

**ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO
SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE
GRÃOS DO ARROZ**

JOSINALDO LOPES ARAUJO

2005

JOSINALDO LOPES ARAUJO

**ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO SOBRE O
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE GRÃOS DE ARROZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Valdemar Faquin

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Araujo, Josinaldo Lopes

Atividade da redutase do nitrato sobre o crescimento e produção de
grãos do arroz./ Josinaldo Lopes Araujo. -- Lavras : UFLA, 2005.

62p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Redutase do nitrato. 2. Nitrato. 3. Arroz. 4. Amônio. 5. Formas de
nitrogênio. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-633.18894

JOSINALDO LOPES ARAUJO

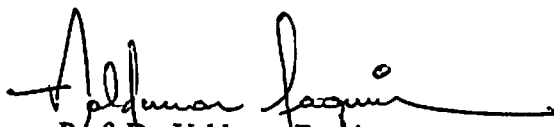
**ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO SOBRE O
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE GRÃOS DE ARROZ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 7 julho de 2005

Prof. Dr. Antônio Alves Soares DAG/UFLA

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes NCA/UFMG- Montes Claros, MG


Prof. Dr. Valdemar Faquin
UFLA
(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus,

por nunca abandonar seus filhos,

OFEREÇO

**Aos meus pais, Izaura Lopes Araujo e José dos Santos Araujo; aos meus irmãos,
Joseildo, Maria José, Josefa, Josean, Judivan e José Julho.**

**Também à minha Tia Maria de Lordes e minha avó Rita Santos, pela confiança
depositada,**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade única.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, professores e alunos que, de alguma forma, ajudaram na realização deste trabalho e também pela amizade e companheirismo.

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço ao Professor Valdemar Faquin, pelos valiosos ensinamentos, paciência, confiança, orientação e apoio fornecidos durante o curso.

Ao professor Antônio Alves Soares, pela co-orientação, pelas valiosas sugestões e credibilidade.

Ao Prof. Luiz Arnaldo Luiz Fernandes, pelas valiosas sugestões.

Ao pós-doutorando Alexsandro Mesquita, pela ajuda prestada e orientação nos ensaios da redutase do nitrato no Laboratório de Fisiologia Vegetal.

Ao laboratorista do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Roberto Lelis Mesquita, e ao bolsista de iniciação científica/CNPq, Fabrício Willian de Ávila, pela ajuda prestada nas análises de material vegetal.

Aos estudantes do Departamento de Fitotecnia Neiva Pereira e Marcus Vanner, pela amizade e grande ajuda na condução do experimento e ao Doutorando Carlos Ribeiro Rodrigues, pela paciência, ajuda na redação do trabalho e pela amizade.

Aos amigos e colegas de curso, Tácio de Oliveira, Bruno Dias e Leandro Flávio Carneiro, Flávio, Regilene, José Roberto e Emanuelle.

Agradeço à Gláucia Alves e Silva, pela confiança e pelos sete anos de amizade; à Robervone Severina, pela credibilidade, amizade e companheirismo e à Verlândia de Medeiros, pela amizade.

Ao Professor Rivaldo Vital, pela amizade e ensinamentos que alicerçaram meus conhecimentos e aos professores José Romilson e Jacob Silva, pela amizade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Formas de absorção e utilização de N pelas plantas	4
2.2 Redutase do nitrato	7
2.3 Regulação e indução da redutase do nitrato.....	11
2.4 Efeitos do nitrato e do amônio sobre a atividade da redutase do nitrato e crescimento das plantas.....	13
2.5 Arroz de terras altas em sistema de plantio direto.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Instalação do experimento e delineamento experimental	16
3.2 Variáveis das plantas avaliadas	18
3.3 Análise estatística	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Produção de matéria seca e perfilhamento.....	20
4.2 Características de Produção e qualidade dos grãos de arroz.....	24
4.3 Atividade da redutase do nitrato e formas de N nos tecidos das plantas.....	31
5 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO.....	55

RESUMO

ARAÚJO, Josinaldo Lopes. Atividade da redutase do nitrato sobre o crescimento e produção de grãos do arroz . 2005. 62p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

O presente trabalho objetivou avaliar, em diferentes estádios de desenvolvimento, o crescimento, a atividade *in vivo* da redutase do nitrato (ARN), os teores de formas de nitrogênio no tecido vegetal e a produção e qualidade de grãos das cultivares de arroz BRS Colosso e BRSMG Conai, sob diferentes relações nitrato:amônio em solução nutritiva. O experimento foi avaliado em quatro estádios de desenvolvimento do arroz. Nos três primeiros estádios, ou seja, aos 26 (início do perfilhamento), 41(diferenciação do primórdio floral) e 70 (início da emissão de panículas) dias após o transplântio (DAT) avaliaram-se a atividade da redutase do nitrato (ARN) em folhas e raízes, os teores de nitrogênio total (N-total), nítrico (N-NO₃⁻), amoniacal (N-NH₄⁺) e orgânico (N-orgânico) na parte aérea e raízes das plantas. Para essas variáveis, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas por cinco relações nitrato (N-NO₃⁻): amônio (NH₄⁺) (100:00, 80:20, 60:40, 50:50 e 40:60) e as subparcelas pelos três estádios de crescimento (26, 41 e 70 DAT) com três repetições. Aos 26, 41 e 70 DAT e na época da maturação dos grãos, avaliaram-se o número de perfilhos (NP), a matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST). Na última época, avaliaram-se também , os componentes da produção (número de panículas por planta, percentagem de grãos cheios, massa de 100 grãos) massa seca de grãos, percentagem de perfilhos férteis e os teores e acúmulo de proteínas nos grãos. Para essas variáveis, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos representados pelas cinco relações nitrato:amônio, com quatro repetições. Todas as repetições foram constituídas por uma parcela com quatro plantas. As cultivares de arroz BRS Colosso e BRSMG Conai apresentaram baixa atividade da redutase do nitrato nas folhas aos 26 DAT, sendo esta ainda menor nas plantas supridas com nitrogênio unicamente na forma de nitrato. Os teores de N-total e N-orgânico não foram afetados pelas relações nitrato:amônio em ambas as cultivares, mas a relação 100:00 elevou os teores de nitrato na parte aérea e raízes das plantas, e de forma mais acentuada aos 26 DAT. As relações

¹ Comitê orientador: Prof. Valdemar Faquin (orientador)-UFLA; Prof. Antônio Alves Soares -UFLA.

nitrito:amônio afetaram significativamente o crescimento e a produção de grãos do arroz. Na relação 100:00 constatou-se um efeito depressivo sobre a produção de matéria seca na fase vegetativa de ambas as cultivares e na fase reprodutiva da BRS Colosso, enquanto que para a relação 40:60, esse efeito foi observado apenas na fase reprodutiva de ambas as cultivares. Observou-se que redução assimilatória de nitrito em plantas de arroz ocorre predominantemente nas folhas.

ABSTRACT

ARAÚJO, Josinaldo Lopes. Nitrate reductase activity on the growth and yield of rice grains. 2005. 62p. Dissertation (master in Soils and Plant Nutrition)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

The present work aimed to evaluate, at different developmental stages, growth, *in vivo* nitrate reductase activity (NRA), the contents of forms of nitrogen in the plant tissue and yield and quality of grains of the rice cultivars BRS Colosso and BRSMG Conai under different nitrate :ammonium ratios in nutrient solution. The experiment was evaluated at four developmental stages of rice. At the first three stages, namely, on 26 (onset of tillering), 41 (differentiation of the floral primordium) and 70 (onset of panicle emission) days after transplanting (DAT), nitrate reductase activity (NRA) in leaves and roots, the contents of total (total-N), nitric (N-NO₃), ammoniac (N-NH₄⁺) and organic nitrogen in the shoot and root of the plants were evaluated. For those variables, the completely randomized design in split plots was utilized, the plots being represented by five nitrate (N-NO₃-): ammonium (N-NH₄⁺) ratios (100:00, 80:20, 60:40, 50:50 and 40:60) and the subplots by the three growth stages (26, 41 and 70 DAT) with three replicates. On 26, 41 and 70 DAT and at the time of grain maturation, the number of tillers (NP), dry matter of the shoot (DMS), roots (DMR) and total (TDM) were evaluated. In the latter time, the yield components (number of panicles per plant, percentage of filled grains, 100-grain mass), dry mass of grains, percentage of fertile tillers and contents and accumulation of protein in grains. For those variables, the experimental design adopted was the completely randomized, the treatments being represented by the five nitrate:ammonium ratios with four replicates. All the replicates were made up of a plot with four plants. The rice cultivars BRS Colosso and BRSMG Conai presented low nitrate reductase activity in the leaves on 26 DAT, this one being still lower in the plants supplied with nitrogen only in the form of nitrate. The contents of total-N and organic N were not affected by the nitrate:ammonium ratios in both cultivars but the 100:00 ratio raised the nitrate contents in the shoot and roots of plants and in a more marked way on 26 DAT. The nitrate:ammonium ratios significantly affected the growth and grain yield of the rice. At the 100:00 ratio depressing effect on the dry matter yield in the vegetative phase of both cultivars and in the

¹ Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquin (orientador)-UFLA; Prof. Antônio Alves Soares -UFLA

reproductive phase of BRS Colosso was found, whereas for the 40:60 ratio, that effect was observed only in the reproductive phase of both cultivars. It was noticed that assimilatory reduction of nitrate in rice plants takes place predominately in leaves.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em todos os continentes por cerca de 120 países (Yokoyama et al., 1999). Constitui-se no principal alimento de quase metade da população mundial, sendo a maior parte de sua produção e consumo localizado no continente asiático (Guimarães & Santana, 1999). No Brasil, a cultura ocupa o terceiro lugar em área colhida e o quarto em produção (Azevedo, 2003).

Diversos são os fatores que influenciam na produção e qualidade do grão de arroz. Na maior parte dos solos onde é cultivado, o nitrogênio é o principal fator limitante à produtividade dessa cultura (Buresh & De Datta, 1991). Segundo Ferraz Junior et al. (1997), o aumento da produtividade do arroz e a melhoria da qualidade nutricional (teor de proteína no grão), a baixo custo, dependem do aumento da eficiência do uso de nitrogênio pela planta, quer seja pela aplicação racional de fertilizante, quer pelo uso de cultivares eficientes na absorção e utilização do N disponível no solo.

O N é o nutriente de maior demanda metabólica e o que mais freqüentemente limita o crescimento vegetal. Faz parte de proteínas, ácidos nucléicos, clorofila e muitos outros importantes constituintes celulares. O N pode estar disponível no solo como $N-NO_3^-$ (nitrogênio na forma de nitrato), $N-NH_4^+$ (nitrogênio na forma de amônio), aminoácidos, peptídeos solúveis e formas complexas insolúveis.

As plantas diferem na sua preferência pelas formas de N, absorvendo-o, primariamente, em formas inorgânicas como $N-NO_3^-$ ou $N-NH_4^+$, via sistema radicular (Williams & Miller, 2001). Em solos aerados, o $N-NO_3^-$ é a principal forma de nitrogênio mineral disponível para o crescimento das plantas (Santos et

al., 2003), enquanto que, em condições de acidez e de inundação, o $N-NH_4^+$ é predominante (Raij, 1991).

O nitrato absorvido, para ser assimilado e desempenhar as suas funções na planta, deve ser necessariamente reduzido a $N-NH_4^+$. Esse processo ocorre em duas fases: a primeira ocorre no citoplasma, onde $N-NO_3^-$ é reduzido a $N-NO_2^-$ (nitrogênio na forma de nitrito), mediada pela enzima redutase do nitrato (RN); a segunda ocorre nos cloroplastos (nas folhas) ou plastídios aclorofilados (nas raízes), onde o $N-NO_2^-$ é reduzido para $N-NH_4^+$, pela atividade da redutase do nitrito (Faquin, 2004).

A RN, assim como outras enzimas envolvidas na assimilação do nitrogênio, pode sofrer alterações durante o desenvolvimento da planta ou órgão analisado (Malavolta, 1980; Bungard et al., 1999). Raghavan & Torrey (1964), citados por Shen (1969) relatam que plantas de *Cattleya* só apresentaram atividade da RN após 60 dias de idade. Por outro lado, Souza (1995) afirma que durante a senescência a atividade desta enzima em plantas de arroz, tende a declinar.

As formas de N disponíveis no meio de cultivo é outro fator de influência na atividade desta enzima. O $N-NO_3^-$ é largamente conhecido como indutor da enzima, uma vez que esta é de síntese induzida pelo seu substrato. Em contrapartida, $N-NO_2^-$ e $N-NH_4^+$ são considerados repressores de sua atividade, possivelmente pelo fato de serem tóxicos às atividades celulares das plantas (Taiz & Zeiger, 2004). Contudo, em especial ao amônio, os mecanismos pelos quais este íon reprime a atividade da redutase do nitrato ainda não estão totalmente esclarecidos.

Em plantas de arroz, a utilização preferencial de uma das formas de nitrogênio em detrimento da outra tem sido assunto de diversos trabalhos, contudo, os resultados ainda são contraditórios. Ao que tudo indica, a utilização

do N-NO_3^- em maiores proporções em relação ao N-NH_4^+ depende da idade da planta (Malavolta, 1980; Soares, 2004). De acordo com Soares (2004), a principal causa do insucesso do cultivo do arroz em sistema de plantio direto, se deve ao fato das plantas de arroz na fase inicial do crescimento não utilizarem o N-NO_3^- , o qual, devido às características deste sistema de cultivo, seria a forma de N mineral predominante na camada superficial (0-10 cm).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivos avaliar a atividade da redutase do nitrato, o crescimento e a produção de grãos de plantas de arroz cultivadas sob diferentes proporções de nitrato e amônio, em solução nutritiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Formas de absorção e utilização de N pelas plantas

O nitrogênio é, ao lado do carbono, o nutriente mais exigido pelas plantas superiores (Tischner, 2000). O nutriente é absorvido predominantemente pelas raízes nas formas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ . Em geral, o N-NO_3^- é a forma mais absorvida, porém, isso depende da espécie de planta e fatores ambientais como pH, temperatura e teor de carboidratos nas raízes (Santos, 2003). Em valores de pH elevado, a absorção de N-NO_3^- é reduzida, provavelmente devido à inibição competitiva com o ânion OH^- , e, em valores de baixo pH, a absorção de N-NH_4^+ é reduzida de maneira análoga.

Duete et al. (2003) relatam que a idade da planta tem influência na preferência pela forma de N a ser absorvida. Assim, o íon amônio (NH_4^+) é absorvido, preferencialmente, nos primeiros estágios e o íon nitrato (NO_3^-) nos estágios finais do ciclo da cultura. Para plantas originadas de ambientes inundados, como o arroz, a maior disponibilidade de N-NH_4^+ em relação ao nitrato pode explicar em parte sua absorção preferencial por essa cultura, mas não explica para as demais. Considerando que a redução de nitrato requer poder redutor na forma de NADH ou NADPH (Taiz & Zeiger, 2004), produzidos pelo metabolismo celular, pode-se sugerir que a baixa taxa metabólica na fase inicial de crescimento, limitando a produção de poder redutor, seja uma das causas da utilização preferencial de amônio pelas plantas nesse estágio de crescimento.

A absorção de nitrato ocorre por processo ativo secundário do tipo simporte, contra um potencial eletroquímico, com transporte simultâneo de H^+ e NO_3^- para dentro das células. O transporte de NO_3^- ocorre por meio de uma força protomotora que explica o aumento na velocidade de absorção de N-NO_3^- quando o pH da solução do solo decresce. Uma relação de $2\text{H}^+ : 1\text{NO}_3^-$ é observada para

a absorção no sistema de membranas, sendo o custo energético para esta absorção de 2 moles de ATP para cada 1 mol de N-NO_3^- absorvido pelas plantas (Fernandes & Rossiello, 1995). A respeito da absorção de N-NH_4^+ , os autores relatam que ela ocorre por via de sistema uniporte, por processo passivo. Em algumas gramíneas, o suprimento de nitrato e amônio, em quantidades equivalentes, resultou, primeiramente, na absorção do amônio, sendo a absorção do nitrato significativa apenas quando as concentrações do amônio eram muito baixas.

Brumme et al. (1992), citados por Baptista (1995), estudando diferenças na absorção de nitrato e amônio por três variedades de *Fagus silvatira* L., verificaram que o amônio era absorvido mais rapidamente e 27% a mais que o N-NO_3^- .

Em plantas de arroz, Yoshida (1981) observou uma absorção preferencial de amônio em relação ao nitrato, na solução que contém ambos, embora o oposto ocorresse para outras espécies. O autor revela ainda que raízes destacadas de plântulas de arroz absorvem amônio de cinco a vinte vezes mais rápido do que o nitrato. Segundo o autor, com planta intacta, o arroz também absorve amônio mais rapidamente que o nitrato. Por outro lado, tecidos de plantas de arroz acumulam nitrato quando a concentração dessa forma na solução é alta, sugerindo que a planta de arroz possui baixa capacidade para reduzir o nitrato a amônio.

Yamada & Abdalla (2000) relatam que plantas de milho nos estádios iniciais de crescimento utilizam, preferencialmente, o amônio e, nos estádios finais, o nitrato, sendo que os autores não dão maiores informações sobre esse fato.

Além do gasto de energia durante seu processo de absorção, a assimilação de nitrato por se tratar de um processo de redução, também exige

considerável demanda de energia metabólica, a qual é fornecida por agentes redutores NADH ou NADPH produzidos durante o metabolismo celular. Embora exija menor quantidade de energia quando comparado à assimilação do nitrato, altas concentrações de amônio no meio de cultivo podem ser tóxicas às plantas, dependendo da espécie envolvida e das condições ambientais (Cramer & Lewis, 1993a).

O maior desenvolvimento de plantas de milho cultivadas na presença de amônio se deve, segundo Cramer & Lewis (1993b), à maior capacidade fotossintética das plantas C_4 (como o milho) em relação às C_3 devido ao maior suporte de esqueletos de carbono fornecidos para a assimilação do amônio nas raízes. Por outro lado, para a cultura do trigo (C_3), a redução no acúmulo de massa seca das plantas nutridas com amônio se deve à menor assimilação deste nutriente e, conseqüentemente, pelo efeito tóxico do mesmo no sistema radicular das plantas.

O amônio, em geral, não é armazenado nas células ou é encontrado em pequenas quantidades. Geralmente, o efeito tóxico ocorre quando há grande quantidade desse íon livre nos tecidos. Esta toxidez, segundo Cramer & Lewis (1993a), se deve a uma inibição no transporte de elétrons nos cloroplastos, não permitindo a fotofosforilação e, dessa forma, diminuindo a taxa de crescimento em algumas espécies, como o trigo. Baptista (1995) afirma que, em geral, os efeitos tóxicos do amônio ocorrem quando sua concentração no tecido vegetal atinge cerca de $0,15 \text{ mmol L}^{-1}$. Em concentrações superiores a $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$, o efeito do amônio é letal.

Em alguns casos, o amônio pode causar um desbalanço nutricional pela inibição competitiva no processo de absorção com outros cátions, como o Ca^{+2} e o K^+ (Jakobs & Gülpen, 1997). Em plantas de tomate cultivadas sob diferentes temperaturas e relações nitrato:amônio na solução nutritiva, Ganmore-Neumann

& Kafkafi (1980) observaram que independentemente da temperatura estudada, os teores de K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} foram menores quando a fonte de N na solução nutritiva foi exclusivamente o NH_4^+ .

A absorção de N mineral altera o pH extracelular. Dependendo da forma de nitrogênio disponível para as raízes, pode ocorrer uma acidificação (pela absorção do $N-NH_4^+$) ou uma alcalinização (pela absorção do $N-NO_3^-$) na solução de crescimento das plantas (Nye, 1981; Magalhães & Huber, 1989; Baptista 1995; Andrade et al., 2001). A alcalinização ocorre devido à extrusão de OH^- durante a absorção do $N-NO_3^-$. A acidificação do meio externo ocasionada pela absorção de $N-NH_4^+$ deve-se ao fato do amônio gerar um excesso de cargas positivas no citoplasma celular e, para mantê-lo eletricamente neutro, o mecanismo de extrusão de prótons entra em atividade, causando um efluxo de H^+ , provocando uma acidificação do meio externo (Raven & Smith, 1976). Segundo Malavolta et al. (1997), a acidez gerada pela absorção do N amoniacal pode ser devido, também, à dissociação do H_2CO_3 respiratório.

2.2 Redutase do nitrato

De acordo com Souza (1995), todas as RN de organismos eucarióticos contêm três grupos prostéticos (grupos não protéicos) na proporção estequiométrica de 1:1:1, sendo: flavina adenina dinucleotídeo (FAD), citocromo e cofator molibdênio (Cof. Mo) (complexo molibdênio associado com uma metade orgânica, pterina, formando complexo molibdopterina). Durante a redução do nitrato, o fluxo de elétrons ocorre da forma ilustrada na figura 1.

De acordo com Hoff et al. (1992), três isoformas de RN têm sido reconhecidas em organismos eucarióticos com base na utilização do poder redutor NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo). A maioria das plantas superiores e algas contêm uma NADH específica RN (EC 1.6.6.1). A NAD(P)H biespecífica

RN (EC 1.6.6.2) tem sido identificada em um limitado número de plantas superiores. A terceira isoforma é a NADPH específica RN (EC 1.6.6.3), encontrada apenas em fungos. Algumas plantas contêm apenas uma isoforma, enquanto outras contêm as duas. Em plantas de arroz, ocorre as duas isoformas, contudo, de acordo com Shen et al. (1969), a isoforma NADH específica se encontra em maiores níveis em relação a biespecífica NAD(P)H.

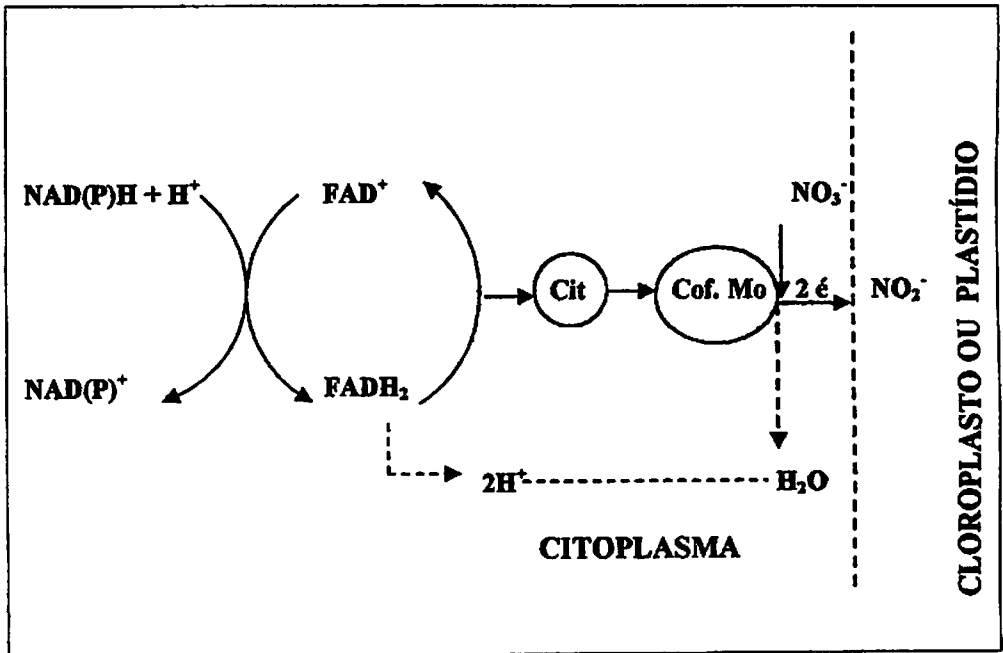


FIGURA 1 Grupos prostéticos da redutase do nitrato envolvidos no processo de redução assimilatória do nitrato (Adaptado de Marschner, 1995).

A redutase do nitrato é a primeira enzima na via de assimilação de nitrato pelas plantas e apresenta-se, provavelmente, como a etapa limitante e reguladora desse processo. Essa enzima é considerada um fator limitante para o crescimento,

desenvolvimento e produção de proteína em plantas que utilizam o nitrato como fonte de N (Souza, 1995).

Embora a RN esteja localizada no citoplasma, há evidências de que pode ocorrer também na superfície externa da membrana plasmática (Tischner, 2000; Siddiqi & Glass, 2002). De acordo com Ward et al. (1989), uma possível função da RN associada à membrana plasmática seria o transporte de nitrato através da membrana.

Considerando que a RN esteja localizada no citoplasma, a fonte primária de energia para a regeneração do NADH seria proveniente, da oxidação de açúcares (Beevers & Hageman, 1980). Provavelmente, o NADH citoplasmático deriva da atividade da gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase citoplasmática, que produz NADH por meio da oxidação do gliceraldeído 3-fosfato a 1,3 bifosfoglicerato na glicólise (Taiz & Zeiger, 2004).

Em tecidos fotossintetizantes, o poder redutor requerido para a atividade da RN é derivado do NADPH produzido nos cloroplastos pela etapa luminosa da fotossíntese. Por meio de sistemas de transporte especiais de elétrons entre cloroplasto e o citossol, os elétrons do NADPH reduzem o NAD^+ citoplasmático a NADH que, dessa maneira, poderá ser usado pela RN e outras reações de redução do citossol (Hageman & Bellow, 1990).

A luz é conhecida como estimuladora rápida da atividade da RN, enquanto que, com a transferência da planta para o escuro, sua atividade decresce rapidamente. Atualmente, evidências demonstram que a fosforilação está envolvida nessa modulação, sendo que duas ou três quinases dependentes de cálcio, com certa especificidade para a RN, estão envolvidas (Tischner, 2000). Além disso, como relata Faquin (2004), a falta de elétrons nos cloroplastos à noite, necessários à redução do nitrito pela enzima redutase do nitrito, promoveria um acúmulo de NO_2^- no tecido, regulando a atividade da RN pelo seu produto.

Em folhas de milho, Camargos (2002) afirma que a regulação da RN a partir de sinais ligados à presença e ausência de luz envolve expressão gênica, síntese de RN e fosforilação/desfosforilação desta enzima.

A parte da planta é um fator que influencia a RN. Em geral, a atividade da redutase do nitrato é mais alta nas folhas em relação às raízes (Souza, 1995). Conforme Ouko (2003), a RN tem sido extraída de diferentes tecidos tais como pecíolos, cotilédones, cultura de células, caules e raízes. Contudo, a atividade da enzima que é extraída destes tecidos varia de alguns traços até $60 \mu\text{moles NO}_2 \text{g}^{-1}$ massa fresca (MF) $^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Segundo este autor, a localização da RN nas plantas parece estar relacionada a uma adaptação ecológica. Assim, espécies pioneiras de rápido crescimento tenderiam a assimilar nitrogênio nas folhas, enquanto que espécies de crescimento lento (espécies climax) assimilariam nitrogênio nas raízes (Brent et al., 2002). Oaks (1994) e Druaf et al. (2000) afirmam que a disponibilidade de poder redutor, de energia e esqueletos de carbono produzidos pela fotossíntese são os responsáveis pela maior ou menor atividade da RN nas folhas.

Campbell (1988) afirma que algumas plantas têm pouca ou nenhuma atividade da RN nas folhas, estando a atividade presente nas raízes. Ensaios *in vivo* realizados por Delú Filho et al. (1997) em pecíolos, lâminas foliares e raízes de plantas jovens de seringueira, revelaram que a raiz é o órgão responsável pela redução assimilatória do nitrato, sendo as demais partes da planta ausentes da atividade da RN. Em arroz, Santos et al. (2004) encontraram uma maior atividade da redutase do nitrato nas folhas, os quais observaram também diferença entre as cultivares avaliadas.

A idade da planta é outro fator de grande influência na atividade das enzimas envolvidas no processo de redução e assimilação de N. Durante a senescência da planta, a atividade da redutase do nitrato é diminuída primeiro,

[REDACTED]

enquanto que a glutamina sintetase (GS) e a glutamato sintase (GOGAT) permanecem ativas por um período mais longo, provavelmente, devido ao N-NH_4^+ produzido durante a fotorrespiração (Storey & Beevers, 1978).

Malavolta (1980) relata que o arroz, tanto o de sequeiro quanto o irrigado, nas duas ou três primeiras semanas de vida, quando cultivado em solução contendo N-NO_3^- como única fonte de N, se desenvolve muito pouco, apresentando sintomas típicos de deficiência de N, o que não acontece quando o N-NH_4^+ é a forma de nitrogênio presente. Segundo esse autor, com o passar do tempo, a planta começa a se desenvolver e suas folhas, antes amareladas, tornam-se verdes, indicando, provavelmente, síntese e funcionamento da redutase do nitrato.

2.3 Regulação e indução da redutase do nitrato

Como já comentado em seções anteriores, a absorção e a utilização de NO_3^- é um processo que consome alta quantidade de energia. A absorção e o transporte de nitrato, bem como sua redução do estado de oxidação +5 (NO_3^-) para -3 (NH_4^+), consomem uma substancial parcela dos elétrons originados da fotossíntese (Raven et al., 1992). Além disso, os produtos intermediários da assimilação - N-NO_2^- e N-NH_4^+ , são potencialmente tóxicos à planta mesmo em baixas concentrações, como já comentado. Dessa forma, as plantas superiores desenvolveram um complexo mecanismo regulatório que controla a redução e a assimilação de nitrato (Ouko, 2003).

A atividade da redutase do nitrato (ARN) é regulada por N-NO_3^- e metabólitos de carbono e nitrogênio (sacarose e glutamina, respectivamente), luz, fitormônios e níveis externos de CO_2 (Huber et al., 1992; Kaiser & Huber, 1994; Li et al., 1995; Sivasankar & Oaks, 1996).

Na ausência de luz ou baixa intensidade luminosa, a ARN tende a cessar, havendo acúmulo de $N-NO_3^-$ no tecido da planta (Faquin, 2004). Segundo o autor, isso ocorre porque, nessas condições, não haveria, nos cloroplastos, um fluxo de elétrons via ferredoxina (do Fotossistema I) suficiente para a redutase do nitrito reduzir o NO_2^- para NH_4^+ , com o conseqüente acúmulo de NO_2^- . Uma vez que o NO_2^- é fitotóxico, mesmo em baixas concentrações, seu acúmulo promove uma inibição na atividade da redutase do nitrato no citoplasma, acumulando, assim, o $N-NO_3^-$ absorvido, já que este pode ser armazenado “sem prejudicar” os processos metabólicos celulares.

A RN é considerada uma enzima adaptativa porque sua atividade é induzida pelo substrato (nitrato) em tecidos de plantas intactas e por molibdênio em plantas com deficiência nesse micronutriente (Ouko, 2003). O nível de nitrato requerido para induzir a atividade ótima da redutase varia largamente entre as espécies e o tecido amostrado. Beevers et al. (1965) comentam que estas diferenças, provavelmente, indicam diferenças na taxa de absorção de nitrato entre as espécies e a indução da RN dentro de uma determinada espécie depende da concentração e da taxa de suprimento de nitrato para o tecido. Em plantas intactas, duas origens de nitrato podem desempenhar papel regulatório: uma é o nitrato armazenado nas folhas, a outra é o nitrato translocado das raízes para as folhas (Ouko, 2003).

De maneira geral, a indução da atividade da RN parece estar relacionada à habilidade das plantas em sintetizar proteínas. Em plantas senescentes, a capacidade de indução da RN diminui. Ainda não está esclarecido se a mudança na capacidade de indução com a idade está diretamente associada com o decréscimo na capacidade para sintetizar proteína ou se é devido a um acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, os quais reprimem especificamente a síntese da RN (Lillo, 1994; De Pereira, 1998).

2.4 Efeitos do nitrato e do amônio sobre a atividade da redutase do nitrato e o crescimento das plantas

O nitrato pode induzir a atividade da redutase do nitrato por um aumento na *síntese de novo* da proteína ou por ativação da proteína redutase do nitrato pré-existente (Rajasek & Mohr, 1986).

Vários estudos comprovam o aumento da atividade da RN após o nitrato ser fornecido às plantas (Eilrich & Hageman, 1973; Hernandez et al., 1974; Fernandes & Freire, 1976; Oaks et al., 1982). Contudo, de acordo com Tischner (2000), a presença de nitrato não é um pré-requisito absoluto para a expressão do gene que codifica a proteína RN. Conforme este autor, apenas uma pequena quantidade de nitrato é suficiente para a indução e o fluxo ou o *status* de N na planta controlam a expressão da RN.

Cambell (1988) observou, em milho, que, após a adição de nitrato, a ARN aumentou rapidamente em algumas horas e, então, o nível de atividade da enzima retornou para um valor estacionário, indicando o clássico modelo de indução enzimática pelo substrato. Sommers et al. (1983), utilizando imunoeletroforese (RN em agarose contendo anticorpos específicos para RN), encontraram que o aumento da atividade da RN em plantas induzidas por nitrato, corresponde a um aumento da proteína-RN, indicando *síntese de novo* da apoproteína RN.

Por sua vez, o amônio pode apresentar desde efeito inibidor até efeito estimulador desta enzima (Srivastava, 1980). Foi observado, por De Datta et al. (1981) em plantas de trigo e Rajasekhar & Mohr (1986) em plantas jovens de mostarda, um efeito estimulador na ARN pelo amônio. Para Rajasekhar & Mohr (1986), o fato de o amônio externo ter estimulado fortemente os níveis de RN é um enigma. Bungard et al. (1999) concluíram que, na ausência de nitrato, o amônio estimulou a ARN em plantas de *Clematis vitalba*. Tais autores

propuseram um outro possível papel da ARN, o qual seria manutenção do pH intercelular, uma vez que a redução de nitrato produz OH^- e assimilação de amônio produz H^+ . Assim, o fornecimento de nitrogênio exclusivamente como amônio às plantas aumentaria sua assimilação, tendo como consequência o aumento de H^+ intercelular.

Souza (1995) relata que o aumento da ARN pode ser o resultado da ativação de formas inativas ou de reserva da enzima. Para determinar se a RN presente está na forma ativa ou de reserva, extrato de material vegetal deve ser analisado quanto à presença da proteína-RN.

2.5 Arroz de terras altas em sistema de plantio direto

O ciclo da planta de arroz pode ser dividido em três estádios: vegetativo, reprodutivo e maturação (França, 1995). Na fase vegetativa, o requerimento de N é muito maior do que a fase reprodutiva. A cultura do arroz absorve 90% do N total antes da floração (Moore et al., 1981). O período de maior demanda ocorre com o máximo perfilhamento e início da fase reprodutiva, com absorção quase completa na emergência da panícula (Wilson et al., 1989; Baptista, 1995).

De acordo com Soares (2004), várias tentativas de adequar o arroz de terras altas ao plantio direto já foram experimentadas, mas nenhuma solucionou por completo as deficiências do sistema, provavelmente por não ter sido desvendada a principal causa que limita a sua adaptação a tal sistema. Supõe-se que, se o arroz de terras altas não se adaptar ao sistema de plantio direto, ficará marginalizado, visto que os agricultores não estão mais dispostos a efetuar o revolvimento do solo (Soares, 2004). De acordo com este autor, para o arroz, a principal deficiência do sistema está relacionada à nutrição nitrogenada dessa cultura. A principal hipótese levantada por este autor, baseando-se no relato de Malavolta (1980), é a de que o principal fator limitante ao bom desempenho do

arroz de terras altas em sistema de plantio direto está relacionado à sua incapacidade utilizar, na fase inicial do desenvolvimento, o nitrogênio na forma de nitrato, a qual seria a forma predominante em sistema de plantio direto.

Essa hipótese é corroborada pelos estudos realizados em sistema de plantio direto. Algumas pesquisas têm demonstrado que neste sistema há maior disponibilidade de N-NO_3^- no solo em relação a outros sistemas de manejo (Sá, 1999; Andréa et al., 2004), principalmente na camada superficial (0-10cm). Esse fato é atribuído ao maior pH, teor de matéria orgânica e bases trocáveis nessa camada, favorecendo maior atividade de microrganismos nitrificadores, o que explica, em parte, o insucesso do arroz em sistema de plantio direto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Cultivaram-se plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) durante o período de 26/08/2004 a 06/01/2005.

3.1 Instalação do experimento e delineamento experimental

As sementes de arroz cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai, provenientes da Fazenda Experimental da EPAMIG, Lavras-MG, foram germinadas em papel *germitest*, em câmara de germinação do Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. Após a germinação, 40 plântulas foram transferidas para bandejas de polietileno contendo 8 L de solução de Hoagland & Arnon (Hoagland & Arnon, 1950), com 20% de sua força iônica e os respectivos tratamentos (Tabela 1), recebendo arejamento constante. Após 14 dias de cultivo, a força iônica da solução foi aumentada para 50%, sendo mantida até o final do experimento. O volume de solução das bandejas foi completado diariamente com água deionizada e a troca da solução foi realizada a cada sete dias, sendo o pH mantido entre 5,5 e 6,0 pela adição de NaOH ou HCl, 1 mol L⁻¹.

O experimento foi avaliado em quatro diferentes estádios de crescimento do arroz: 26 (início do perfilhamento), 41(diferenciação do primórdio floral) e 70 (início da emissão de panículas) dias após o transplântio (DAT) e na época da maturação dos grãos. Aos 26, 41 e 70 DAT, avaliaram-se a atividade da redutase do nitrato (ARN) em folhas e raízes, as formas de N (N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e N-org) e o N-total na parte aérea e raízes das plantas. Para essas variáveis, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas,

sendo as parcelas representadas por cinco relações nitrato (N-NO_3^-):amônio (NH_4^+) (100:00, 80:20, 60:40, 50:50 e 40:60) e as subparcelas pelos três estádios de crescimento (26, 41 e 70 DAT), com três repetições. Aos 26, 41 e 70 DAT e, na época da maturação dos grãos, avaliaram-se o número de perfilhos, a matéria seca da parte aérea, raízes e total. Na última época, avaliaram-se também os componentes da produção (número de panículas por planta, percentagem de perfilhos férteis, percentagem de grãos cheios) e massa seca de grãos, além da massa de 100 grãos e os teores e acúmulo de proteínas nos grãos. Para essas variáveis, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos representados pelas cinco relações nitrato:amônio, com quatro repetições. Todas as repetições foram constituídas por uma parcela com quatro plantas.

TABELA 1 Soluções estoque e volumes pipetados (mL L^{-1}) para o preparo das soluções dos tratamentos

Soluções estoque	[M]	Relação nitrato:amônio				
		100:00	80:20	60:40	50:50	40:60
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,0	2,5	2,5	2,25	1,875	1,5
KNO_3	2,0	2,5	1,0	-	-	-
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH_2PO_4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_2SO_4	0,5	-	3,0	5,0	5,0	5,0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,0	-	1,5	3,0	3,75	4,5
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,0	-	-	0,5	1,25	2,0
MICRO ¹	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe-EDTA ²	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

¹Dissolveram-se em 1L de água: 1,81 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,08 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,02g $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2,86 g H_3BO_3 ; 0,22 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

²Dissolveu-se: (a) 33,3 g $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ em cerca de 500 mL de água morna ($\pm 30^\circ\text{C}$) contendo 100,4 mL de NaOH 1N; (b) 24,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ em cerca de 300 mL de água quente ($\pm 70^\circ\text{C}$), contendo 4 mL de HCl 1N; (c) Misturou-se a e b adicionando-se água até ± 950 mL; colocou-se aeração constante por 12 h e completou-se o volume para 1.000 mL.

3.2 Variáveis das plantas avaliadas

Nas coletas realizadas aos 26, 41 e 70 dias após o trasplante, duas plantas de cada repetição dos tratamentos foram destinadas ao ensaio da atividade da RN, realizado no Laboratório de Nutrição e Metabolismo de Plantas do setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da UFLA, conforme Alves (2001). Para este fim, foram tomadas amostras de 500 mg das três folhas mais novas e raízes picadas, as quais foram transferidas para Becker de 20mL, contendo 5mL de um meio de incubação constituído por tampão fosfato de potássio 100mmol L^{-1} pH 7,5; 100mmol L^{-1} KNO_3 e 5% de n-propanol (v/v), submetidas à infiltração à vácuo durante um minuto por duas vezes. Após este procedimento, os béquer foram colocados em banho- maria a 30°C , com agitação no escuro. Aliquotas de $500\mu\text{L}$, em duplicatas, foram retiradas aos 10 e 40 minutos, respectivamente, adicionando-as a um meio de reação contendo 1mL de sulfanilamida 1% (p/v em HCl 1,5N); 1mL de N-2 naftiletlenodiamino 0,02% em HCl (p/v), completando o volume final de 4,0mL com água destilada. A quantidade de nitrito (NO_2^-) formada no meio de reação foi determinada colorimetricamente em espectrofotômetro DU 640B, Bechman, USA, a 540nm. A atividade da RN foi expressa em $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{g}^{-1}$ massa fresca (MF). h^{-1} .

As duas plantas restantes foram separadas em caule + folhas e raízes, contando-se o número de perfilhos por planta (NP), secas em estufa de circulação forçada de ar de 65°C a 70°C até peso constante, pesadas, obtendo-se a produção de MSPA, MSR e MST em cada estágio de crescimento. Em seguida, o material foi moído e destinado a determinação do N- total, segundo Malavolta et al. (1997) e N-mineral (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), conforme Tedesco et al. (1985), realizado no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. O N-mineral foi extraído em KCl mol L^{-1} (15mL por amostra) utilizando-se 0,1g de material vegetal seco, com destilação após a adição de 0,2g de MgO

calcinado. Posteriormente, foram obtidas as frações de amônio por titulação com HCl 0,0007143 mol L⁻¹, depois de terem sido recolhidas em indicadores com ácido bórico. O nitrogênio nítrico foi determinado utilizando-se o mesmo extrato (mesmo tubo) empregado para a destilação do amônio, adicionando-se 0,2g de liga devarda e encaminhando-o para nova destilação. Em seguida, foi titulado com o mesmo ácido empregado para o amônio. O N-orgânico foi obtido pela diferença entre o N-total e o N-mineral.

Na época da maturação dos grãos, foi realizada a coleta das plantas, separando-se as panículas, caule + folhas e as raízes de cada planta. Foram determinados a MSPA, MSR, MST, número de perfilhos (NP), percentagem de perfilhos férteis, o número de panículas por planta, produção de grãos com casca a 13% umidade, a percentagem de grãos cheios, massa de 100 grãos e os teores e o acúmulo de proteínas no grão. A percentagem de perfilhos férteis foi obtida dividindo-se o número de panículas por planta pelo seu respectivo número de perfilhos, multiplicando-se o resultado por 100. O teor de proteína no grão brunido foi obtido multiplicando-se o N-total (N-Kjeldahl) pelo fator 5,95, que é obtido a partir do teor médio de nitrogênio da glutelina (16,8%), principal proteína de reserva do grão de arroz (Juliano, 1985).

3.3 Análise estatística

As variáveis de crescimento, produção e qualidade dos grãos, bem como os teores das formas de N nos tecidos das plantas e a atividade da redutase do nitrato, foram avaliadas mediante análise de variância e teste de médias (Duncan a 5%) com auxílio do *software* SANEST® versão 4.6. Entre as variáveis de crescimento, teores das formas de N nos tecidos das plantas e a atividade da redutase do nitrato, também foi feita análise de correlação, com auxílio do *software* SAEG® versão 9.0

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de matéria seca e perfilhamento

As relações nitrato:amônio influenciaram significativamente a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR), total (MST) e o número de perfilhos por planta (NP), em todos os estádios de crescimento, em ambas as cultivares de arroz em (Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A, 5A e 6A).

Aos 26 DAT (Figura 2), o fornecimento de nitrogênio, exclusivamente como nitrato (100:00), reduziu significativamente a MSR, MSPA, MST e o NP, em ambas as cultivares de arroz. Por outro lado, na 'BRS Colosso' (Figura 2a), as maiores produções de MSPA e MST foram obtidas nas relações nitrato:amônio 60:40 e 50:50, as quais não diferiram entre si, enquanto, que na 'BRSMG Conai' (Figura 2b), os maiores valores para estas variáveis foram observados na relação 80:20, a qual diferiu apenas da relação 100:00. Da mesma maneira, o tratamento 100:00 para a 'BRSMG Colosso' e os tratamentos 100:00 e 60:40 para a 'BRSMG Conai', reduziram significativamente o perfilhamento (Figura 2c e d), sendo este efeito mais pronunciado na 'BRS Colosso'. Para as demais relações nitrato:amônio, não se observou diferença significativa no número de perfilhos para a 'BRS Colosso' e para a 'BRSMG Conai' os maiores valores para essa variável foram observados na relação 40:60, sem diferir entretanto, da 50:50.

A redução na matéria seca das plantas pelo fornecimento de nitrogênio na forma exclusiva de nitrato, ou amônio em maiores proporções, em relação a este último, tem sido constatada por diversos pesquisadores, tanto em gramíneas (Silveira & Sant'anna, 1988; Andrade et al. 2001; Santos, 2003), quanto em dicotiledôneas (Ganmore-Neumann & Kafkafi, 1980; Guazzelli, 1988; Lemos 1996). Nesse trabalho, embora o efeito mais severo sobre a matéria seca das

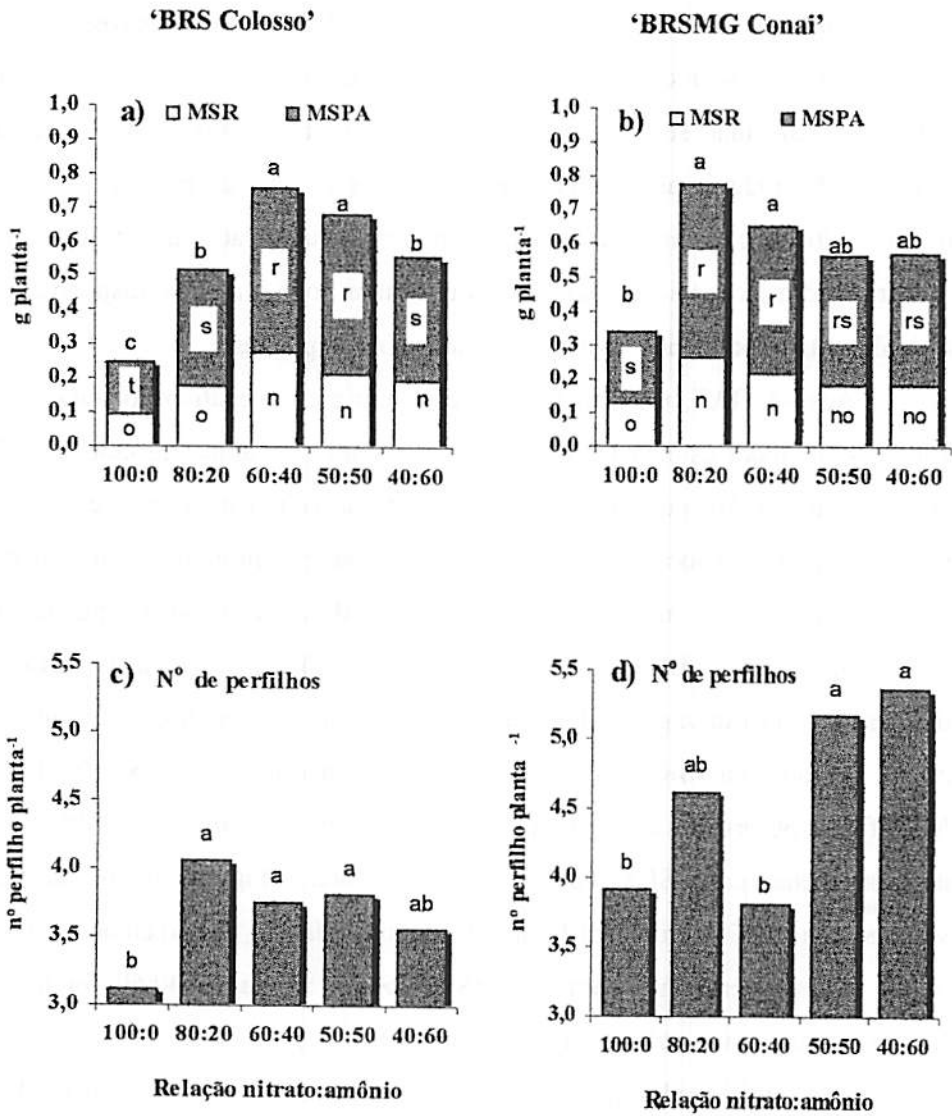



FIGURA 2 Matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) das cultivares de arroz BRS Colosso (a e c) e BRSMG Conai (b e d), em função das relações nitrato:amônio, aos 26 dias de cultivo. Letras diferentes (a, b e c para MST e NP; n, o e p para MSR e r, s e t para MSPA) indicam diferença significativa entre médias (Duncan 5%).



plantas tenha sido observado no tratamento 100:00, quando o amônio esteve em maiores proporções em relação ao nitrato, houve um engrossamento, encurtamento e escurecimento das raízes das plantas de arroz em ambas as cultivares, reduzindo seu crescimento. Em contrapartida, Silveira & Sant'anna (1988) e Andrade et al. (2001) observaram menor peso de matéria seca das plantas cultivadas em proporções maiores de amônio em relação ao nitrato, o que foi atribuído à incapacidade das plantas utilizarem todo o amônio disponível no meio de cultivo, ocorrendo toxidez deste íon sobre as plantas.

Aos 41 DAT, também foi verificado um efeito negativo do tratamento 100:00 sobre todas as características de crescimento e em ambas as cultivares de arroz (Figura 3). Por outro lado, ao contrário do primeiro estágio de crescimento (26 DAT), nesta época, os tratamentos com maiores proporções de amônio tenderam favorecer a maioria das características de crescimento das plantas de arroz. Na cultivar BRSMG Colosso (Figura 3a), não foram observadas diferenças significativas na MSPA e MST entre os tratamentos 80:20, 60:40, 50:50, contudo, na 'BRSMG Conai', as maiores produções de MSR, MSPA e MST foram observadas nos tratamentos 60:40, 50:50 e 40:60, os quais diferiram entre si apenas na MSPA. Para a 'BRSMG Conai' (Figura 3b), os maiores valores para o NP (Figura 3d) foram obtidos nas relações nitrato:amônio 60:40, 50:50 e 40:60, enquanto para a 'BRS Colosso', a relação 40:60 foi a que proporcionou o maior valor para esta característica (Figura 3c).

Aos 70 DAT, todas as características de crescimento da cultivar BRS Colosso (Figuras 4a e 4c) decresceram nos tratamentos 100:00 e 40:60 em relação aos demais tratamentos, não diferindo entre si apenas na MSPA. Na 'BRSMG Conai', a relação 100:00 reduziu drasticamente a matéria seca da parte aérea, raízes e total (Figura 4b) e o número de perfilhos por planta (Figura 4d),

'BRS Colosso'

'BRSMG Conai'

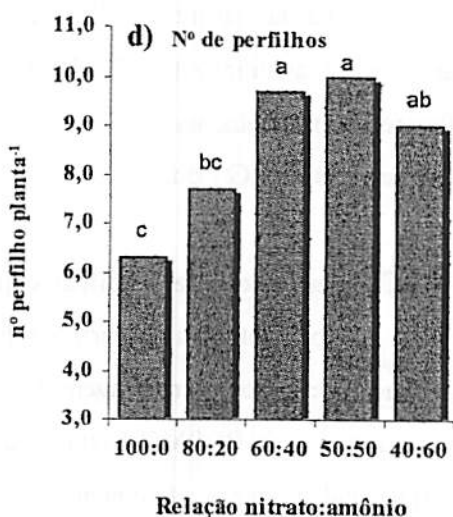
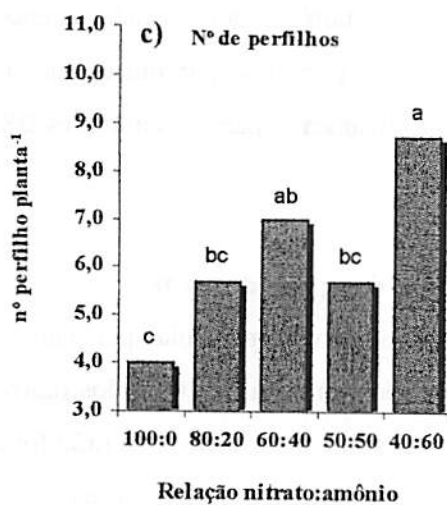
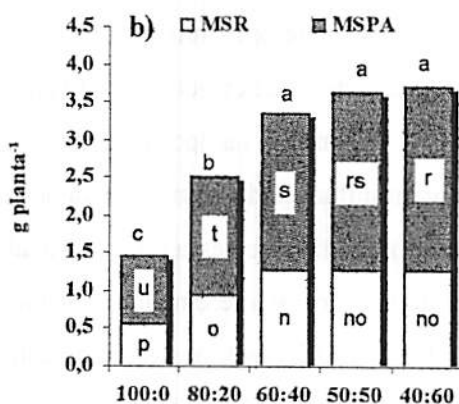
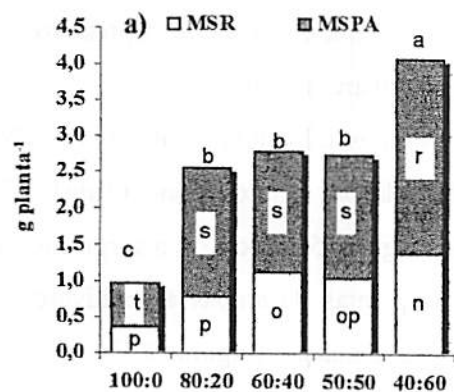


FIGURA 3 Matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) das cultivares de arroz BRS Colosso (a e c) e BRSMG Conai (b e d) em função das relações nitro:amônio, aos 41 dias de cultivo. Letras diferentes (a, b e c para MST e NP; n, o e p para MSR e r, s, t e u para MSPA) indicam diferença significativa entre médias (Duncan 5%).

enquanto que a relação 60:40 proporcionou os maiores valores para essas variáveis. Destaca-se, portanto, que nessa época, ao contrário do observado aos 41 DAT, a relação nitrato:amônio 40:60, apresentou um efeito depressivo nas características de crescimento em ambas as cultivares de arroz.

Também na época de maturação dos grãos, a MSPA, MSR, MST e o NP foram influenciados significativamente pelas relações nitrato:amônio (Tabelas 7A e 8A). Destaca-se nessa época de avaliação (Figuras 5a, b, c e d), a surpreendente recuperação no crescimento vegetativo das plantas de ambas as cultivares na relação 100:00 que, nos estádios anteriores de avaliação (Figuras 2, 3 e 4), foi o tratamento que mais limitou as características avaliadas. Já a relação 40:60, nessa época, foi o tratamento que apresentou os menores valores de produção de matéria seca das cultivares (Figura 5a e b), fato também já destacado na época anterior de avaliação (70 DAT). O número de perfilhos, por outro lado, foi favorecido nas relações 40:60 e 50:50, respectivamente, para as cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai.

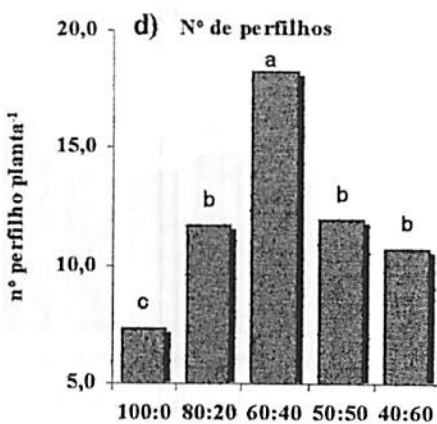
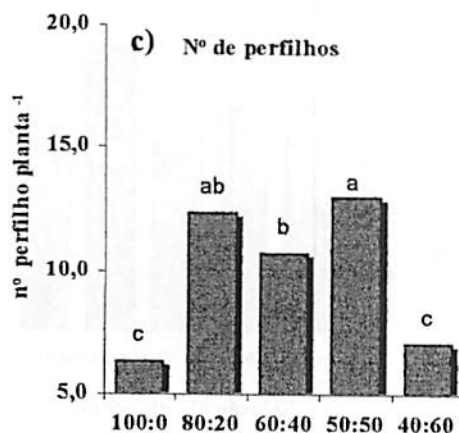
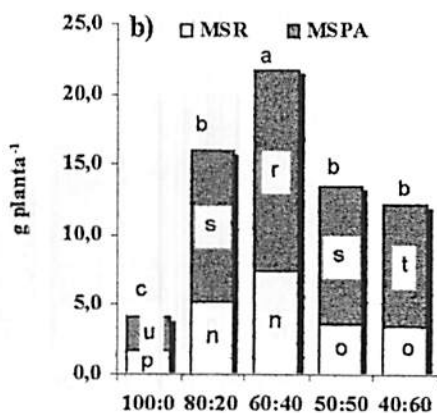
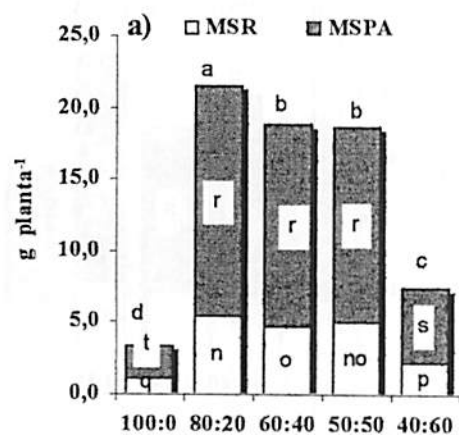
4.2 Características de produção e qualidade dos grãos de arroz

A percentagem de perfilhos férteis, o número de panículas por planta, a produção de grãos, percentagem de grãos cheios e massa de 100 grãos (apenas para a variedade BRSMG Conai) e o teor e acúmulo de proteínas no grão foram influenciados significativamente pelas relações nitrato:amônio em ambas as cultivares (Tabelas 9A, 10A e 11A).

Nas figuras 2, 3 e 4 (26, 41 e 70 DAT, respectivamente), como já discutido, a produção de MSR, MSPA, MST e o perfilhamento foram

‘BRS Colosso’

‘BRSMG Conai’



Relação nitrato:amônio

Relação nitrato:amônio

FIGURA 4 Matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) das cultivares de arroz BRS Colosso (a e c) e BRSMG Conai (b e d) em função das relações nitrato:amônio, aos 70 dias de cultivo. Letras diferentes (a, b, c e d para MST e NP; n, o, p e q para MSR e r, s, t e u para MSPA) indicam diferença significativa entre médias (Duncan 5%).

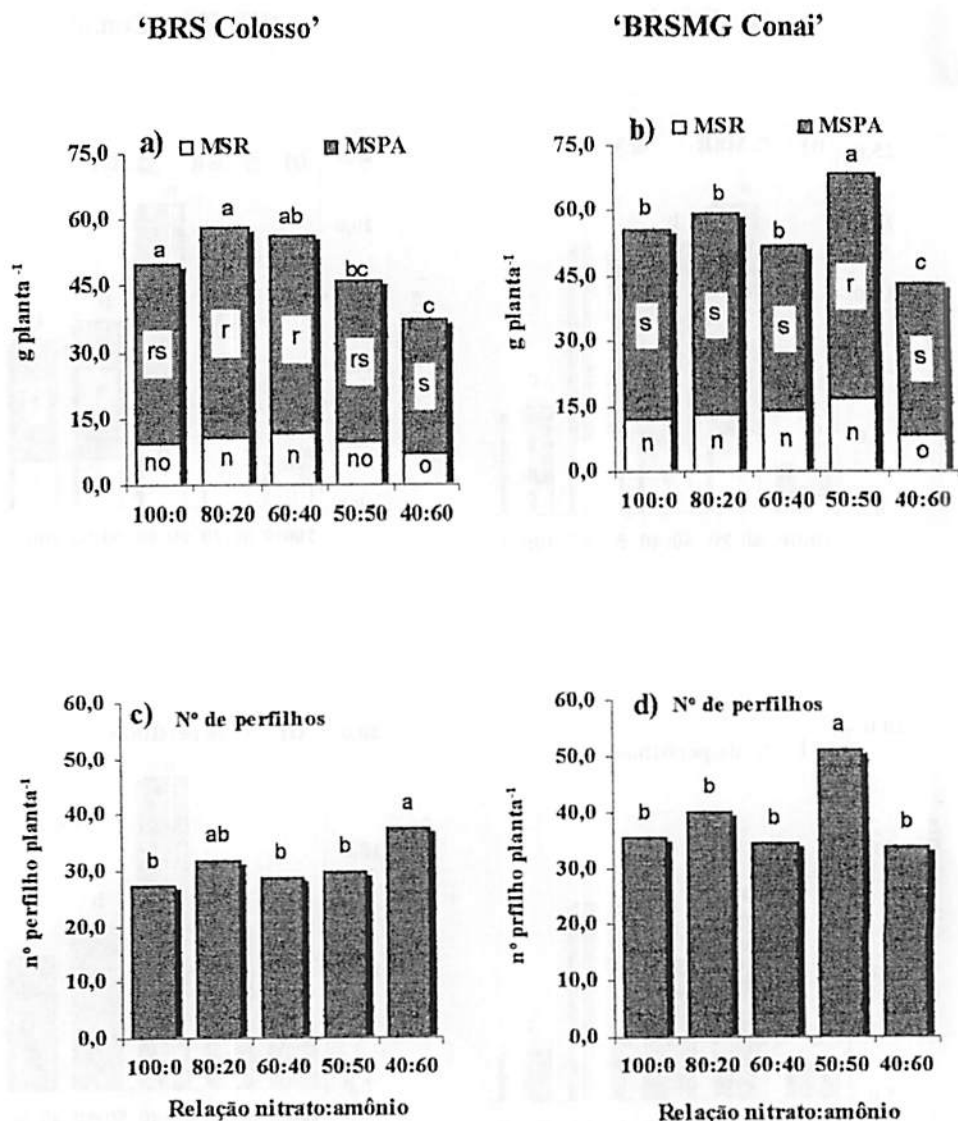


FIGURA 5 Matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) das cultivares de arroz BRS Colosso (a e c) e BRSMG Conai (b e d) em função das relações nitrito:amônio aos 130 dias de cultivo. Letras diferentes (a, b e c para MST e NP; n, o e p para MSR e r e s para MSPA) indicam diferença significativa entre médias (Duncan 5%).

drasticamente afetados pela relação nitrato:amônio 100:00. As demais relações diferiram pouco entre si, à exceção da 40:60, aos 70 dias (Figura 4), que apresentou também, um efeito depressivo sobre as características de crescimento. Já, na fase final do ciclo do arroz, aos 130 dias, o efeito depressivo na produção de matéria seca foi observado na relação 40:60 (Figuras 5a e b) e pequena diferença entre as demais relações.

Esse efeito depressivo da relação 40:60 sobre as características de crescimento, observado nas fases mais avançadas do ciclo da planta (Figuras 5a b), afetou também negativamente as componentes de produção de grãos do arroz (Figura 6). Quanto à percentagem de perfilhos férteis (Figura 6a), a 'BRSMG Conai' foi desfavorecida pelas relações 50:50 e 40:60 em relação a 80:20 e 60:40, enquanto que, para a BRS Colosso, a relação 40:60 foi altamente detrimental, sendo a 80:20 a mais favorável, superando as demais. O número de panículas por planta, a exceção da relação 40:60, não foi influenciado pelas relações nitrato:amônio para a cultivar BRSMG Conai. Entretanto, a 'BRS Colosso' exibiu resposta diferenciada, sendo a 80:20 a mais favorável (Figura 6b). A percentagem de grãos cheios (Figura 6c) e massa de 100 grãos, à exceção da relação 40:60 para esse último, não foram influenciadas pelas relações nitrato:amônio. A produção de grãos (Figura 6e), que reflete a maioria dos componentes de produção avaliados (Figura 6), mostra para ambas as cultivares, um acentuado efeito depressivo da relação 40:60. As demais relações nitrato:amônio não afetaram a produção de grãos da 'BRSMG Conai', enquanto que a relação 80:20 foi superior à 100:00 e 50:50 para a BRS Colosso (Figura 6e).

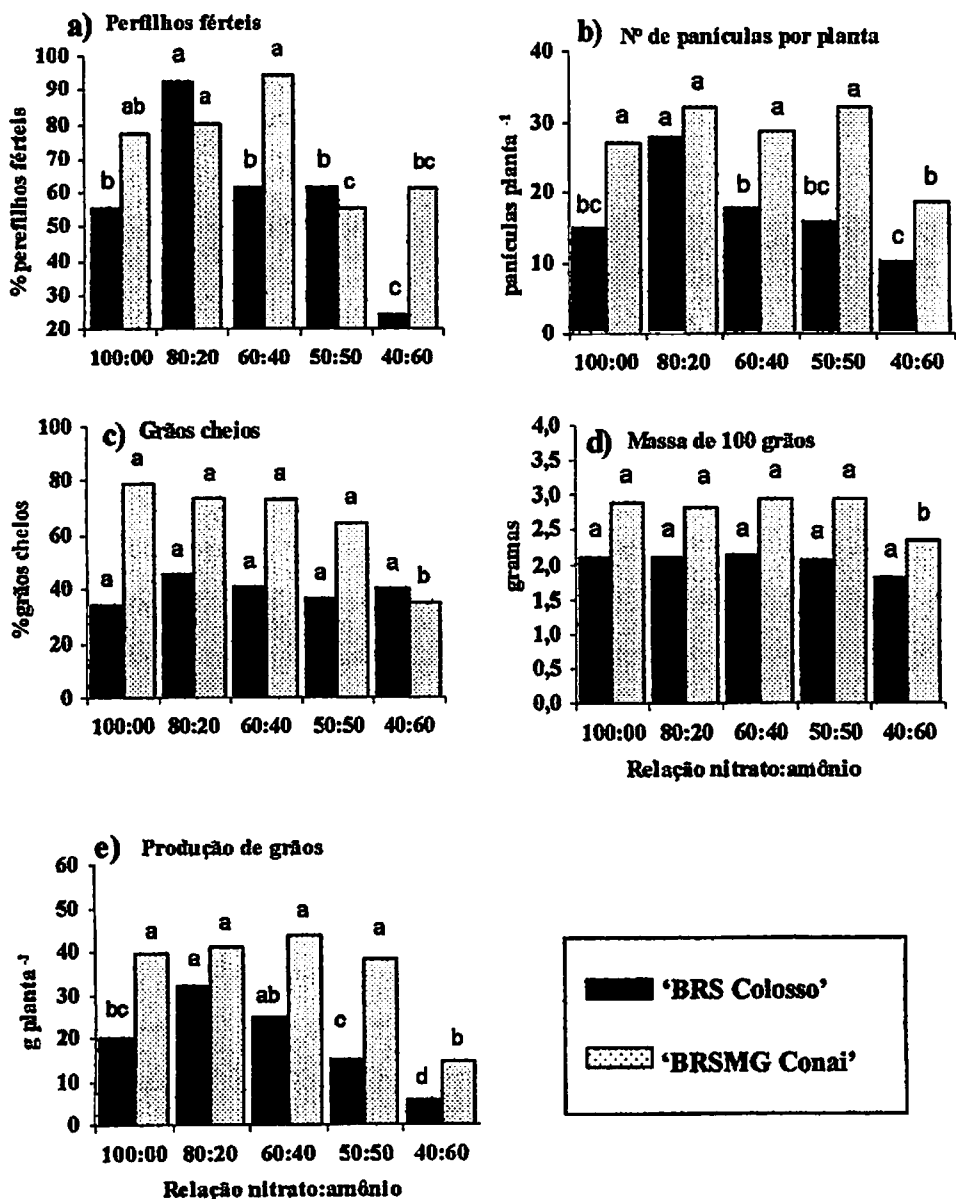


FIGURA 6 Percentagem de perfislos férteis (a), número de panículas por planta (b), percentagem de grãos cheios (c), massa de 100 grãos (d) e produção de grãos (e), das cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai, em função das relações nitrato:amônio. Em cada cultivar, colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si (Duncan 5%).

O efeito depressivo do excesso de N-NH_4^+ no crescimento e produção das culturas tem sido relatado em diversos trabalhos. A toxidez observada não é devida propriamente ao acúmulo de amônio (NH_4^+) mas sim, da amônia (NH_3) formada (Mengel & Kirby, 2001). Dentre os nutrientes catiônicos, o NH_4^+ é aquele que atravessa mais facilmente as membranas celulares (Faquin, 2001), e com isso, quando em maiores concentrações no meio, acumula-se no citoplasma celular, na matriz mitocondrial ou no estroma do cloroplasto. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), devido ao pH mais alto no citoplasma, matriz ou estroma do cloroplasto, o NH_4^+ reage com o OH^- para formar a NH_3 ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), reduzindo o valor do pH. A amônia formada, passando facilmente pelas membranas do tonoplasto do vacúolo, tilacóides dos cloroplastos ou da membrana mitocondrial, no interior das organelas, devido ao pH mais baixo, reage com o H^+ formando o NH_4^+ ($\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$), elevando o valor do pH. Essas alterações de pH e acúmulo de NH_3 trazem diversas conseqüências ao crescimento vegetal. A primeira é a redução do potencial eletroquímico (gradiente de prótons) entre as faces das membranas, necessário ao transporte de elétrons na fotossíntese e na respiração (que levam à síntese de ATP) e também na absorção iônica dos nutrientes através das membranas celulares (Mengel & Kirby, 2001; Taiz & Zeiger, 2004). A segunda conseqüência é o efeito fitotóxico do NH_3 acumulado que, particularmente, afeta o crescimento radicular. Bennet & Adams (1970), citados por Mengel & Kirby (2001), relatam que injúrias em raízes de plântulas de algodão foram observados em baixas concentrações de NH_3 como $0,2 \text{ mmol L}^{-1}$. Esses autores destacam também que a amônia inibe a atividade da sintetase da glutamina, importante enzima que atua na assimilação do NH_4^+ , com graves conseqüências na síntese protéica e no crescimento vegetal.

Um outro efeito da elevada concentração de NH_4^+ no meio é a redução da absorção de Ca^{+2} , K^+ e Mg^{+2} por inibição competitiva (Faquin, 2001), podendo

levar à deficiência desses nutrientes e, conseqüentemente, redução no crescimento das plantas.

A figura 7a mostra que os teores de proteínas nos grãos da cultivar BRSMG Conai não foram influenciados pelas relações nitrato:amônio; na cultivar BRS Colosso, os teores foram menores nas relações com maior participação do nitrato 100:00 e 80:20. Como os teores de proteínas variaram pouco com as relações nitrato:amônio (Figura 7a), o acúmulo de proteínas (Figura 7b) seguiu a mesma tendência da a produção de grãos (figura 6e), ou seja, a relação 40:60 reduziu significativamente a produção de grãos, reduzindo, também, da mesma forma, o acúmulo de proteínas. Lembra-se, como já discutido, que o efeito primário da toxidez de NH_3 , devido ao excesso de N-NH_4^+ , é a inibição da atividade da sintetase da glutamina, via importante na assimilação do N e na síntese protéica vegetal.

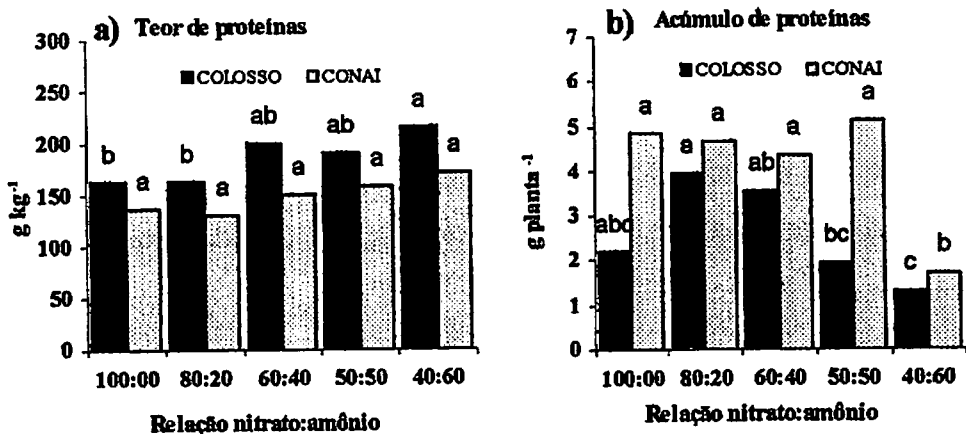


FIGURA 7 Teor (a) e acúmulo (b) de proteína nos grãos de arroz das cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai, em função das relações nitrato:amônio. Em cada cultivar, colunas seguidas por letras iguais não diferem entre si (Duncan 5%).

4.3 Atividade da redutase do nitrato e formas de N nos tecidos das plantas

As relações nitrato:amônio, os estádios de crescimento, bem como a interação entre estes fatores influenciaram significativamente a atividade da redutase do nitrato nas folhas e nas raízes do arroz (Tabelas 12A, 13A, 14A e 15A). A atividade da redutase do nitrato nas folhas, de maneira geral, foi cerca de dez vezes maior do que nas raízes (Tabela 2), indicando que, no arroz, a folha é o principal órgão de redução assimilatória de $N-NO_3^-$, fato também observado por Santos et al. (2004).

TABELA 2 Atividade da RN nas folhas e raízes das cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai, em função das relações nitrato:amônio e estádios de crescimento

NO ₃ :NH ₄ ⁺	'BRS Colosso'			'BRSMG Conai'		
	26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹	26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹
————— μmoles NO ₂ ⁻ g ⁻¹ MF h ⁻¹ —————						
Folha						
100:00	1,04 c C	5,74 bc B	8,82 a A	0,46 c B	8,22 b A	5,51 a A
80:20	4,92 a A	4,58 c A	6,52 a A	3,10 a B	11,78 ab A	6,25 a B
60:40	2,78 b B	7,17 bc A	7,42 a A	3,04 a B	15,45 a A	4,72 a B
50:50	5,87 a B	11,54 a A	7,94 a B	4,11 a B	10,19 ab A	5,90 a AB
40:60	2,76 b B	9,96 a A	8,44 a A	1,95 b B	9,13 b A	3,47 b B
Média	3,47	7,80	7,83	2,53	10,95	5,17
Raízes						
100:00	0,60 b A	0,23 b B	0,68 a A	0,25 c B	0,20 b B	1,33 a A
80:20	0,10 bc B	0,11 c B	0,27 b A	0,55 bc A	0,28 b A	0,63 b A
60:40	0,81 ab A	0,54 ab A	0,26 b B	1,10 b A	0,59 b AB	0,32 b B
50:50	1,08 ab A	0,92 a A	0,10 c A	0,96 b B	1,57 a A	0,53 b B
40:60	1,23 a A	0,35 b B	0,20 b B	1,83 a A	1,30 a A	0,80 b B
Média	0,76	0,43	0,30	0,94	0,79	0,72

Para cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si (Duncan 5%). ¹DAT: dias após o transplântio.

Aos 26 DAT, as plantas de arroz de ambas as cultivares apresentaram uma baixa ARN nas folhas em todas as relações nitrato:amônio, com significativo aumento aos 41 e 70 DAT na cultivar BRS Colosso e aos 41 DAT na cultivar

BRSMG Conai. A redução da ARN aos 70 DAT na 'BRSMG Conai', provavelmente, deve-se a essa cultivar apresentar um ciclo mais curto, iniciando um processo de senescência mais cedo, portanto, reduzindo a atividade da enzima mais precocemente, como relatado por Storey e Beevers (1978).

A baixa atividade da redutase do nitrato em plantas de arroz na fase inicial de crescimento é relatada por Malavolta (1980). De acordo com este autor, as plantas, nas duas ou três primeiras semanas de vida, apresentam uma baixa atividade da enzima RN, promovendo nas plantas supridas com N unicamente como $N-NO_3^-$ o aparecimento de deficiência de N, acúmulo de nitrato nos tecidos e pequeno crescimento da cultura. Este fato foi confirmado no presente trabalho, em que cerca de dez dias a partir do transplântio, observou-se nas plantas do tratamento de relação $NO_3^-: NH_4^+$ 100:00, em ambas as cultivares (Figuras 8a e b), sintomas visuais típicos de deficiência de nitrogênio, que se manifestaram como uma clorose generalizada nas folhas mais velhas, que foram desaparecendo gradativamente com a idade das plantas (Figuras 8c e d). Esse comportamento da ARN com o estágio de crescimento foi semelhante ao encontrado por Dutta & Badruddin (1998), cultivando diversos genótipos de arroz em solução nutritiva. Esses autores observaram baixa ARN nas folhas das plantas aos 24 dias de cultivo, sendo que aos 35 dias, a atividade da enzima atingiu seu máximo, aumentando cerca de seis vezes o valor da inicial e após este estágio, voltou a decair cerca de três vezes ao valor inicial após 40 dias de cultivo.

Comparando-se as relações nitrato:amônio (Tabela 2), não se observa um efeito definido sobre a ARN em ambas as cultivares. A princípio, esperava-se uma maior atividade da enzima nas relações com maior participação do nitrato,

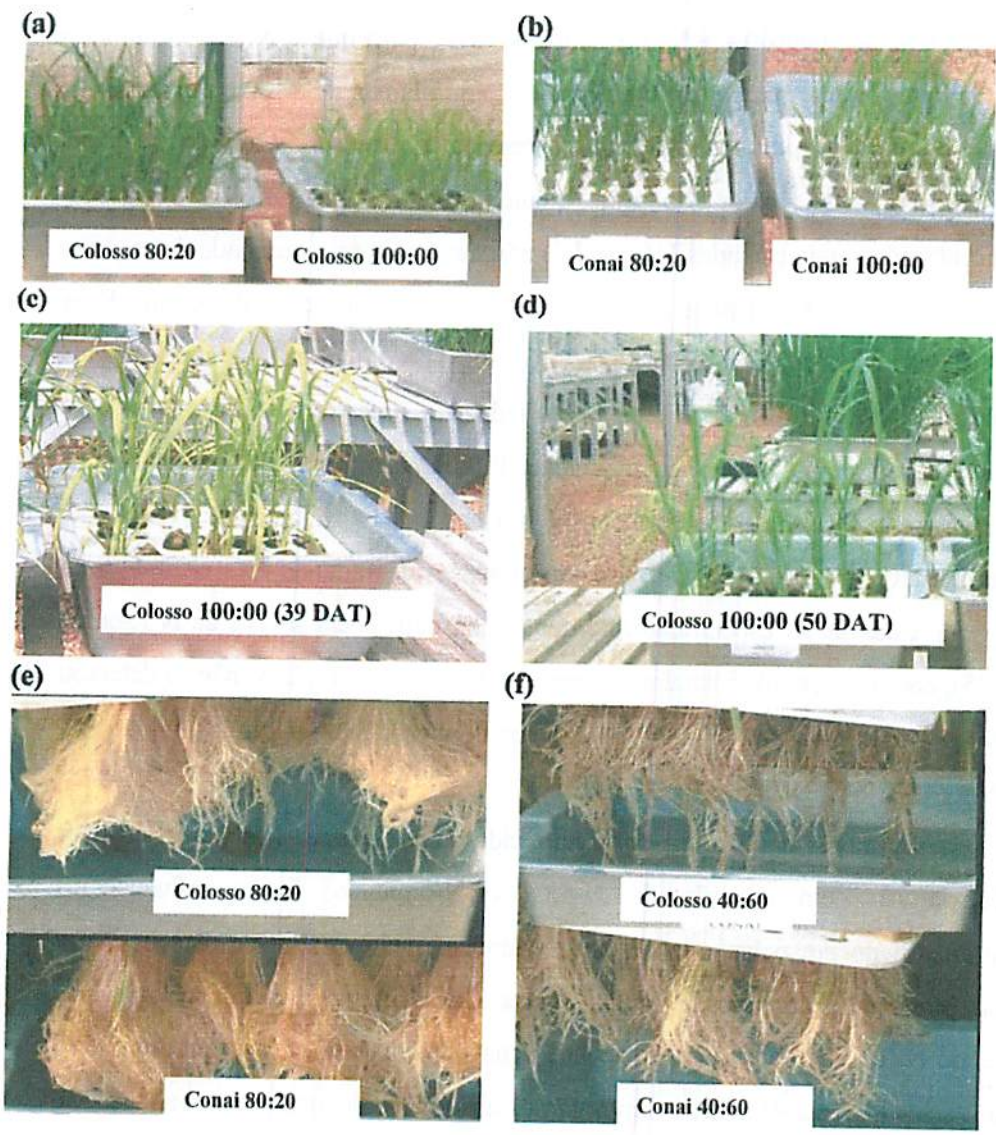


FIGURA 8 Sintomas de deficiência de nitrogênio nas cultivares de arroz BRS Colosso (a) e BRSMG Conai (b) cultivadas na relação nitrato:amônio 100:00, aos 20 dias após o transplântio (DAT); recuperação dos sintomas de deficiência de N na BRS Colosso na relação 100:00, dos 39 aos 50 DAT (c e d) e aspectos das raízes das cultivares BRS Colosso (e) e BRSMG Conai cultivadas nas relações 80:20 (e) e 40:60 (f), aos 65 DAT.

[REDACTED]

visto que a RN é de síntese induzida pelo substrato ($N-NO_3^-$) e pela própria necessidade da redução do $N-NO_3^-$ para $N-NH_4^+$, para que o N seja assimilado (Malavolta, 1980). Ouko (2003) observou em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva, que a ARN na presença de nitrato (20 mg L^{-1}) foi significativamente maior do que quando este esteve ausente. Contudo, concentrações mais elevadas (40 mg L^{-1}) não aumentaram a atividade da enzima, indicando, que a RN é mais eficiente em baixas concentrações de nitrato. Essa observação concorda com Tischner (2000), segundo o qual apenas uma pequena concentração de nitrato é suficiente para induzir a síntese da RN. É interessante observar, entretanto, que, no tratamento 100:00, aos 26 DAT, em ambas as cultivares, a ARN na folha foi bem inferior aos demais tratamentos (Tabela 2). Isso se deve, provavelmente, à ação de proteases degradando esta enzima, uma vez que estas agem especificamente quando há deficiência severa de N (Souza, 1995), como observado visualmente neste tratamento. Nas raízes, não se detectou qualquer tendência consistente dos estádios de crescimento sobre a atividade da RN.

Os teores das formas de N no tecido da parte aérea (Tabela 3) e raízes (Tabela 4), com exceção do N-total e N-orgânico, foram influenciados significativamente pelas relações nitrato:amônio, pelo estágio de crescimento e pela interação entre estes fatores (Tabelas 12A, 13A, 14A e 15A). Observa-se que do N-total na parte aérea (Tabela 3), mais de 95% estão na forma orgânica e nas raízes (Tabela 4), por ser um órgão de absorção e de menor metabolização, o N-orgânico variou de 80 a 92%. Os teores de N- total e N-orgânico, na parte área (Tabela 3), não foram influenciados pelas relações nitrato:amônio, tanto aos 26 quanto aos 41 DAT para a cultivar BRSMG Conai e nem aos 26 DAT para a 'BRS Colosso'. Também nas raízes, os teores de N-total e N-orgânico mantiveram-se estatisticamente inalterados em função das relações

TABELA 3 Teores de nitrogênio total (N-tot), orgânico (N-org), nítrico (N-NO₃⁻) e amoniacal (N-NH₄⁺) na parte aérea das cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai, em função das relações nitrato:amônio e dos estádios de crescimento

Formas de N	NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺	'BRS Colosso'			'BRSMG Conai'		
		26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹	26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹
N-tot		mg g ⁻¹					
	100:00	47,27 a A	43,27 b A	48,33 a A	41,80 a A	40,00 b A	48,73 a A
	80:20	43,73 a A	43,53 b A	45,07 a A	40,73 a A	47,27 a A	35,33 b A
	60:40	49,73 a A	50,47 a A	35,00 b B	48,40 a A	41,00 a A	40,20 b A
	50:50	48,67 a A	44,93 bc A	34,53 b B	44,00 a A	47,33 a A	44,53 b A
	40:60	48,53 a A	49,93 a A	40,80 a B	44,67 a A	47,93 a A	44,07 ab A
	Média	47,59 (100)²	46,43 (100)²	40,75 (100)²	43,92 (100)²	44,71 (100)²	42,57 (100)²
N-org	100:00	45,21 a A	40,17 b A	46,34 a A	39,06 a A	37,72 a A	46,22 a A
	80:20	41,89 a A	41,67 bc A	44,15 ab A	38,95 a A	45,06 a A	34,05 b A
	60:40	48,19 a A	48,74 a A	33,68 b B	47,42 a A	39,53 a A	38,82 b A
	50:50	47,67 a A	43,69 b A	33,47 b B	42,79 a A	46,21 a A	43,46 a A
	40:60	47,89 a A	48,64 a A	39,89 a B	42,37 a A	46,82 a A	43,23 a A
	Média	46,17 (97,02)	44,58 (96,03)	39,51 (96,96)	42,12 (96,90)	43,07 (96,33)	41,20 (96,78)
N-NO ₃ ⁻	100:00	1,64 a A	2,42 a AB	1,49 a B	2,25 a A	1,91 a B	1,93 a B
	80:20	1,14 b A	1,31 b A	0,40 c B	1,28 b A	1,70 a A	0,52 b B
	60:40	1,10 b A	1,05 b A	0,81 bc A	0,58 b B	1,02 b A	0,49 b B
	50:50	0,58 c B	0,82 c A	0,55 c B	0,77 b A	0,55 b B	0,45 b B
	40:60	0,62 c A	0,56 c A	0,49 c AB	1,74 ab A	0,34 b B	0,36 b B
	Média	1,02 (2,14)	1,23 (2,65)	0,75 (1,84)	1,32 (3,01)	1,10 (2,47)	0,75 (1,76)
N-NH ₄ ⁺	100:00	0,42 b B	0,67 b A	0,50 a B	0,49 a A	0,38 b A	0,58 b A
	80:20	0,70 a A	0,55 b A	0,52 a A	0,50 a B	0,51 b B	0,76 a A
	60:40	0,44 b AB	0,68 a A	0,51 a A	0,40 a B	0,45 b B	0,89 a A
	50:50	0,42 b A	0,42 c A	0,41 a A	0,45 a A	0,58 b A	0,62 bc A
	40:60	0,43 b C	0,73 a B	2,18 a A	0,55 a B	0,78 a A	0,48 c B
	Média	0,48 (1,01)	0,61 (1,32)	0,82 (2,02)	0,48 (1,09)	0,54 (1,20)	0,67 (1,56)

Para cada forma de nitrogênio, dentro de cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si (Duncan 5%). ¹ DAT: Dias após o transplantio. ² Para as médias, dentro de cada estágio de avaliação, os valores entre parênteses referem-se aos percentuais de cada forma em relação ao N-total = 100%. DAT, dias após o transplantio.

nitrato:amônio, aos 26 e 41 dias de cultivo, em ambas as cultivares (Tabela 4). Apesar dos estádios de crescimento não terem afetado os teores dessas formas de N no tecido da parte aérea para a 'BRSMG Conai', verifica-se que, aos 70 DAT, a relação 100:00 tendeu a aumentar os teores dessas formas de nitrogênio em ambas as cultivares, em relação às demais relações nitrato:amônio. Isso se deve, provavelmente, ao fato das plantas desse tratamento terem apresentado um

atraso do seu ciclo, devido à baixa metabolização de N no início do ciclo da planta já relatada anteriormente. Assim, as plantas dos demais tratamentos apresentaram uma remobilização de N para a produção de grãos em um período de tempo mais curto em relação ao tratamento 100:00, fato observado pela tendência de redução nos teores de N-total e N-orgânico aos 70 dias de cultivo nesses tratamentos. Os teores de $N-NH_4^+$ na parte aérea e raízes das plantas de ambas as cultivares, não mostraram uma tendência definida em função das relações nitrato:amônio. Contudo, nas relações 40:60 para a 'BRS Colosso' e

TABELA 4 Teores de nitrogênio total (N-tot), orgânico (N-org), nítrico ($N-NO_3^-$) e amoniacal ($N-NH_4^+$) nas raízes das cultivares BRS Colosso e Conai, em função das relações nitrato:amônio e dos estádios de crescimento

Formas de N	$NO_3^-:NH_4^+$	'BRSColosso'			'BRSMG Conai'		
		26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹	26 DAT ¹	41 DAT ¹	70 DAT ¹
N-tot		mg g ⁻¹					
	100:00	32,73 aB	34,53 aB	43,50 aA	31,13 aA	37,00 aA	36,53 aA
	80:20	30,80 aA	34,87 aA	29,67 bA	32,13 aB	37,47 aA	20,60 bB
	60:40	31,20 aA	30,27 aA	30,73 bA	27,47 aB	36,27 aAB	31,27 aB
	50:50	28,67 aA	38,47 aA	34,27 bA	30,00 aB	38,73 aA	37,13 aA
	40:60	29,80 aA	36,47 aA	34,17 bA	26,93 aB	35,27 aAB	42,13 aA
	Média	29,41 (100)²	34,92 (100)²	34,47 (100)²	29,53 (100)²	36,95 (100)²	33,53 (100)²
N-org	100:00	23,91 aB	28,28 aA	37,89 aA	24,18 aC	30,66 aB	30,89 bA
	80:20	23,10 aA	30,19 aB	27,39 bA	25,49 aB	32,33 aA	19,14 cB
	60:40	26,28 aA	25,41 aA	26,88 bA	23,15 aB	32,04 aA	29,43 bA
	50:50	24,28 aB	34,42 aA	31,22 bA	26,11 aB	35,01 aA	34,77 bA
	40:60	25,48 aA	32,69 aA	30,92 bA	24,88 aB	33,09 aA	40,15 aA
	Média	24,6 (80,32)	30,20 (86,47)	30,86 (89,53)	24,76 (83,84)	32,63 (88,30)	30,88 (92,08)
N- NO_3^-	100:00	8,04 aA	5,65 aB	4,88 aC	6,37 aA	5,59 aB	4,80 aC
	80:20	7,19 abA	3,92 bB	1,65 bC	5,92 aA	4,25 aB	0,95 bC
	60:40	4,37 bcA	3,81 bB	2,76 bC	3,63 bA	3,29 bA	1,03 bB
	50:50	3,88 cA	2,99 cB	2,08 bC	3,11 bA	2,64 cAB	1,32 bC
	40:60	3,79 cA	2,43 cB	2,17 bB	1,20 cA	1,16 dA	1,07 bA
	Média	5,45 (17,80)	3,76 (10,77)	2,71 (7,85)	4,05 (13,70)	3,39 (9,17)	1,83 (5,47)
N- NH_4^+	100:00	0,78 aA	0,60 cA	0,73 bA	0,59 bB	0,74 aAB	0,84 aA
	80:20	0,51 bA	0,76 cA	0,63 bA	0,73 aA	0,89 aA	0,51 bB
	60:40	0,55 bB	1,05 bA	1,09 aA	0,69 aA	0,94 aA	0,81 aA
	50:50	0,50 bB	1,06 bA	0,97 aA	0,78 aA	1,08 aA	1,04 aA
	40:60	0,54 bC	1,36 aA	1,07 aB	0,86 aA	1,02 aA	0,91 aA
	Média	0,58 (1,88)	0,97 (2,77)	0,90 (2,61)	0,73 (2,46)	0,93 (2,53)	0,82 (2,45)

Para cada forma de nitrogênio, dentro de cada cultivar, médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si (Duncan 5%). ¹ DAT: Dias após o transplantio. ² Para as médias, dentro de cada estágio de avaliação, os valores entre parênteses referem-se aos percentuais de cada forma em relação ao N-total = 100%. DAT, dias após o transplantio

80:20 e 60:40 para a BRSMG Conai, os teores mais elevados de $N-NH_4^+$ na parte aérea foram observados aos 70 DAT. Especialmente na 'BRSMG Conai', por ser uma cultivar de ciclo mais curto em relação à BRS Colosso, esse aumento dos teores de amônio na fase reprodutiva pode estar associado a um aumento na produção de $N-NH_4^+$ pela descarboxilação da glicina, durante o processo de fotorrespiração (Taiz & Zeiger, 2004). De acordo com Alves (2001), quando as plantas iniciam a senescência, a fotorrespiração é aumentada acentuadamente, principalmente em plantas C_3 , como o arroz.

À exceção do estágio 70 DAT para a 'BRS Colosso' e 26 DAT para a 'BRSMG Conai', em ambas as cultivares, os teores de nitrato na parte aérea apresentaram uma tendência de aumento, com o incremento de $N-NO_3^-$ na solução de cultivo, proporcionado pelos tratamentos, sendo estes significativamente maiores na relação 100:00. Nas raízes, essa mesma tendência foi observada em todos os estádios de crescimento para ambas as cultivares. Em relação aos estádios de crescimento, verifica-se que, os teores de nitrato mais elevados na parte aérea foram observados aos 26 e 41 DAT para a 'BRS Colosso' e aos 26 DAT para a 'BRSMG Conai' (Tabela 3). Nas raízes, os maiores teores de $N-NO_3^-$ foram obtidos aos 26 DAT em ambas as cultivares (Tabela 4). Esses resultados são concordantes com os encontrados por Silveira & Sant'anna (1988), Santos (2003) e Bucher et al. (2004), os quais obtiveram os maiores teores $N-NO_3^-$ no tecido das plantas quando o nitrato na solução de cultivo esteve presente em maior concentração. Esse fato certamente está relacionado à incapacidade da planta reduzir todo o $N-NO_3^-$ absorvido, armazenando-o no vacúolo, que ficou comprovado pelas correlações negativas observadas entre a ARN e os teores de $N-NO_3^-$ na parte aérea (Tabela 5).

A tabela 5 mostra os coeficientes de correlação simples entre as características de crescimento avaliadas e as formas de nitrogênio na parte aérea

aos 26, 41 e 70 DAT, envolvendo as duas cultivares de arroz. Embora os coeficientes tenham apresentado valores relativamente baixos, os teores de nitrato ($N-NO_3^-$) apresentaram, em todos os estádios, correlação negativa com as características de crescimento aos 26, 41 e 70 DAT, mostrando que as plantas de arroz que concentraram mais $N-NO_3^-$ na parte aérea tiveram seu crescimento diminuído. A maior concentração de $N-NO_3^-$ nos tecidos das plantas, como já relatado, deve-se à menor ARN nas folhas (ARNF), uma vez que estas variáveis

TABELA 5 Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as concentrações de nitrato ($N-NO_3^-$), amônio ($N-NH_4^+$), nitrogênio total (N-tot), nitrogênio orgânico (N-org) na parte aérea e a atividade da redutase do nitrato nas folhas (ARNF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP), para os diferentes estádios de crescimento (DAT)

		ARNF	MSPA	MST	NP
26 DAT ¹	$N-NO_3^-$	-0,36*	-0,45**	-0,42*	-0,60**
	$N-NH_4^+$	0,16 ^{ns}	0,028 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,19 ^{ns}
	N-tot	-0,02 ^{ns}	0,41*	-0,07 ^{ns}	-0,45 ^{ns}
	N-org	0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,39*
	ARNF	-	-0,11 ^{ns}	0,37*	0,42**
	41 DAT	$N-NO_3^-$	-0,23 ^{ns}	-0,76**	-0,87**
	$N-NH_4^+$	-0,25 ^{ns}	0,33*	0,27 ^{ns}	0,16 ^{ns}
	N-tot	-0,41*	0,20 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,19 ^{ns}
	N-org	-0,37*	0,26 ^{ns}	0,33*	0,24 ^{ns}
	ARNF	-	0,19 ^{ns}	0,31*	0,08 ^{ns}
70 DAT	$N-NO_3^-$	0,17 ^{ns}	-0,63**	-0,64**	-0,52**
	$N-NH_4^+$	-0,38*	0,29 ^{ns}	0,35*	0,52**
	N-tot	-0,16 ^{ns}	-0,47**	-0,46**	-0,28 ^{ns}
	N-org	-0,17 ^{ns}	-0,44**	-0,42**	-0,26 ^{ns}
	ARNF	-	-0,15 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,41*

*, ** e ^{ns}, significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.
DAT: Dias após o transplântio.

se correlacionaram negativamente. A atividade da redutase do nitrato apresentou uma relação positiva apenas com a matéria seca total e aos 26 e 41 DAT, mas, aos 70 DAT, não foi observada nenhuma relação desta variável com as demais variáveis. Deve-se salientar, contudo, que nem sempre a ARN apresenta uma

relação positiva com a produção de matéria seca, uma vez que, de acordo com Magalhães & Huber (1974), a partir da absorção do amônio, todas as formas orgânicas de nitrogênio podem ser elaboradas. Os teores de amônio ($N-NH_4^+$), nitrogênio total (N-tot) e nitrogênio orgânico (N-org) na parte aérea das plantas de arroz, aos 26 e 41 DAT (exceto $N-NH_4^+$ versus MSPA), não se correlacionaram com as demais variáveis estudadas. Contudo, aos 70 DAT, observou-se que o N-total e o N-orgânico se correlacionaram negativamente com a MSPA e a MST. Isso, provavelmente, se deve ao “efeito de diluição” e, ou, ao fato de nesta fase do crescimento, as plantas estarem entrando em senescência, havendo assim uma remobilização de N dos órgãos vegetativos para a produção de grãos.

Mesmo não sendo o principal órgão de redução assimilatória de $N-NO_3^-$, nas raízes foram obtidas também algumas correlações importantes entre as formas de nitrogênio e a ARNR, MSR, MSPA e MST (Tabela 6). De maneira semelhante ao que ocorreu na parte aérea, aos 26 e 41 DAT a ARN nas raízes (ARNR) correlacionou-se negativamente com os teores de $N-NO_3^-$ no tecido radicular. Por sua vez, aos 41 DAT a MSR, MST e a ARNR apresentaram os maiores valores quando o $N-NH_4^+$ esteve em menor concentração no tecido das raízes (correlação negativa). Contudo, aos 41 DAT, a correlação observada foi positiva, indicando que, nesta época uma alta concentração de $N-NH_4^+$ não prejudicou o crescimento das plantas.

O N-orgânico nas raízes, aos 26 e 41 DAT, correlacionou-se positivamente com a ARN, mas não apresentou relação significativa com o crescimento da planta. Aos 70 DAT, observou-se que, mesmo havendo uma relação positiva da ARNR com a MSR e MST, os teores de N-orgânico e N-total apresentaram um comportamento inverso com a ARNR. Isso poderia estar associado ao “efeito de diluição”, já que com o crescimento das plantas e, conseqüentemente, das raízes, as paredes celulares, que são compostas

principalmente de celulose, tornam-se mais espessas, ocupando grande parte da célula, reduzindo assim o teor de N estrutural (Taiz & Zeiger, 2004).

A baixa metabolização de N, evidenciada pelos maiores teores de N-NO_3^- nos tecidos parte aérea e raízes das plantas de ambas as cultivares de arroz, devido ao atraso na ARN na fase inicial do crescimento, certamente explicam a redução do seu crescimento na relação nitrato:amônio, 100:00, nas três fases de crescimento das plantas (Figuras 2, 3 e 4). Assim, mesmo tendo a ARN aumentado significativamente aos 41 e 70 DAT (Tabela 2), os efeitos iniciais foram praticamente irreversíveis, apesar de, no final do ciclo (130 DAT) da cultura, ter havido uma tendência de nivelamento entre os tratamentos com maior participação do nitrato para as variáveis de crescimento (Figura 5).

TABELA 6 Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as concentrações de nitrato (N-NO_3^-), amônio (N-NH_4^+), nitrogênio total (N-tot) e nitrogênio orgânico (N-org) nas raízes e a atividade da redutase do nitrato nas raízes (ARNR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para os diferentes estádios de crescimento (DAT)

		ARNR	MSR	MSPA	MST
26 DAT	N-NO_3^-	-0,74**	-0,19 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	0,27 ^{ns}
	N-NH_4^+	0,30 ^{ns}	-0,32*	-0,11 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
	N-tot	-0,20 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
	N-org	0,35*	-0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}
	ARNR	-	-0,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}
41 DAT	N-NO_3^-	-0,52*	-0,67**	0,08 ^{ns}	-0,44*
	N-NH_4^+	0,98**	0,64**	-0,21 ^{ns}	0,52**
	N-tot	-0,44**	-0,09 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
	N-org	0,99**	0,08 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
	ARNR	-	0,37*	0,02 ^{ns}	0,28 ^{ns}
70 DAT	N-NO_3^-	-0,10 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
	N-NH_4^+	-0,44**	-0,46**	0,30 ^{ns}	-0,36*
	N-tot	-0,66**	-0,63*	0,21 ^{ns}	-0,61**
	N-org	-0,41*	-0,42*	0,31*	-0,24*
	ARNR	-	0,98**	-0,36 ^{ns}	0,75**

*, ** e ^{ns}, significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Apesar de não ter ficado claro a relação entre os teores de N-NH_4^+ e a atividade da redutase do nitrato, verificou-se nitidamente o efeito negativo do suprimento de N em maiores proporções na forma de amônio (40:60) sobre o crescimento das plantas (Figuras 2, 3, 4 e 5), principalmente sobre o sistema radicular (Figuras 2, 3 e 4 e Figuras 8e e 8f). As raízes neste tratamento tornaram-se escurecidas, pouco ramificadas e engrossadas. Além dos aspectos abordados anteriormente sobre o efeito fitotóxico do NH_3 produzido a partir do excesso NH_4^+ absorvido, outros também merecem ser destacados. Quando o amônio é absorvido em grandes quantidades, altas demandas de esqueletos de carbono são requeridas (Cramer & Lewis, 1993a). Tal fato foi confirmado em plantas de arroz por Fernandes (1990). Este autor observou que o fornecimento de 150mg L^{-1} de amônio na solução nutritiva proporcionou uma intensa remobilização de esqueletos de carbono, sendo esta uma estratégia utilizada pela planta para evitar os efeitos tóxicos do amônio. De acordo com Muller et al. (1990), devido ao fato das raízes serem dependentes da parte aérea por carboidratos e devido a assimilação do amônio resultar em uma queda na quantidade de carboidratos, o crescimento radicular (carboidratos são os principais componentes de paredes celulares) pode ser comprometido em função do desvio de carboidrato para a assimilação do amônio.

O fato de as plantas de arroz terem se favorecido de maiores proporções de amônio aos 41 DAT (Figura 3) em relação aos demais estádios de crescimento (Figura 2), parece estar relacionado a uma maior demanda de N na fase de máximo perfilhamento (França, 1995; Soares, 2001), associada a uma maior disponibilidade de esqueletos de carbono produzidos pela fotossíntese. Nessa fase, o provável aumento da taxa fotossintética seria devido ao aumento da área foliar, decorrente do crescimento da planta. Estudando a cinética de absorção de N-NH_4^+ em plantas de arroz das cultivares Agulha e Bico Ganga, Baptista (1995)

verificou que, aos 50 dias de idade, as plantas de ambas as cultivares mantiveram um nível mais baixo de N-NH_4^+ na parte aérea, o que foi atribuído a uma maior capacidade de sintetizar esqueletos carbônicos na fotossíntese neste período de crescimento pelo aumento da área foliar. Assim, altas concentrações de N-NH_4^+ (nos tratamentos com amônio) fornecidas pela solução de Hoagland & Arnon (que é muito concentrada) não estaria sendo tóxica para as plantas de arroz aos 41 DAT, como ocorreu aos 26 (Figura 2) e aos 70 DAT (Figura 4), épocas em que a demanda por nitrogênio já não seria tão elevada.

Embora não se tenha determinado, não se pode descartar a hipótese de ter havido interação iônica no meio de cultivo do amônio com outros cátions contribuindo para a redução do crescimento do sistema radicular. É bastante conhecida a interação iônica entre os nutrientes no processo de absorção pelas plantas. O N-NH_4^+ , em maiores concentrações no meio, é preferencialmente absorvido, inibindo a absorção de outros cátions como o Ca^{+2} e o K^+ (Faquin, 2001). De acordo com esse autor, o Ca^{+2} desempenha importantes funções na planta, como componente da lamela média da parede celular, germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico. Da mesma maneira, o potássio participa na síntese protéica, transporte de carboidratos e na ativação de enzimas que atuam no metabolismo de carboidratos. Assim, a redução no crescimento radicular, os menores valores na produção de grãos, peso de grãos, número de panículas e acúmulo de proteínas nos grãos de arroz, observados na relação nitrato:amônio 40:60, também poderia ser devido a uma menor absorção de Ca^{+2} e K^+ , devido a uma inibição por NH_4^+ . Essa afirmação concorda com os resultados encontrados por Ganmore-Neumam & Kafkafi (1980), os quais observaram, em plantas de tomate cultivadas em diferentes relações nitrato:amônio em solução nutritiva, uma diminuição nos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e

K^+ quando as plantas foram cultivadas em meio contendo $N-NH_4^+$ como forma exclusiva de N.

As argumentações feitas sobre a inibição competitiva do amônio são também corroboradas pela redução do pH na solução nutritiva quando o amônio esteve presente, principalmente nas maiores concentrações (Figura 9). Esse mesmo comportamento também foi verificado por Furlani et al. (1986) e Baptista (1995), em plantas de arroz, Guazeelli (1988), com feijoeiro, Jacob Neto (1998), em plantas de *Acacia margium* e por Andrade et al. (2001), em plantas de *Panicum maximum*, cultivadas em solução nutritiva, sendo a redução do pH, atribuída à extrusão de prótons durante a absorção do amônio. De acordo com

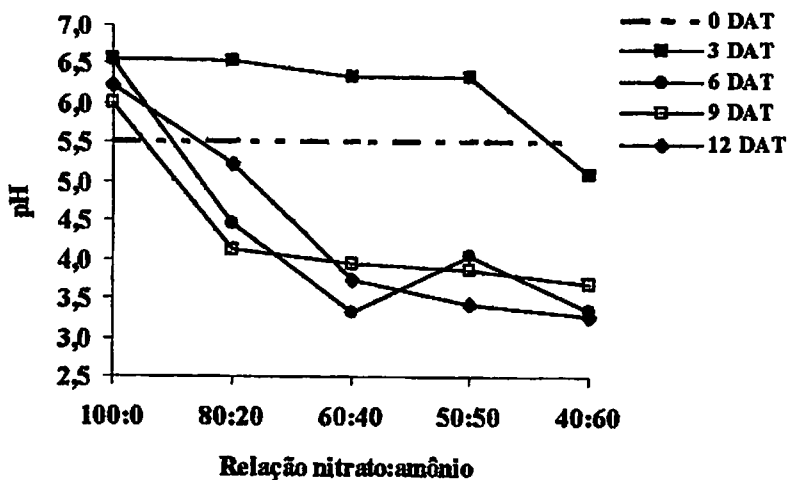


FIGURA 9 Valores de pH na solução nutritiva em função da relação nitrato:amônio após a correção nos estádios iniciais de crescimento das plantas de arroz. Os valores correspondem à média das duas cultivares.

Raven e Smith (1976), a absorção desbalanceada de cátions em relação à de ânions causa uma queda no pH extracelular, uma vez que a absorção desses está correlacionada a extrusão de prótons. Deve-se ressaltar que a manutenção do pH da solução nutritiva em seu valor inicial (5,5-6,0), é uma situação quase impraticável, uma vez que seu decréscimo ocorre minutos após sua correção, como observado em plantas de arroz por Baptista (1995).

5 CONCLUSÕES

A redução assimilatória de nitrato em plantas de arroz ocorre predominantemente nas folhas.

As cultivares de arroz BRS Colosso e BRSMG Conai apresentaram uma baixa atividade da Redutase do Nitrato nas folhas aos 26 dias após o transplântio (DAT) (início do perfilhamento), quando comparado com 41 e 70 DAT, sendo esta ainda menor nas plantas supridas com nitrogênio unicamente na forma de nitrato.

Os teores de N-total e N-orgânico não foram afetados pelas relações nitrato:amônio em ambas as cultivares, mas a relação 100:00 elevou os teores de nitrato na parte aérea e raízes das plantas de ambas as cultivares, e de forma mais acentuada aos 26 DAT, quando a redutase do nitrato apresentou uma baixa atividade.

As relações nitrato:amônio afetaram significativamente o crescimento e a produção do arroz. A relação 100:00 apresentou um efeito depressivo na fase vegetativa de ambas as cultivares e na fase reprodutiva da BRS Colosso, enquanto que para a relação 40:60 esse efeito foi observado apenas na fase reprodutiva de ambas as cultivares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. E. Redução do nitrato, assimilação do amônio e transporte do nitrogênio em plantas jovens de seringueira. 2001. 57p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ANDRADE, S. R. M. et al. Assimilação do nitrogênio pelas plantas de *Panicum maximum*, cv. Vencendor, submetidos a diferentes proporções NH_4^+ / NO_3 . Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. (Boletim de Pesquisa, 13).

ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido à diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

AZEVEDO, W. R. Disponibilidade de fósforo em diferentes épocas de amostragem para o arroz inundado sob influência de calcário, gesso, e esterco de curral. 2003. 69f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BAPTISTA, J. A. Cinética de absorção de NH_4^+ e efluxo de prótons em arroz. 1995. 95 f. Tese (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

BEEVERS, L. et al. The role of light and nitrate in the induction of nitrate reductase in radish cotyledons and maize seedlings. *Plant Physiology*, Rockville, v.40, n.4, p.691-698, 1965.

BEEVERS L.; HAGEMAN R.H. Nitrate and nitrite reduction. In: MIFLIN, B.J. (Ed.). "The biochemistry of Plants". New York: Academic, 1980. v.5, p.115-168.

BRUMME, R.; LEINCKE, V.; MATZNER, E. Interception and uptake of NH_4^+ and NO_3^- from wet deposition by above-ground parts of young beech (*Fagus sylvatica* L.) trees. *Plant and Soil*, The Hague, v.142, n.2, p.273-279, 1992.

BUCHER, C. A. et al. Teores de nitrogênio solúvel, atividade da nitrato redutase e sua relação com a eficiência no uso de nitrogênio em variedades de arroz. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004. Anais Fertbio... UDESC, 2004. CD-ROM.

BUNGARD, R. A. et al. Ammonium can stimulate nitrate and nitrite reductase in the absence of nitrate in *Clematis vitalba*. *Plant, Cell and Environmental*, Blackwell, v.22, n.7, p.859-866, 1999.

BURESH, R. J.; DE DATTA, S. K. Nitrogen dynamics and management in rice legume cropping systems. *Advances in Agronomy*, New York, v. 45, n.7, p.1-58, 1991.

CAMARGOS, L. S. Análise das alterações no metabolismo de Nitrogênio em *Canavalia ensiforme* (L) em resposta a variações na concentração de nitrato fornecida. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas)-Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase and its role in nitrate assimilation in plants. *Physiology Plantarum*, Copenhagen, v.74, n.1, p. 214-219, 1988.

CRAMER, M. D.; LEWIS, A.M. The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plants. *Annals of Botany*, New York, v.72, n.4, p.359-365, 1993a.

CRAMER, M. D.; LEWIS, O.A.M. The influence of NO_3^- and NH_4^+ nutrition on the carbon and nitrogen partitioning characteristics Wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plants. *Plant and Soil*, The Hague, v.154, n.2, p.289-300, 1993b.

DATTA, N. et al. Regulation of nitrate reductase activity by ammonium in wheat. *Plant Science Letters*, Limerick, v.20, n.4, p.305-313, 1981.

DE PEREIRA-NETTO.; DE MAGALHAES A.C.N.; PINTO H.S. Nitrate reductase activity in field-grown *Pueraria lobata* (Kudzu) in southeastern Brazil *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.3, n.12, p.1971-1975, 1998.

DEANNE-DRUMMOND, C. E.; GLASS, A.D. Short-term studies of nitrate uptake into barley plants using ion-specific electrodes and $^{36}\text{Cl}^-$: II. Regulation of efflux by NH_4^+ . *Plant Physiology*, Bethesda, v.73, n.2, p.105-110, 1983.

DELÚ FILHO, N.; OLIVEIRA, L. E. M.; ALVES, J. D. Atividade da Redutase do Nitrato em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.): Otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. *Revista Árvore*, Viçosa, v.21, n.3, p.329-336, 1997.

DRUART, N. et al. Nitrate Assimilation in chicory roots (*Cichorium intybus* L.) which acquire radial growth. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.51, n.344, p.539-546, 2000

DUETE, R. R. et al. Aproveitamento de formas de nitrogênio aplicado durante o ciclo de desenvolvimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD-ROM.

DUTTA, R. K.; BADRUDDIN, M. Fertilizer-N scheduling based ontogenetic characteristics of nitrate reductase in rice genotypes. *International Rice Commission Newsletter*, Tokio, v.49, n.1, p.1-7, 1998.

EILRICH, G. L.; HAGEMAN, R. H. Nitrate reductase activity and its relationship to accumulation of vegetative grain nitrogen in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, Madison, v.13, n.1, p.59-66, 1973.

FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 182p.

FAQUIN, V. Acúmulo de nitrato em hortaliças e saúde humana. *Boletim Informativo-Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.1, p.23-26, jan./abr. 2004.

FERNANDES, M. S. Efeitos de fontes e níveis de nitrogênio sobre a absorção e assimilação de N em arroz. *Revista Brasileira Fisiologia Vegetal*, Londrina, v.2, n.1, p.1-6, 1990.

FERNANDES, M. S. N-carriers, light and temperature influences on uptake and assimilation of nitrogen by rice. San Jose: Turrialba, Costa Rica, v.34, n.1, p.9-18, 1984.

FERNANDES, M. S.; FREIRE, L. R. Efeitos do nitrogênio nítrico aplicado ao solo na atividade da nitrato redutase e na acumulação de N-solúvel em *Brachiaria* sp. Turrialba, Costa Rica, v.26, n.3, p.268-273, 1976.

FERNANDES, M. S.; ROSSIELO, R. O. P. Meneral Nitrogen in Plant Physiology and Pant Nutrition. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Tennessee, v.14, n., p.111-118, 1995.

FERRAZ JUNIOR, A. S. L. et al. Eficiência do uso de nitrogênio para a produção de grão e proteína por cultivares de arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.4, p.435-442, 1997.

FRANÇA, M. G. C. **Análise do crescimento e do acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz contrastantes em hábito de crescimento.** Seropédica, 1995. 135f. Tese (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; AZZINI, L. E. Comportamento Diferencial de Linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.10, n.1, p.51-59, 1986.

GANMORE-NEUMANN, R.; KAFKAFI, U. Root Temperature and Percentage $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Effect on tomato development II. Nutrients composition of tomato plants. *Agronomy Journal*, Madison, v.72, n.5, p.762-766, 1980.

GUAZZELLI, E. M. F. M. **Efeito de nitrato e de amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na fase inicial do crescimento.** Dissertação. 1988. 112f. (Mestrado em Fertilidade do Solo)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, E. P.; SANT'ANNA, E. P. Sistemas de Cultivo. In: _____. **A cultura do arroz no Brasil.** Santo Antônio de Goiás/GO: Embrapa Arroz e Feijão. 1999. Cap.1, p.17-35.

HAGEMAN, R. H.; BELOW, F. E. Role of nitrogen metabolism in crop productivity. In: ABROL, P. Y. (Ed.). **Nitrogen in higher plant.** Research Studies, 1990.

HERNANDEZ, H. H.; WALSH, D.E.; BAVER, A. Nitrate reductase of wheat-its relation to nitrogen fertilization. Minnesota: American Association of Cereal Chemistry, 1974. v.51, p.330-336.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, Calif.: California Agricultural Experiment Station, 1950.

HOFF, T.; STUMMANN, B. M.; HENNINGSEN, K. W. Structure, function and regulation of nitrate reductase in higher plants. *Physiol. Plant*, Copenhagen, v.84, n.4, p.616-624, 1992.

HUBER J.L. et al. Comparative studies of the light modulation of nitrate reductase and sucrose-phosphate synthase activities in spinach leaves. *Plant Physiology*, Rockville, v.100, n.4, p.706-712, 1992.

JACOB NETO, J.; GOI, R. S.; SPRENT, J. I. Efeito de diferentes formas de nitrogênio na nodulação e crescimento de *Acacia mangium*. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v.51, n.1, p.104-110, 1998.

JAKOBS, B. M.; GÜLPEN, M. Influences of the different nitrate to ammonium ratios on chlorosis, cation concentrations and binding forms of Mg and Ca in needles of Mg-deficient Norway spruce. *Plant and Soil*, The Hague, v.188, n.2, p. 267-277, 1997.

JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins and lipides of rice. In: JULIANO, B. O. (Ed.). *Rice: Chemistry and Technology* St. Paul; Minnesota: American Society of Cereal Chemistry, 1985. p.59-174.

KAISER W.M.; HUBER S. Modulation of nitrate reductase in vivo and in vitro: Effects of phosphoprotein phosphatase inhibitors, free Mg²⁺ and 5'-AMP. *Planta*, Wurzburg, v.193, n.3, p.358-364, 1994.

LEMOS, G. B. Crescimento e atividade de enzimas de assimilação do nitrogênio em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) cultivadas com diferentes relações de nitrato e amônio. 1996. 56p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LI, X-Z. et al. Effect of glutamine on the induction of nitrate reductase. *Physiology Plant*, Copenhagen, v.93, n.4, p.740-744, 1995.

LILLO, C. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. Minireview. *Physiology Plant*, Copenhagen, v.90, n.3, p.616-620, 1994.

MAGALHÃES, J. R.; HUBER, D. M. Nitrite assimilation and amino nitrogen synthesis in isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiology*, Washington, v.53, n.1-4, p. 411-415, 1974.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. *Science of the rice plant: morphology*. Tokio: Food and Agriculture Policy Research Center. 1993. 700p.

MENGEL, K.; KIRBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.

MOORE, P. A.; GILMOUR, J. T. Jr.; WELLS, B. R. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, n.5, p.875- 879, 1981.

MÜLLER, R. et al. Effect of ammonium on dark-CO₂ fixation and on citosolic and vacuolar pH values in *Eremosphaera viridis* de Bary (Chlorococcales). *Journal of Experimental Botany*, London, v.41, n.225, p.441-448, 1990.

NAMBIAR, P. T. C.; REGO, T. J.; SRINIVASA RAO, B. Nitrate concentration and nitrate reductase activity in the leaves of three legumes and three cereals. *Annual Applied Biology*, Warwickshire, v.112, n.3, p.547-553, 1988.

NYE, P. H. Changes of pH the rizosfera induced by root. *Plant and Soil*, The Hague, v.61, n.1, p.7-26, 1981.

OAKS, A. et al. The role of nitrate and ammonium ions and light on the induction of nitrate reductase in maize leaves. *Plant Physiology*, Rockville, v.88, p.1067-1072, 1982.

OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.72, n.6, p.739-750, 1994.

OUKO, M. O. Nitrate reductase activity in rice as a screening tool for weed competitiveness. 2003. 85f. Thesis (Masters of Agriculture)-Faculty of Agriculture University of Bonn, Kenya.

RAIJ, B. Van. *Avaliação da fertilidade do solo*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1991. 142p.

RAJASEKHAR, V. K.; MOHR, H. Effect of ammonium and nitrate on growth and appearance of nitrate reductase and nitrite reductase in dark-and light-grown mustard seedlings. *Planta*, Wurzburg, v.169, n.4, p.594-599, 1986

RAVEN, J.A.; SMITH, F.A. Nitrogen assimilation and transport in vacuolar land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytologist*, Cambridge, v.77, p.415-431, 1976.

RAVEN J.A.; WOLLENWEBER B.; HANDLEY L.L. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen-sources for photolithotrophs. *New Phytology*, Cambridge, v.121, n.1, p.19-32, 1992.

SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: . *Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.267-319.

SANTOS, A. M. et al. Efeito de diferentes concentrações de nitrato em solução nutritiva sobre os teores de $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, N-amino livre e atividade da nitrato redutase em duas variedades de arroz. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004. *Anais Fertbio... UDESC*, 2004. CD-ROM.

SANTOS, J. H. S. *Proporções nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins aruana e marandu*. 2003a. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, M. R. et al. Resposta de genótipos de arroz irrigado por aspersão ao boro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29., 2003b, Ribeirão Preto. *Anais... Ribeirão Preto: UNESP*, 2003. CD-ROM

- SHEN, T.C.** Nitrate reductase of rice seedlings and its induction by nitro-compounds. *Plant Physiology*, Rockville, v.49, n.4-6, p.546-549, 1972.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS A. D. M.** An evaluation of the evidence for, and implications of, cytoplasmic nitrate homeostasis. *Plant Cell Environmental*, Blackwell, v.25, n.10, p.1211-1217, 2002.
- SILVEIRA, J. S. M.; SANT'ANNA, R.** Efeitos de nitrato e do amônio no crescimento e fracionamento do N em capim-colonião. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.2, p.135-143, 1988.
- SIVASANKAR S. AND OAKS A.** Nitrate assimilation in higher plants: the effect of metabolites and light. *Plant Physiology Biochem.*, Essex, v. 34, p.609-620, 1996.
- SOARES, A. A.** *Cultura do arroz*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 114p.
- SOARES, A. A.** Desvendando o segredo do insucesso do plantio direto do arroz de terras altas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.25. p.58-66, 2004.
- SOMMERS, D. A. et al.** Synthesis and degradation of Barley nitrate reductase. *Plant Physiology*, Hockville, v.72, p.942-952, 1993.
- SOUZA, S. R.** Efeito da aplicação foliar de nitrogênio pós-antese sobre as enzimas de assimilação de N e acúmulo de proteína em grãos de arroz. 1995. 178f. Tese (Pós-Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- SRISVASTAVA, H. S.** Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. *Phytochemistry*, Oxford, v.19, n.5, p.725-733, 1980.
- STOREY, R.; BEEVERS, L.** Enzymology of glutamine metabolism related a senescence and seed development in the pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Physiology*, Rockville, v.61, n.4, p.494-500, 1978.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.** *Fisiologia do estresse*. 3.ed.trad. In: **TAIZ, L.; ZEIGER, E.** *Fisiologia vegetal*. Califórnia: Artmed, 2004.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 95p. (Boletim Técnico, 5).

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment*, New York, v.23, n.10, p.1005-1024, 2000.

WADA, G.; SHOJI, S.; MAE, T. Relationship between nitrogen absorption on growth and yield of rice plant. *Japan Agriculture Research Quarterly*. Tokio, v.20, p.135-144, 1986.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Annual Review In Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v.52, n.1, p.659-688, 2001.

WILSON, C. E.; NORMAN, R. J. Jr.; WELLS, B. R. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen applied in split applications to rice. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.6, p.1884-1887, 1989.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R.S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? Potafos, 2000. (Informações Agronômicas, 91).

YOKOYAMA, L. P.; RUCATTI, E. G.; KLUTHCOUSKI, J. Economia da produção: conjuntura, mercados e custos. In: _____. *A cultura do arroz no Brasil*. Santo Antônio de Goiás/GO: Embrapa Arroz e Feijão. 1999. Cap. 2, p.36-57.

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

TABELA 1	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 26 dias após o transplântio.....	56
TABELA 2	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 41 dias após o transplântio.....	56
TABELA 3	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 70 dias após o transplântio.....	57
TABELA 4	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRSMG Conai, aos 26 dias após o transplântio	57
TABELA 5	Quadrados médios da análise de variância relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRSMG Conai aos 41 dias após o transplântio.....	57
TABELA 6	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRSMG Conai aos 70 dias após o transplântio	58

TABELA 7	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRS Colosso, no final do ciclo da cultura. (130 DAT)..... 58
TABELA 8	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRSMG Conai, no final do ciclo da cultura. (130 DAT). 58
TABELA 9	Quadrados médios da análise de variância, relacionados às variáveis de produção de grãos da cultivar BRS Colosso 59
TABELA 10	Quadrados médios da análise de variância, relacionados às variáveis de produção de grãos da cultivar BRSMG Conai 59
TABELA 11	Quadrados médios da análise de variância, relacionados aos teores e acúmulos de proteínas nos grãos de arroz das cultivares BRS Colosso e BRSMG Conai 59
TABELA 12	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase nas folhas (ARNF), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal ($N-NH_4^+$), nítrico ($N-NO_3^-$) e orgânico (N-orgânico) na parte aérea da cultivar BRS Colosso..... 60
TABELA 13	Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase do nitrato nas folhas (ARNF), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal ($N-NH_4^+$), nítrico ($N-NO_3^-$) e orgânico (N-orgânico) na parte aérea da cultivar BRSMG Conai 60
TABELA 14	Quadrados médios da análise de variância relacionados à atividade da redutase do nitrato nas raízes (ARNR), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-

NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-orgânico) nas raízes da cultivar BRS Colosso 61

TABELA 15 Quadrados médios da análise de variância relacionados à atividade da Redutase do Nitrato nas raízes (ARNR), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-Orgânico) nas raízes da cultivar BRSMG Conai 61

TABELA 1A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 26 dias após o transplântio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	0,03165**	0,1239***	0,2739***	0,4891*
Erro	0,3024	0,0055	0,1019	0,1219
CV (%)	20,30	19,39	23,09	17,42

*** e * significativo a 0,1% e 5%, pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 2A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 41 dias após o transplântio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	0,9518***	2,8327***	6,9400***	12,1333***
Erro	0,0348	0,0518	0,0802	1,3333
CV (%)	19,57	13,90	18,78	19,63

*** significativo a 0,1%, pelo teste de F.

TABELA 3A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRS Colosso, aos 70 dias após o transplantio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	14,6732***	129,4197***	283,6185***	37,2444***
Erro	0,1526	1,8358	2,7587	1,4667
CV (%)	10,50	13,79	11,64	12,27

*** significativo a 0,1%, pelo teste de F.

TABELA 4A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRSMG Conai, aos 26 dias após o transplantio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	0,0187*	0,0830*	0,1785*	2,0193*
Erro	0,0057	0,0240	0,0411	0,4367
CV (%)	18,99	20,09	16,15	14,43

* significativo a 5%, pelo teste de F.

TABELA 5A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRSMG Conai, aos 41 dias após o transplantio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	0,4353**	0,0937***	3,6263***	9,2444***
Erro	0,05637	0,04383	0,0847	1,2000
CV (%)	22,16	10,47	19,92	12,84

*** e ** significativo a 0,1% e 1%, pelo teste de F.

TABELA 6A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos por planta (NP) da cultivar BRSMG Conai, aos 70 dias após o transplântio

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	15,4785	73,4814***	152,9280***	63,7778***
Erro	0,3471	0,5793	59,2299	3,3778
CV (%)	13,89	18,67	15,03	15,32

*** e ** significativo a 0,1% e 1%, pelo teste de F.

TABELA 7A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRS Colosso, no final do ciclo da cultura. (130 DAT)

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	13,153*	241,362*	376,99**	51,300*
Erro	3,553	58,951	42,504	15,450
CV (%)	19,65	18,78	12,70	12,50

** e *, significativo a 1% e 5% pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 8A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) da cultivar BRSMG Conai, final do ciclo da cultura. (130 DAT)

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Conai')			
	MSR	MSPA	MST	NP
Nitrato:amônio	39,879*	391,035**	165,910*	280,300*
Erro	13,436	63,904	68,930	62,250
CV (%)	28,73	17,36	14,97	20,00

** e * significativo a 1% e 5%, pelo teste de F, respectivamente

TABELA 9A Quadrados médios da análise de variância relacionados às características de produção e qualidade de grãos da cultivar BRS Colosso

Fontes de Variação	Quadrados Médio ('BRSColosso')				
	Nº de perfilhos férteis	Número de panículas/planta	Massa de 100 grãos	Produção grãos	% grãos cheios
Nitrato:amônio	2377,632***	172,075**	0,066 ^{ns}	415,249**	75,153 ^{ns}
Erro	107,726	20,550	0,023	37,549	194,645
CV (%)	17,72	26,13	7,50	13,62	15,36

***, ** e ^{ns} significativo a 0,1% e 1% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 10A Quadrados médios da análise de variância relacionados às características de produção e qualidade de grãos da cultivar BRSMG Conai

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRSMG Conai')				
	Nº de perfilhos férteis	Número de panículas/planta	Massa de 100 grãos	Produção grãos	% grãos cheios
Nitrato:amônio	958,389**	123,200**	0,2614*	571,167*	1205,460**
Erro	117,219	19,717	0,029	148,080	88,737
CV (%)	14,723	16,06	6,07	14,35	14,52

** e *, significativo a 1% e 5% pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 11A Quadrados médios da análise de variância relacionados aos teores e acúmulos de proteínas nos grãos de arroz das cultivares BRS Colosso e BRS Conai

Fontes de variação	Quadrados médios			
	'BRS Colosso'		'BRSMG Conai'	
	Teor de Proteínas	Acúmulo de proteínas	Teor de Proteínas	Acúmulo de proteínas
Nitrato:amônio	2035,715*	4,959*	1021,433 ^{ns}	7,695**
Erro	610,882	1,210	1138,521	1,492
CV (%)	13,28	24,43	22,60	29,54

** , * e ^{ns} significativo a 1% e 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 12A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase do nitrato nas folhas (ARNF), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-orgânico) na parte aérea da cultivar BRS Colosso

Fontes de Variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')				
	ARNF	N-Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-orgânico
DAT	94,538**	200,984*	0,0782*	0,883*	178,580169*
Erro 1	3,147	15,439 ^{ns}	0,0100	0,0509	15,101579
Nitrato:amônio (P)	20,667**	21,792	0,0217*	2,347***	17,847070 ^{ns}
DAT*P	11,197**	71,108**	0,0385*	0,179**	76,806480**
Erro 2	1,408	14,106	0,015	0,0257	14,109367
CV 1(%)	27,88	8,75	19,01	22,60	8,96
CV 2 (%)	18,65	8,36	22,88	16,06	8,66

***, **, * e ^{ns} significativo a 0,1%, 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 13A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase do nitrato nas folhas (ARNF), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-Organico) na parte aérea da cultivar BRSMG Conai

Fontes de Variação	Quadrados médios ('BRSMG Conai')				
	ARNF	N-Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-orgânico
DAT	278,378**	17,459 ^{ns}	0,140**	1,247 ^{ns}	13,728 ^{ns}
Erro 1	6,669	5,733	0,004	0,380	3,243
Nitrato:amônio (P)	16,527*	29,138 ^{ns}	0,020 ^{ns}	3,069*	38,577 ^{ns}
DAT*P	8,610 ^{ns}	59,346 ^{ns}	0,068**	0,547 ^{ns}	58,782 ^{ns}
Erro 2	6,149	37,047	0,010	0,363	37,647
CV 1(%)	21,52	5,48	11,63	18,21	4,28
CV 2 (%)	25,87	13,92	18,32	16,91	14,57

** , * e ^{ns} significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 14A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase do nitrato nas raízes (ARNR), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-Orgânico) nas raízes da cultivar BRS Colosso

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRS Colosso')				
	ARNR	N-Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-orgânico
DAT	0,868*	82,918 ^{ns}	0,644*	28,778**	176,760*
Erro 1	0,036	23,440	0,022	0,274	23,256
Nitrato:amônio (P)	0,372*	50,171 ^{ns}	0,186***	16,822***	31,125 ^{ns}
DAT*P	0,329*	36,717 ^{ns}	0,122***	2,323***	34,843 ^{ns}
Erro 2	0,106	20,756	0,014	0,202	21,113
CV 1(%)	18,22	14,52	18,01	13,18	16,89
CV 2 (%)	20,09	13,66	14,46	11,31	16,09

***, **, * e ^{ns} significativo a 0,1% , 1% , 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

TABELA 15A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à atividade da redutase do nitrato nas raízes (ARNR), teores de nitrogênio total (N-total), amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻) e orgânico (N-orgânico) nas raízes da cultivar BRSMG Conai

Fontes de variação	Quadrados médios ('BRSMG Conai')				
	ARNR	N-Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-orgânico
DAT	0,130 ^{ns}	206,521*	0,590ns	19,348**	255,802*
Erro 1	0,0245	16,718	0,035	0,097	16,620
Nitrato:amônio (P)	1,008***	49,003ns	0,121*	25,059***	75,776*
DAT*P	0,786***	86,366**	0,038 ^{ns}	2,574***	58,363*
Erro 2	0,075	21,071	0,040	0,138	20,432
CV 1(%)	19,06	12,26	22,61	10,11	13,86
CV 2 (%)	23,44	13,77	24,28	12,02	15,36

***, **, * e ^{ns} significativo a 0,1% , 1% , 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.