieira (2004), para valoração comercial do produto, a legislação brasileira prevê renda mínima no beneficiamento de 68%, com 40% rendimento de grãos inteiros e 28% de quebrados e quirera (Vieira, 2004). As cultivares BRS Jaçanã e BRS Tropical foram avaliadas por Cordeiro e Medeiros (2010), utilizando 150 kg de N por hectare e obtiveram rendimento de 58% e 62% de grãos inteiros, respectivamente.

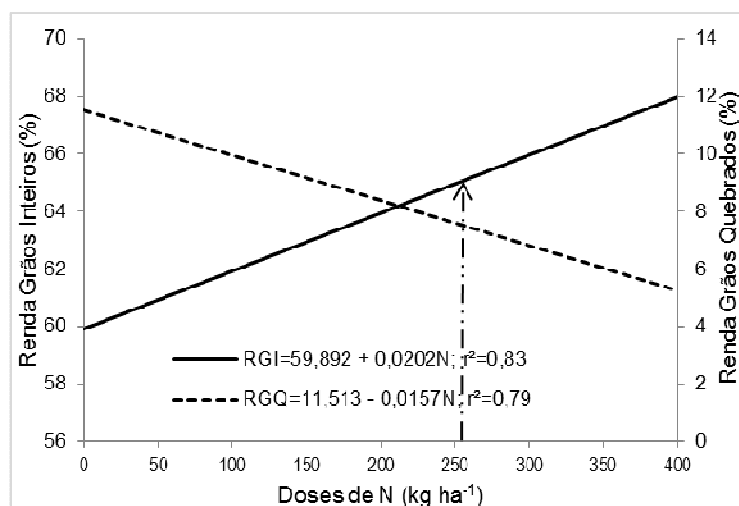


Figura 4. Rendimento médio de grãos inteiros (RGI) e de grãos quebrados (RGQ), médias de quatro cultivares de arroz irrigado, em função de doses de nitrogênio (N).

Conforme Ferreira et al (2005), o produto que apresentar menos de 10% de grãos quebrados é classificado como de alto padrão no mercado internacional do arroz. Portanto, observa-se que nas doses de N inferior a 100 kg ha⁻¹, os grãos quebrados supera os 10%, o que enquadra em produto de baixo padrão, no mercado internacional.

CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada aumenta o acúmulo dos macronutrientes na planta de arroz;

O nitrogênio N eleva a produtividade do arroz irrigado, havendo resposta econômica até 254 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), independente das cultivares.

O rendimento de grãos beneficiados aumenta com a adubação nitrogenada e varia com a cultivar, sendo a cultivar BRS Alvorada a que apresentou maior renda de benefício de grãos;

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, W.E.B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G.M.B.; OLIVEIRA, H. F. Épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado na Região Norte Fluminense. **Lavoura Arroeira**, v.45, p.14-17, 1992.
- ANDRADE, W.E.B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G.M.B.; PEREIRA, R.P.; RIVERO, P.R.Y.; SILVA, V.R. Qualidade de grãos de arroz em função de níveis de nitrogênio. Niterói: PESAGRO-Rio, 1995. 6p. (Comunicado Técnico, 229).
- BARBOSA FILHO, M.P.; FONSECA, J.R. Importância da adubação na qualidade do arroz. In: SÁ, M.E; BUZETTI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p.217-231.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings-Soil Science society of America**. v.29, n.1, p.7172, 1965.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**. v.21, n.113, p.73-85, 1974.
- CANFIELD, D.E.; GLAZER, A.N.; FALKOWSKI, P.G. The evolution and future of earth's nitrogen cycle. (review). **Science**, v.330, p.192-196, 2010.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.375-470.
- CORDEIRO, A.C.C.; MEDEIROS, R.D. BRS Jaçanã e BRS Tropical: cultivares de arroz irrigado para os sistemas de produção de arroz em várzea de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.4, n.2, p.67-73, 2010.
- CORDEIRO, A.C.C.; MEDEIROS, R.D. **Cultivares de arroz irrigado recomendadas para Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. 12p. (Embrapa Roraima. Circular Técnica,03).
- CUTRIM, V. A.; RANGEL, P.H.N.; FONSECA, J.R. Cultivares de arroz irrigado recomendadas para os Estados de Goiás e Tocantins. **Circular técnica**. EMBRAPA, n.77, 2006. 4p.
- DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production**. New york: John Wiley. & Sons, 1981. 618p.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.91-132.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- ESPINDULA, M.C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V.S.; MONNERAT, P.H.; FAVARATO, L.F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.4, p.513-520, 2010.
- FABRE, D.V.O.; CORDEIRO, A.C.C.; FERREIRA, G.B.; VILARINO, A.A.; MEDEIROS, R.D. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em arroz de várzea. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.29-38. 2011.

FAGERIA, N.K. Nutrição Mineral In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão. 2006. p.387-423.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1405-1429, 2001.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. Manejo do potássio In: FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. **Manejo da fertilidade do solo para arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003. P.121-142.

FAGERIA, N.K.; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.80, p.63-152, 2003.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1029-1034, 2007.

FAO. **Ano internacional do arroz: Documento base**. FAO, 2003. 26p.

FERREIRA, C.M.; PINHEIRO, B S.; SOUSA, I.S.F.; MORAIS, O.P. **Qualidade do arroz no Brasil: Evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2005. 61p.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 4.ed. rev. Passo Fundo: UPF, 2008. 733p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

FREITAS, J.G; AZZINI, L.E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C.R.; CASTRO, L.H.S.M; GALLO, P.B.; FELÍCIO, J.C. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agrícola**, v.58, n.3, p.573-579, 2001.

FREITAS, J.G.; CANTARELLA, H.; SALOMON, M.V.; MALAVOLTA, V.M.A.; CASTRO, L.H.S.M.; GALLO, P.B.; AZZINI, L.E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.66, n.2, p.317-325, 2007.

JANDREY, D.B. **Dose de nitrogênio em cobertura no arroz irrigado em sucessão a espécies de inverno**. 2008. **64p**. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LOPES, S.I.G.; VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 46, n. 411, p. 3-7, 1993.

PAULA, M.B.; BARBOSA FILHO, M.; CARVALHO, J.G. Sugestões de adubação para grandes culturas anuais ou perenes: Arroz. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.281-284.

REIS, M. S.; SOARES, A.A.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M. O. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.707 -713, 2005.

SILVA, P.S.L.; BRANDÃO, S.S. Rendimento no beneficiamento e translucidez de grãos de cultivares em função de níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.943-949, 1987.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.

UNFPA. **Relatório sobre a Situação da População Mundial 2010**. Nova York: UNFPA, 2010. 108p.

VIEIRA, N.R.A. Qualidade de grãos e padrões de classificação de arroz. **Informe Agropecuário**. v.25, n.222, p.94-100. 2004.

WANG, D.J.; LIU, Q.; LIN, J.H.; SUN, R.J. Optimum nitrogen use and reduced nitrogen loss for production of rice and wheat in the Yangtse Delta region. **Environ Geochem Health**. v.26, n.2-3, p.221-227, 2004.

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

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO EM TEMPO REAL DO ESTADO DO NITROGÊNIO NA CULTURA DO ARROZ POR MÉTODO INDIRETO

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de usar o “método da fita métrica” e tabela de cor na avaliação do estado nutricional de nitrogênio na cultura do arroz em tempo real e determinar a relação entre os valores obtidos e aqueles determinados pelo medidor de clorofila SPAD (*Soil Plant Analysis Development*). Para isso foi instalado um experimento com quatro cultivares de arroz irrigado combinado com seis doses de N (0, 50, 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e cinco repetições. Aos 25, 40, 55 dias após o transplante as variáveis índice SPAD, leitura na fita métrica, leitura na tabela de cores e teor de N na matéria seca das folhas foram determinadas. Não houve efeito de interação entre doses de N e cultivares, assim como de cultivares para as leituras do SPAD, pela leitura na fita métrica, leitura na tabela de cores e nos teores de N foliar. Para as três épocas, os métodos SPAD e da fita métrica e tabela de cores apresentaram sensibilidade para avaliação do estado de N da planta. O método da “fita métrica” assim como o uso da tabela de cores permite estimar o estado de nitrogênio de plantas de arroz em tempo real e produz valores correlacionados com a leitura SPAD, tendo como vantagem o menor custo.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., nutrição, diagnóstico.

REAL TIME DETERMINATION OF THE NITROGEN STATE ON RICE CULTURE BY INDIRECT METHOD

ABSTRACT

This work aims to evaluate the possibility of using the "tape method" and color table to assess the nitrogen (N) nutritional status on rice cultivation in real time and determine the relationship among values and those determined by SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) chlorophyll meter. For this purpose, an experiment was carried out with four irrigated rice cultivars combined with six Nitrogen doses of 0, 50, 100, 150, 200, and 400 kg ha⁻¹. The experiment was in randomized blocks design with split plots and five replications. At 25, 40, and 55 days after transplantation, SPAD index variables, the measuring tape reading, the color table reading, and N content in leaves dry matter were determined. There was no significant interaction among N doses and cultivars, and cultivars for the SPAD readings, by the measuring tape reading, the color table reading, and leaf N contents. For three seasons, SPAD methods, measuring tape, and color table presented sensitivity for assessing the N from the plant. The method of "measuring tape" and the use of the color table allow estimating nitrogen status of rice plants in real time and produces values correlated with the SPAD reading with the advantage of the lowest cost.

Keywords: *Oryza sativa* L., nutrition, diagnosis.

INTRODUÇÃO

Na cultura do arroz o nitrogênio (N) tem marcante efeito. Vários autores sustentam que a eficiência de uso de N pela cultura do arroz é baixa, situando-se em torno de 40% (Yoshida, 1981; Cassman, et al., 2002; Fageria et al., 2007).

A ineficiência do uso do N pelas culturas tem contribuído para aumentar o teor de N reativo nos oceanos e daí para a atmosfera sob a forma de N₂O, contribuindo para o aumento dos gases formadores do efeito estufa (Galloway et al., 2008). Portanto, o manejo adequado da nutrição nitrogenada é

fundamental para aumentar a produtividade, reduzir custo de produção e proporcionar menor risco de poluição ambiental. No entanto, muitos trabalhos desenvolvidos para o aumento da eficiência do uso de N (Neto et al., 1999; Neves et al., 2004; Mateus et al., 2006; Souza et al., 2010) objetivam principalmente definições de doses e época de aplicação de N, sem considerar o nitrogênio do solo inicial e demanda da cultura.

A exigência do arroz por N é variável dependendo de diversos fatores, entre os quais as estações, anos e disponibilidade de N pelo solo (Dobermann et al., 2003). Devido a essa complexidade e mais as interações entre os processos de transformação de N no solo e as variações de condições climáticas, não é comum utilizar um método laboratorial que permita avaliar adequadamente a capacidade do solo em fornecer N às plantas. Isso dificulta prever a quantidade de N a ser aplicado na cultura com base na análise do solo.

A alternativa é usar o estado nutricional nitrogenado da planta como ferramenta auxiliar no manejo do N nas culturas (Fontes, 2011). Uma estimativa rápida e precisa do N em condições de campo seria ideal para avaliar o estado de N e estabelecer estratégias de melhoria nas adubações em cobertura de N na cultura do arroz. Os orizicultores precisam de informações em tempo real sobre a necessidade de N na planta, a fim de alcançar altas produtividades e aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados. Para caracterização do estado nutricional das plantas têm sido procurado meios indiretos como alternativa para a análise foliar clássica, onde é determinada a concentração de N no tecido foliar. Entre os métodos indiretos, o teor de clorofila ou o verde da folha tem sido usado (Fontes e Araújo, 2007). A concentração de clorofila tem correlações positivas com a taxa fotossintética e com o teor de nitrogênio na planta (Fontes, 2011).

Vários autores têm relatado que a medição do verde da folha com o SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) correlaciona significativamente com o teor de N em diferentes culturas como arroz (Balasubramanian et al., 2000), tomate (Guimarães et al., 1999), batata (Gil et al., 2002; Silva et al., 2009), milho (Godoy et al., 2007), pimentão (Godoy et al., 2003), feijão (Barbosa Filho et al., 2008). O índice do SPAD para o manejo da adubação nitrogenada em arroz tem sido utilizado, porém o custo do equipamento (US\$ 1300,00) torna-se um fator limitante. Como alternativa tem sido propostos métodos baseados em

tabela de cores para arroz (Balasubramanian et al., 1999; Witt et al., 2005) e batata (Fontes e Silva, 2006).

O *International Rice Research Institute* (IRRI) desenvolveu uma tabela de cores, a partir de um protótipo japonês, com a finalidade de medir a necessidade de nitrogênio na cultura do arroz e, assim, obter máxima produtividade. A tabela de cores é uma ferramenta inovadora e de baixo custo (US\$ 0,30) e permite avaliar em tempo real a necessidade de N na planta de arroz (Balasubramanian et al., 1999). É fabricada de plástico rígido com quatro ou seis cores que variam da cor verde-amarelo a verde escuro. A tabela apresenta cor padronizada e correspondência entre as cores para o espectro de reflectância das folhas de arroz e textura que lembra as nervuras da folha do arroz. Essa tabela de cores, ainda é pouco difundida por orizicultores brasileiros e poucos trabalhos científicos foram realizados na avaliação de sua eficácia em cultivares nacionais.

Com o propósito de ter-se uma ferramenta de fácil manuseio e que otimiza o uso de N na cultura do arroz, com altos níveis de rendimento, recentemente foi desenvolvido um método nos Estados Unidos, que pode ter custo zero, baseado no uso de uma fita métrica de 36 polegadas para o manejo da adubação nitrogenada em arroz (Stevens et al., 2008). Basicamente, o “método da fita métrica” consiste em contar o número de polegadas visíveis, estando o observador situado acima das plantas. Esse método não foi avaliado em arroz transplantado e nem com cultivares brasileiras.

Assim, objetivou-se avaliar a possibilidade de usar o “método da fita métrica” e tabela de cores na avaliação do estado nutricional de nitrogênio da cultura do arroz em tempo real e determinar a relação entre os valores obtidos e aqueles determinados pelo SPAD, para uso pelos orizicultores.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Aeroporto, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola 2008/09, no município de Viçosa-MG, situada nas coordenadas geográficas: 20°45'S e 42°50'W(Gr) e altitude aproximada de 650m. Na Figura 1, são apresentados os dados de temperatura (máxima e mínima), precipitação de chuva e umidade relativa, no período referente ao ciclo da cultura.

O experimento foi realizado em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa com as seguintes características química e granulométrica: pH= 4,9; MO= 3,2 dag kg⁻¹; P= 6,3 mg dm⁻³; K= 48 mg dm⁻³; Ca= 1,8 cmol_c dm⁻³; Mg 0,5 cmol_c dm⁻³; H + Al= 5,1 cmol_c dm⁻³; Zn= 7,3 mg dm⁻³; Cu= 3,6 mg dm⁻³; Fe= 125 mg dm⁻³ e Mn= 45 mg dm⁻³. A análise granulométrica apresentou 75 dag kg⁻¹ de argila, 16 dag kg⁻¹ de silte e 9 dag kg⁻¹ de areia. As análises química e granulométrica foram realizadas de acordo com o manual e métodos de análise do solo da Embrapa (1997), no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

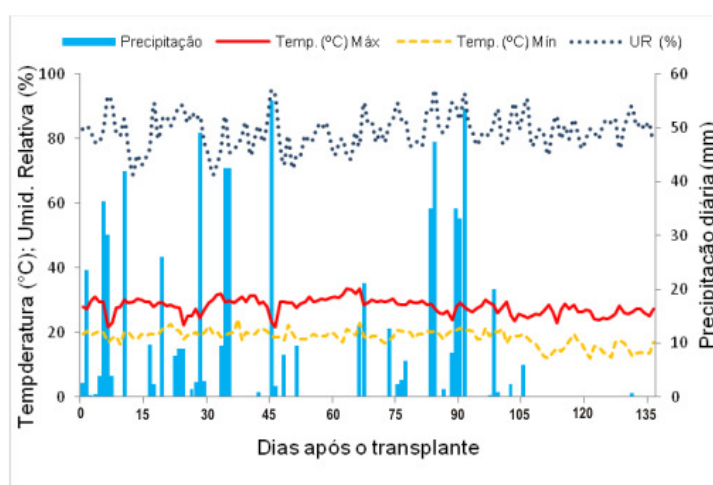


Figura 1. Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, a partir da data de plantio até a colheita, Viçosa, MG, Safra 2008/2009.

Fonte: Estação meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições com esquema de parcelas subdivididas, sendo que as subparcelas foram compostas por seis fileiras de 5 m. Os tratamentos consistiram de quatro cultivares de arroz irrigado, indicadas para clima tropical: BRS Alvorada, BRS Jaçanã, BRS Tropical e Metica1 e seis doses de N: 0, 50, 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹. As doses de N, tendo como fonte a uréia, foram aplicadas 1/3 no momento do transplante, 1/3 aos 27 dias e 1/3 aos 47 dias após o transplante (DAT).

O solo foi preparado com uma aração e o destorroamento foi realizado com enxada rotativa. A adubação de base foi realizada antes do transplante de acordo com interpretação da análise de solo, com superfosfato simples e cloreto de potássio. Os canteiros foram construídos, medindo 10 cm de altura

1,0 m de largura e 10 m de comprimento. No dia 03 de novembro foi realizado a semeadura com 1000 sementes pré-germinada por m². O transplante foi realizado no dia 30 de dezembro de 2008 quando as mudas tinham 30 dias. O espaçamento foi 0,2 x 0,2m entre covas e três plantas por cova.

As avaliações foram realizadas aos 25, 40, 55 dias após o transplante (DAT), sendo que aos 40 DAT correspondeu ao início da fase reprodutiva da cultura. Foi utilizado um clorofilômetro SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development*), da Minolta, uma tabela de cores (*Leaf Color Chart*), do IRRI e uma fita métrica graduada em polegadas.

A leitura com o clorofilômetro SPAD-502 foi realizada na última folha completamente expandida da planta, sendo amostradas três folhas por subparcelas. Em cada folha, foram feitas duas leituras, uma a cerca de um terço e a outra dois terços da distância do ápice para a base da folha. Após a leitura com o SPAD, as três folhas foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada, a 60°C até massa constante. Cada amostra foi moída e analisada quanto o teor de N, utilizando-se o reagente de Nessler (Jacson, 1958).

Logo após a leitura com o clorofilômetro, a fita métrica foi esticada no centro do intervalo entre duas linhas. A leitura, pelo avaliador, foi realizada posicionando-se na linha adjacente inclinando ligeiramente a cabeça sobre as linhas até visualizar toda a fita. Em seguida, realizou-se a contagem do número de polegadas visíveis na fita métrica (Fig. 2). Foram realizadas duas leituras em cada subparcela.

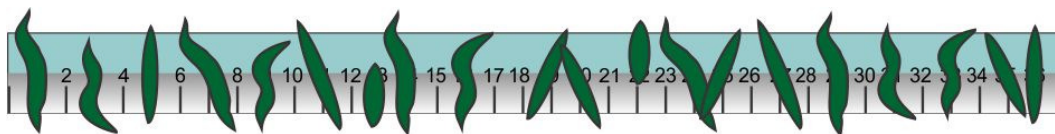


Figura 2. visualização da fita métrica em que é visualizados a leitura de 16 números.

Por último realizou-se a leitura utilizando a tabela de cores (Fig. 3) de modo aleatório nas folhas de três plantas, sendo utilizadas para o procedimento, folhas completamente expandidas e livre de doença ou danos. Colocou-se a folha da planta na parte central da tabela, onde foi realizada a comparação da cor da folha, com as cores da tabela. Durante toda a coleta de dados evitou-se que a luz solar dificultasse a leitura e, consequentemente, afetasse os dados.

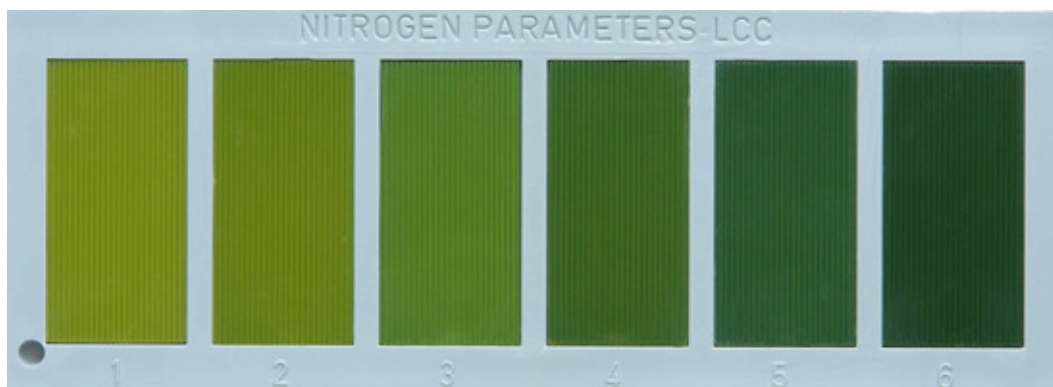


Figura 3. Tabela de cores desenvolvida pelo IRRI, para monitorar o estado de N na planta de arroz.

$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + (tb)_{ij} + t'_k + (tt'')_{ik} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} é o efeito da i -ésima dose de N, na j -ésima repetição e na k -ésima cultivar, μ é a média geral; t_i , é o efeito i -ésima dose de N, na parcela; b_j é o efeito da repetição j ; $(tb)_{ij}$ é o erro em nível de parcelas; t'_k é o efeito do tratamento Cultivar, em nível de subparcelas; $(tt'')_{ik}$ é o efeito da interação de dose N x Cultivar; e e_{ijk} é o erro experimental em nível de subparcelas.

Para interpretação dos dados, realizou-se a análise de variância utilizando o teste F ($p \leq 0,05$), para verificar existência de interação entre cultivares e doses de N. As doses de N foram analisadas por análises de regressão.

O valor do nível crítico das variáveis determinada com a fita métrica, SPAD, tabela de cor ou teor de N foliar, foi estimado com a dose de nitrogênio que proporcionou 95% da máxima produtividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observado efeito significativo de cultivar e da interação entre doses de N e cultivares para o índice SPAD, leitura na fita métrica, leitura na tabela de cor e nos teor de N foliar. Por outro lado, todas estas características foram influenciadas pelas doses de N. Os valores obtidos para essas três variáveis, nas três épocas (25, 40 e 55 DAT), apresentaram alta correlação com as doses de N aplicadas (Tabela 1).

O teor de N na folha, associado a dose de N que propiciou 95% da máxima produtividade, variou entre 3,13 a 3,53 dag kg⁻¹, dependendo da época de amostragem (Tabela 2). O teor de N foliar na cultura do arroz considerado

adequado está entre 3,1 e 4,0 dag kg⁻¹ (Malavolta e Kliemann, 1985). Nas mesmas condições, o índice SPAD variou de 37 e 39. Os valores obtidos na tabela de cores foram de e 3,5. Pit et al. (2007) encontraram o valor de 36 unidades SPAD estimado para a maior produtividade. Peng et al. (1996) relatam que o valor SPAD 35 é adequado para determinar o momento ótimo de cobertura de N para maioria das cultivares de arroz da raça índica. Valores semelhantes foram obtidos por Islam et al. (2009) avaliando a utilização do SPAD e a tabela de cores no manejo da adubação nitrogenada e, concluíram que os valores críticos são 35 para o Índice SPAD e entre 3,0 e 3,5 para valores da tabela de cor.

Segundo Fontes (2011), o aumento do índice SPAD está relacionado com o aumento na intensidade da cor verde da folha e mede de forma indireta o teor de clorofila na planta, indicando o estado nutricional do nitrogênio.

Tabela 1. Coeficientes de correlação das características leitura na fita métrica, Índice SPAD e teor de N foliar com doses de N, nas três épocas após o transplante (DAT).

Índices	Coeficiente de correlação (r)		
	25 DAT	40 DAT	55 DAT
Fita métrica (nº polegadas)	0,97**	0,99**	0,99**
Índice SPAD	0,98**	0,95**	0,91**
Teor de N foliar (dag kg ⁻¹)	0,93*	0,99**	0,99**
Tabela de cores	0,84*	0,63**	0,55**

Obs.: ** e * significativo ao 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

A leitura com a fita métrica, associada a dose de N que propiciou 95% da máxima produtividade, variou entre 22 a 9, dependendo da época de amostragem, sendo 12 aos 40 DAT (Tabela 2). Em estudo conduzido na região do delta do rio Mississippi, USA, Stevens et al. (2008), observaram que não houve aumento de produção quando a leitura na fita métrica realizada no estádio R1 (início fase reprodutiva) foi inferior a 13. Características morfofisiológicas da planta de arroz, como Índice de área foliar, arquitetura da folha e perfilhamento de uma determinada variedade de arroz podem influenciar os resultados obtidos pelo método da fita métrica, justificando assim a calibração deste método.

Relações lineares significativas foram observadas entre a leitura na fita métrica e índice SPAD (Figura 4a), leitura na fita métrica e teor de N na folha (Figura 4b) e entre índice SPAD e teor de N na folha (Figura 4c). Por estes resultados, evidenciou-se que o teor de N nas folhas, bem como os valores

SPAD variaram nas diferentes épocas. Essa variação pode ter como causa a espessura e peso específico da folha. Em estudos de Peng et al. (1993) e Pocojeski et al. (2007) foi encontrado coeficiente de correlação positivo e significativo entre teor de N e leitura SPAD em folha de arroz.

Tabela 2. Valor do nível crítico das variáveis determinadas pela fita métrica, SPAD e N foliar nas três épocas após o transplante (DAT), na cultura do arroz.

Índices	DAT		
	25	40	55
Fita métrica (número em polegadas)	22	12	9
Índice SPAD	37,2	37,9	38,9
Teor de N foliar (dag kg ⁻¹)	3,13	3,53	3,13
Tabela de cores	3	3	3,5

Foram observadas ainda, relações lineares significativas entre os índices SPAD e leitura na tabela de cores, tabela de cores e leitura na fita métrica e leitura na tabela de cores e teor de N foliar (Figura 5). Em trabalho realizado por Silva et al. (2007), também foi observado que os índices obtidos pelo clorofilômetro e pela cartela de cores relacionaram-se com as doses de N aplicadas, mostrando-se eficientes na avaliação do estado nutricional do arroz na fase vegetativa, com possibilidades de separação de plantas com deficiência ou com nível adequado deste nutriente.

Utilizando a tabela de cores Yang et al. (2003) obtiveram dados que relacionaram estreitamente com os valores do índice SPAD. Entretanto, Pocojeski et al. (2007), não encontraram correlação entre as leituras do clorofilômetro e da cartela de cores, indicando que o uso da cartela de cores não substitui o clorofilômetro para todas as cultivares. Neste sentido, Witt et al. (2005), relata que o valor crítico na tabela de cor depende do grupo varietal (puras, híbridas, tipo de planta) e técnicas de cultivos como a densidade de plantio. Portanto, carece de ajuste para cima ou para baixo, com base na cor da folha e localidade. Pelos resultados obtidos por Shukla et al. (2004), as leituras SPAD e tabela de cores de todos os genótipos apresentaram alta correlação positiva ($r= 0,84$ a $0,91$) e a pela análise de regressão linear obtiveram relação significativa entre o valor obtido pela tabela de cor e o Índice SPAD em todas as fases de crescimento. Neste sentido, Witt et al. (2005) advertem que na utilização da carta de cores o valor do nível crítico pode ser

variável, mas pode ser ajustado de modo que o tabela de cor não terá que ser mudada.

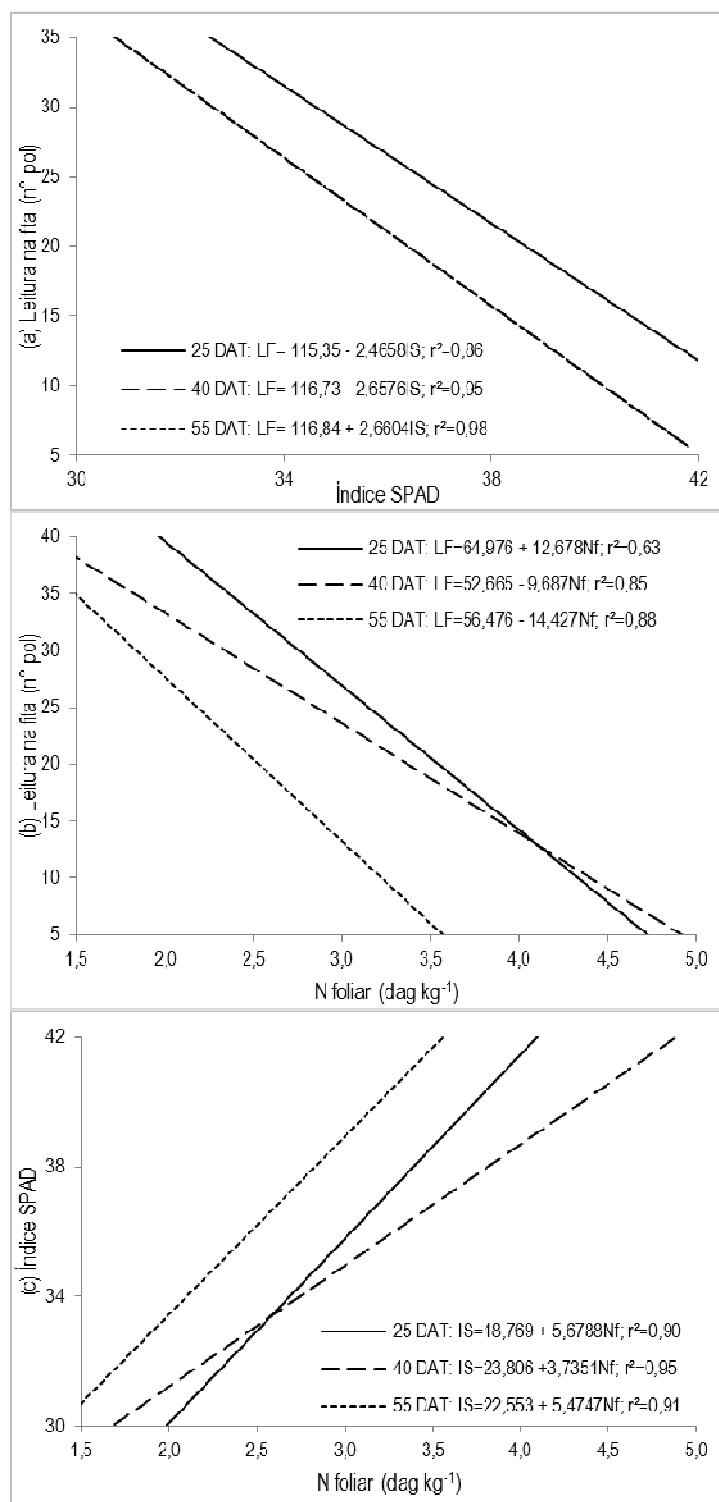


Figura 4. Relações entre índice SPAD x leitura na fita (a), N foliar x leitura na fita (b) e N foliar x índice SPAD (c) obtidos aos 25, 40 e 55 dias após o transplante em quatro cultivares de arroz irrigado.

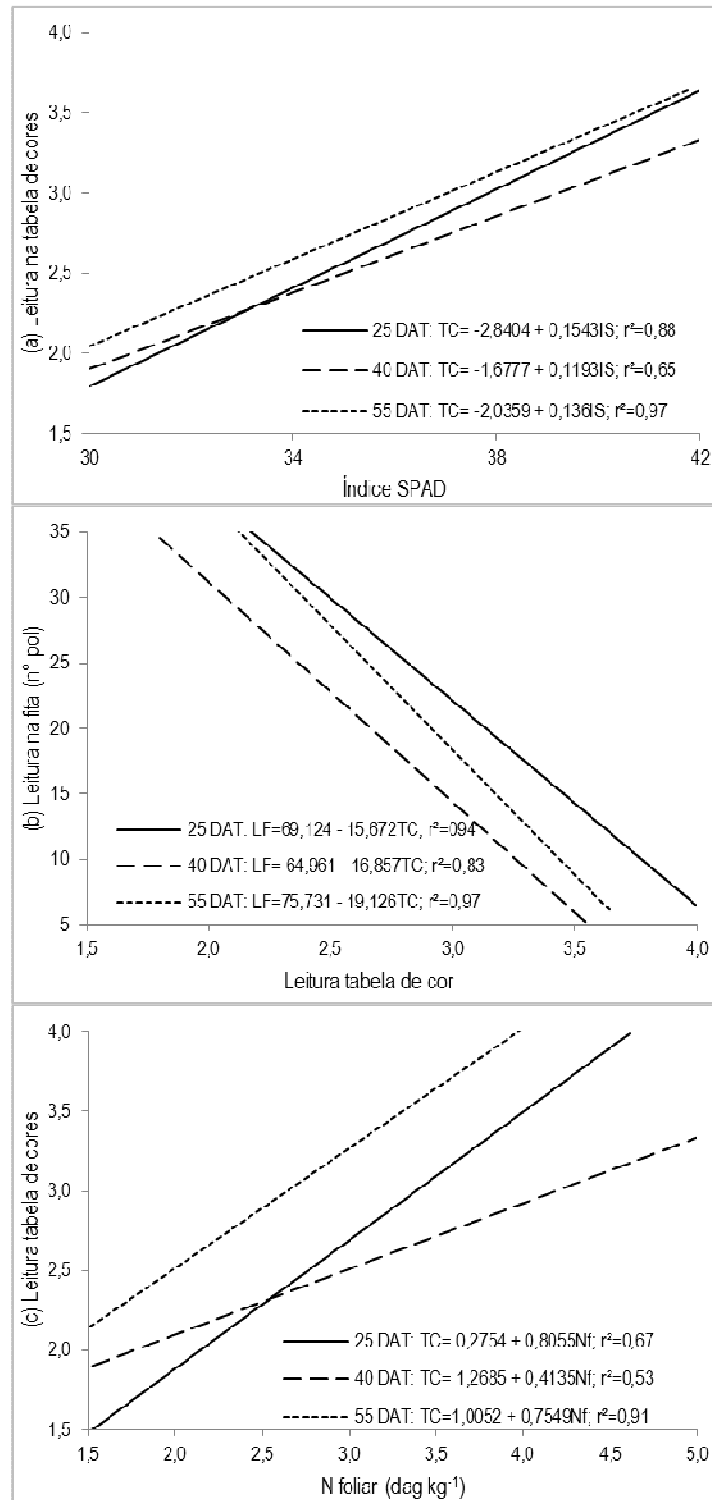


Figura 5. Relações entre índice SPAD x leitura na fita (a), N foliar x leitura na fita (b) e N foliar x tabela de cores SP (c) obtidos aos 25, 40 e 55 dias após o transplante em quatro cultivares de arroz irrigado.

CONCLUSÕES

Os métodos da “fita métrica” e da tabela de cor são ferramentas apropriadas para avaliar o estado de nitrogênio na cultura do arroz irrigado e apresentaram valores significativamente correlacionados com a leitura SPAD e status de N foliar.

LITERATURA CITADA

BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; ABDULRACHMAN, S. On farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.53, n.1, p.59-69. 1999.

BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A.C.; CRUZ, R.T.; THIYAGARAJAN, T.M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S.; HAI, L.H. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, 2000, 8p.(International Rice Research Notes, 25.1)

BARBOSA FILHO, M.P; COBUCCI, T; FAGERIA, N.K. MENDES, P.N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p.1843-1848. 2008.

CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. Agroecosystems, Nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. **Ambio**, v.31, n.2, p.132-40. 2002.

DOBERMANN, A.; WITT, C.; ABDULRACHMAN, S.; GINES, H.C.; NAGARAJAN, R.; SON, T.T.; TAN, P.S.; WANG, G.H.; CHIEN, N.V.; THOA, V.T.K.; PHUNG, C.V.; STALIN, P.; MUTHUKRISHNAN, P.; RAVI, V.; BABU, M.; SIMBAHAN, G.C.; ADVIENTO, M.A.A.; BARTOLOME, V. Estimating indigenous nutrient supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. **Agronomy Journal**, v.95, n.1, p.924-35. 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1029-1034, 2007.

FONTES, P.C.R. **Nutrição Mineral de Plantas: Avaliação e Diagnose**. Viçosa: Arka, 2011. 296p.

FONTES, P.C.R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 148p.

FONTES, P.C.R; SILVA, M.C.C. Proposição de uma tabela de cor (UFV 80-Monalisa) para avaliação do estado de nitrogênio da batateira. **Batata Show**, v.16, p.16, 2006.

GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A.R.; ERISMAN, J.W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J.R.; MARTINELLI, L.A.; SEITZINGER, S.P.; SUTTON, M.A. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. **Science**, v.320, p.889–892, 2008.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p.611-615, 2002.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1049-1056, 2003.

GODOY, L.J.G.; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLAS BÔAS, R.L. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciencia Rural**, v.37, n.1, p.38-44, 2007.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V, V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.

ISLAM, M.S.; BHUIYA, M.S.U.; RAHMAN, S. M.; HUSSAIN, M. Evaluation of spad and lcc based nitrogen management in rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh, **Journal of Agricultural Research**, n.34, n.4, p.661-672. 2009.

JACSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958. 498p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.

MATEUS, G.P.; FELTRAN, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do arroz inundado. **Científica**, v.34, n.2, p.144-149, 2006.

NETO, S.A. et al. Respostas do arroz irrigado ao nitrogênio nas regiões norte/noroeste fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.1, p.227-233, 1999.

NEVES, M.B.; BUZETTI, S.; ARF, O.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em dois cultivares de arroz com irrigação suplementar. **Acta Scientiarum**. v.26, n.4, p.429-435, 2004.

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**, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

PENG, S., GARCIA, F.V.; LAZA, R.C.; SANICO, A.L.; VISPERAS, R.M.; CASSMAN, K.G. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high yielding irrigated rice. **Field Crops Research**, v.47, p.243–252, 1996.

PIT, L.L.; SILVA, L.S.; POCOJESKI, E.; GRAUPE, F.A.; ROSSI, J.B. Adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado por alagamento monitorada pelo clorofilômetro. In: **XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Gramado, 2007. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

Disponível em: http://www6.ufrgs.br/cbcs/trabalhos/trabalhos/trab_6482-1027.pdf. Acesso em: 20 mar. 2011.

POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; MARCHESAN, E.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Nível de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado: uso do clorofilômetro e da cartela de cores. In: **XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Gramado, 2007. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Disponível em: http://www6.ufrgs.br/cbcs/trabalhos/trabalhos/trab_2062-1025.pdf. Acesso em: 04 abr. 2011.

SHUKLA, A.K.; LADHA, J.K.; SINGH, V.K.; DWIVEDI, B.S.; BALASUBRAMANIAN, V.; GUPTA, R.K.; SHARMA, S.K.; SINGH, Y.; PATHAK, H.; PANDEY, P.S.; PADRE, A.T.; YADAV, R.L. Calibrating the Leaf Color Chart for Nitrogen Management in Different Genotypes of Rice and Wheat in a Systems Perspective. **Agronomy Journal**, v.96, p.1606–1621, 2004.

SILVA, L.S.; BOHNEN, H.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; POCOJESKI, E. Resposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrociência**. v.13, n.2, p. 189-194. 2007.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.17-22, 2009.

SOUZA, L.C.D.; SÁ, M.E.; MARTINS, H.S.D.; SILVA, M.P.; ARRUDA, N. Produtividade e qualidade de sementes de arroz em resposta a doses de calcário e nitrogênio. **Revista Trópica – Ciências agrárias e biológicas**. v.4, n.4, p.27-35. 2010.

STEVENS, G.; WRATHER, A.; RHINE, M.; VORIES, E.; DUNN, D. Predicting rice yield response to midseason nitrogen with plant area measurements. **Agronomy Journal**, v.100, n.2, p.387-392, 2008.

WITT, C.; PASUQUIN, J.M.C.A.; MUTTERS, R.; BURESH, R.J. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. **Better Crops** v. 89 n.1, p.36–39. 2005.

YANG, W.; PENG, S.; HUANG, J.; SANICO, A.L.; BURESH, R.J.; WITT, C. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. **Agronomy Journal**, v.95, n.1, p.212-217, 2003.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila: IRRI, 1981. 269p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na cultura do arroz irrigado doses adequadas de nitrogênio (N) tendem a elevar a produtividade, aumentar a absorção dos macronutrientes e melhorar a qualidade dos grãos e aumentar a eficiência de uso do nutriente.

Tecnologias e Inovações simples, de baixo custo e de fácil utilização podem auxiliar a avaliação do estado de N na cultura do arroz em tempo real, e contribuir para utilização racional dos fertilizantes nitrogenados.

Portanto, a utilização de boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes nitrogenados, vem garantir a sustentabilidade econômica e ambiental, proporcionando maior durabilidade das reservas, tendo impacto na diminuição dos custos de produção e menor impacto ambiental nos ecossistemas de várzeas, onde são praticadas a orizicultura irrigada.