UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

FORMAS DE NITROGÊNIO NO SOLO E PRODUÇÃO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM PLANTIO DIRETO

EDEMAR MORO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Maio - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

FORMAS DE NITROGÊNIO NO SOLO E PRODUÇÃO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM PLANTIO DIRETO

EDEMAR MORO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol
Co-orientador: Dr. Heitor Cantarella

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Maio – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Moro, Edemar, 1977-
M867f Formas de nitrogênio no solo e produção do arroz de terras altas em plantio direto / Edemar Moro. - Botucatu : [s.n.], 2011
vii, 120 f. : il., gráfs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Co-orientador: Heitor Cantarella
Inclui bibliografia

1. Plantas de cobertura. 2. Bactérias nitrificantes. 3. Nitrato redutase. 4. Inibição da nitrificação. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Cantarella, Heitor. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FORMAS DE NITROGÊNIO NO SOLO E PRODUÇÃO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM PLANTIO DIRETO

ALUNO: EDEMAR MORO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE C CRUSCIOL
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. HEITOR CANTARELLA

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE C CRUSCIOL

PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

PROF. DR. PAULO CÉSAR OCHEUZE TRIVELIN

PROF. DR. MILTON FERREIRA DE MORAES

PROF. DR. JOÃO KLUTHCOUSKI

Data da Realização: 20 de maio de 2011.

OFEREÇO

AOS MEUS PAIS ALGEMIRO E NADIR E AOS MEUS IRMÃOS FLÁVIO E LUCIANO, OS GRANDES RESPONSÁVEIS POR ESTÁ CONQUISTA.

MENSAGEM

"Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o impossível."
(São Francisco de Assis**)**

DEDICO

À MINHA ESPOSA ADRIANA

A MINHA FILHA CATARINA

AO MEU FILHO DAVI JOSÉ

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por Ele sempre mostrar a razão futura daquilo que não entendemos no presente.

À minha esposa Adriana que sempre me incentivou, me deu forças nos momentos difíceis e ajudou na execução deste trabalho.

Aos meus pais e a meus irmãos que sempre estiveram junto comigo nesta caminhada, e nunca mediram esforços para que esta conquista fosse possível.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, por me orientar e por ter me avisado que seria o caminho mais longo para obter a colheita. O dia chegou e um sonho foi realizado. Eternamente grato.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo financiamento da pesquisa e pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Co-orientador Dr. Heitor Cantarella por ter feito parte desta conquista. Lembrarei-me sempre de seus conselhos.

Ao Dr. Fernando Broetto pela ajuda na determinação da enzima nitrato redutase, dedicando seu tempo e disponibilizando as condições necessárias para realização das análises.

Márcio Lambais por todo o apoio para realização das análises microbiológicas.

Aos amigos Dácio Olibone e Ana Paula Encide Olibone por toda à ajuda e amizade durante os cinco anos de Botucatu.

A Embrapa arroz e feijão pela doação de sementes de arroz utilizadas no experimento.

A empresa Sementes Facholi pela doação das sementes de braquiárias.

Aos companheiros de laboratório Elizeu Luiz Brachtvogel, Fransisco Rafael da Silva Pereira e Jayme Ferrari Neto. Tudo em prol da pesquisa.

A Denise de Lourdes Colombo Mescolotti e Luis Fernando Baldesin pela disposição e por toda a ajuda com as análises microbiológicas.

Aos funcionários do departamento de Produção Vegetal, em especial a Dorival Pires de Arruda, Vera Lúcia Rossi, Ilanir Rosane R. Bocetto e Célio Mariano.

A todos os funcionários da FCA pela amizade e por propiciarem todas as condições para trilhar esta etapa acadêmica.

Aos estagiários, Larissa Lozano Teixeira de Carvalho, Bruno Henrique Fernandes e João Paulo Costa Carneiro, pela dedicação e ajuda prestada.

A Alaine Patrícia Moraes e Sarah Setznagl pela amizade e por toda a ajuda prestada durante as análises laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela colaboração e sugestões na discussão dos resultados.

A todos os colegas do curso de pós-graduação pela amizade e companheirismo.

SUMÁRIO

1. RESUMO **1**
2. SUMMARY **4**
3. INTRODUÇÃO **7**
4. REVISÃO DE LITERATURA **9**
4.1. Cultivo do arroz de terras altas no Brasil 9
4.2. Dinâmica do nitrogênio no solo 11
4.2.1. Ação de processos biológicos 12
4.2.2. Ação de processos físicos-químicos 14
4.3. Manejo do N na cultura do arroz de terras altas 15
4.3.1. Solos com acidez corrigida 17
4.3.2. Solos com acidez não corrigida 18
4.4. Atividade da enzima nitrato redutase 19
4.5. Inibição da nitrificação 21
4.5.1. Inibidores biológicos da nitrificação 21
4.5.2. Inibidores sintéticos da nitrificação 26
5. MATERIAL E MÉTODOS **28**
5.1. Experimentos em casa de vegetação 28
5.1.1. Experimento 1 - Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas 28
5.1.2. Experimento 2 - Efeito do pH nas formas de N, no teor de micronutrientes e na atividade da enzima nitrato redutase do arroz 31
5.1.3. Experimento 3 - Efeito de micronutrientes na atividade da enzima nitrato redutase do arroz 31
5.2. Experimento de campo - Plantas de cobertura e fontes de nitrogênio para o arroz de terras altas no sistema plantio direto 36
5.2.1. Caracterização da área experimental 36
5.2.2. Delineamento experimental e tratamentos 37
5.2.3. Instalação e condução do experimento 38
5.2.4. Avaliações 41
5.3. Análise Estatística 42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO **43**
6.1. Experimento 1 - Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas 43
6.2. Experimento 2 - Efeito do pH nas formas de N no solo, no teor de micronutrientes e na atividade da enzima nitrato redutase do arroz 44
6.2.1. Teor de N-NH_4^+ do solo 44
6.2.2. Teor de N-NO_3^- do solo 46
6.2.3. Teor de micronutrientes na parte aérea do arroz 47
6.2.4. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz 52
6.2.5. Produção de matéria seca da parte aérea 53
6.2.6. Perfilhamento do arroz 54
6.2.7. Componentes da produção e produtividade de grãos 57

6.3. Experimento 3 - Efeito de micronutrientes na atividade da enzima nitrato redutase 59
6.3.1. Teor de N-NH_4^+ do solo 59
6.3.2. Teor de N-NO_3^- do solo 60
6.3.3. Teor de micronutrientes na parte aérea do arroz 61
6.3.4. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz 65
6.3.5. Produção de matéria seca da parte aérea 67
6.3.6. Perfilhamento do arroz 68
6.3.7. Componentes da produção e produtividade de grãos 68
6.4. Experimento de campo - Plantas de cobertura e fontes de nitrogênio para o arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto 71
6.4.1. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 14 dias após a emergência 71
6.4.2. Teor de N-NO_3^- do solo aos 14 dias após a emergência 71
6.4.3. Nitrogênio total do solo aos 14 dias após a emergência 74
6.4.4. pH do solo aos 14 dias após a emergência 75
6.4.5. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 28 dias após a emergência 76
6.4.6. Teor de N-NO_3^- do solo aos 28 dias após a emergência 78
6.4.7. Nitrogênio total do solo aos 28 dias após a emergência 79
6.4.8. pH do solo aos 28 dias após a emergência 80
6.4.9. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 42 dias após a emergência 81
6.4.10. Teor de N-NO_3^- do solo aos 42 dias após a emergência 83
6.4.11. Nitrogênio total do solo aos 42 dias após a emergência 85
6.4.12. pH do solo aos 42 dias após a emergência 86
6.4.13. Bactérias amonificantes e nitrificantes no solo 87
6.4.14. Nitrogênio na planta aos 28 dias após a emergência 90
6.4.15. Nitrogênio na planta aos 42 dias após a emergência 92
6.4.16. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz 93
6.4.17. Componentes da produção e produtividade de grãos 96
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 101
8. CONCLUSÕES 102
8.1. Experimento 1 102
8.2. Experimento 2 102
8.3. Experimento 3 102
8.4. Experimento de campo 103
9. REFERÊNCIAS 104

1. RESUMO

O nitrogênio (N) é o principal nutriente exigido pela cultura do arroz de terras altas, no entanto o aumento no teor de N no solo nem sempre é vantajoso, principalmente, quando cultivado no sistema plantio direto (SPD), onde há predominância de nitrato. Portanto, o insucesso do arroz de terras altas no SPD pode ser decorrente da predominância de nitrato no solo, pois a correção da acidez resulta em condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores. A provável razão para isso pode estar associada à baixa atividade da enzima nitrato redutase nos primeiros 30 dias após a emergência. No entanto, tem sido observado por produtores, que sobre palhada de braquiária a cultura se desenvolve melhor no SPD. Uma das hipóteses que pode explicar tal resultado é o provável efeito que espécies desse gênero exercem na inibição da nitrificação. Diante do exposto, objetivou-se por meio deste trabalho estudar a influência da interação plantas de cobertura x fontes de N nas formas de N no solo e as conseqüências na atividade da enzima nitrato redutase, bem como na produtividade de grãos do arroz de terras altas no sistema plantio direto. A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental Lageado da FCA/UNESP - Botucatu-SP e executado em duas etapas. Na primeira etapa foram realizados três experimentos em casa de vegetação. No experimento 1, o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 10 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 10 cultivares de arroz de terras altas (Caiapó, Carajás, IAC-25, Primavera, IAC 202, BRS Sertaneja, BRS Bonança, BRS Curinga, Maravilha e BRS Talento) combinadas com 4 épocas de avaliação (7, 14, 21 e 28 dias após a emergência - DAE). Foram avaliadas diferenças entre cultivares de arroz quanto a atividade da enzima nitrato redutase (NR). No experimento 2, o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4, com

quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 3 níveis de acidez do solo (alta pH 4,5; média pH 5,5 e baixa pH 6,3) combinados com 4 fontes de N (nítrica, amoniacal, amoniacal + inibidor de nitrificação-DCD e testemunha). As avaliações realizadas foram: teor de nitrato e amônio no solo, teor de micronutrientes catiônicos na parte aérea do arroz, atividade da enzima NR, produção de matéria seca de plantas, componentes de produção e produtividade do arroz. No experimento 3, o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 5, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por três níveis de acidez do solo (alta, média e baixa) combinados com micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Fe+Zn+Mn e testemunha - sem micro). As avaliações realizadas foram: teor de nitrato e amônio no solo, teor de micronutrientes catiônicos na parte aérea do arroz, atividade da enzima NR, produção de matéria seca de plantas, componentes de produção e produtividade do arroz. Na segunda a pesquisa foi realizada no campo, safra 2009/2010. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídos por seis espécies de plantas de cobertura do solo (*Brachiaria brizantha, B. decumbens, B. humidicola, B. ruziziensis, Pennisetum americanum* e *Crotalaria spectabilis*) e as subparcelas por sete formas de manejo da adubação nitrogenada (M1 - 80 kg ha^{-1} de nitrato de cálcio aos 30 DAE, M2 - 40 kg ha^{-1} de nitrato de cálcio aos 0 DAE e 40 kg ha^{-1} aos 30 DAE, M3 - 80 kg ha^{-1} de sulfato de amônio aos 30 DAE, M4 - 40 kg ha^{-1} de sulfato de amônio aos 0 DAE e 40 kg ha^{-1} aos 30 DAE, M5 - 80 kg ha^{-1} de sulfato de amônio + inibidor de nitrificação/DCD aos 30 DAE, M6 - 40 kg ha^{-1} de sulfato de amônio + DCD aos 0 DAE e 40 kg ha^{-1} aos 30 DAE e M7 - testemunha - ausência de N). Foram realizadas as seguintes avaliações: a) $N\text{-}NO_3^-$, $N\text{-}NH_4^+$ e bactérias amonificantes e nitrificantes no solo; b) N-total, $N\text{-}NO_3^-$, $N\text{-}NH_4^+$ e atividade da enzima NR na parte aérea; c) componentes de produção e produtividade de grãos do arroz. Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos comparadas pelo teste de t – LSD a 5%. Os principais resultados obtidos foram: Experimento 1 - a atividade da enzima NR diminuiu a medida que aumentou o ciclo do arroz. Não houve diferença marcantes entres as cultivares avaliadas. Experimento 2 - a produção de matéria seca da parte aérea e o número de perfilhos foram maiores para média e alta acidez, quando o nitrogênio foi fornecido na forma amoniacal. A cultura do arroz foi prejudicada em condições de baixa acidez, quando a fonte de nitrogênio utilizada foi a nítrica. O uso de inibidor de nitrificação não melhorou a eficiência da fonte

amoniacal. As maiores produtividades foram obtidas em condições de alta acidez do solo, independente da fonte de nitrogênio e média acidez quando a fonte de nitrogênio utilizada foi a amoniacal. Experimento 3 - a acidez média do solo proporcionou maior atividade da enzima NR. A atividade da NR diminuiu com o aumento do tempo após a emergência do arroz. A adição de Zn proporcionou maior produção de MSPA com baixa acidez e maior número de panículas por planta. A adição de Fe proporcionou maior peso de 100 grãos em condições de alta acidez e maior produtividade em condições de média acidez do solo. Experimento de campo - O milheto foi a planta de cobertura que proporcionou a maior produtividade de grãos de arroz. O fornecimento de nitrogênio na forma amoniacal não proporcionou maior produtividade de grãos do arroz. O uso do DCD (dicianodiamida) inibiu parte das bactérias nitrificantes e resultou nos maiores teores de amônio no solo. A atividade das bactérias amonificantes e nitrificantes foi maior nas parcelas cultivadas com braquiárias. As formas de manejo de nitrogênio que proporcionaram maior produtividade foram as parceladas. A atividade da NR diminuiu a medida que aumentou o tempo após a emergência.

Palavras chaves: plantas de cobertura, bactérias nitrificantes, nitrato redutase, inibição da nitrificação.

COVER CROPS AND NITROGEN FERTILIZATION MANAGEMENT FOR UPLAND RICE UNDER NO-TILL SYSTEM. Botucatu, 2011, 133p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: EDEMAR MORO
Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Co-adviser: HEITOR CANTARELLA

2. SUMMARY

Nitrogen (N) is the main nutrient required by the upland rice, but the increase in N level in soil it is not always advantageous, especially when grown under no-tillage system (NT), where there is a predominance of nitrate NO_3^--N. Therefore, the failure of upland rice in a NT is possibly due to the predominance of nitrate in the soil, because the correction of the soil acidity results in favorable conditions for the nitrifying microorganisms. The probable reason for this may be associated to the low activity of NR in the first 30 days after emergence. However, it has been noticed by farms, that rice grows best in NT when *Brachiaria* is used as a cover crop. One of the hypothesis that can explain this result is the probable effect that species of this genus do on nitrification inhibition. The objective of this work was to study the influence of interaction between cover crops and N sources in the forms of soil N, the consequences on the NR activity, as well as in grain yield of upland rice in a NT. The research was carried out in an experimental area located in Botucatu, São Paulo State, Brazil, in two steps. In the first step three experiments were carried out in a greenhouse. In experiment 1, the experimental design was completely randomized factorial 10 x 4 with four replications. The treatments consisted of 10 cultivars of upland rice (Caiapó, Carajás, IAC-25, Primavera, IAC 202, BRS Sertaneja, BRS Bonança, BRS Curinga, Maravilha and BRS Talento) combined with four evaluation periods (7, 14 , 21 and 28 days after emergence - DAE). Differences between rice cultivars and the activity of the NR enzyme were evaluated. In experiment 2, the experimental design was completely randomized factorial 3 x 4 with four replications. The treatments consisted of three soil pH levels (high acidity - 4,5; medium acidity 5,5 and low

acidity - 6,3) combined with 4 N sources (nitric, ammoniacal, ammoniacal + nitrification inhibitor and control). The evaluations were: nitrate and ammonium contents in the soil, content of cationic micronutrients in shoots of rice, NR enzyme activity, shoot dry matter of plants, yield components and rice yield. In experiment 3, the experimental design was completely randomized factorial 3 x 5, with three replications. The treatments consisted of three soil pH levels (high acidity - 4,5; medium acidity 5,5 and low acidity - 6,3) combined with micronutrients (Fe, Zn, Mn, Fe+Zn+Mn and control - without micro). The evaluations were: nitrate and ammonium contents in the soil, content of cationic micronutrients in rice shoots, NR enzyme activity, dry matter of plants, yield components and yield of rice. The field experiment was carried out in the 2009/2010 growing season. The experimental design was a randomized complete block, in splitplot scheme with four replications. The plots were constituted by six species of cover crops (*Brachiaria brizantha, B. decumbens, B. humidicola B. ruziziensis, Pennisetum americanum* and *Crotalaria spectabilis*) and the the subplots for seven forms of fertilizer management (M1 - 80 kg ha^{-1} calcium nitrate at 30 DAE, M2 - 40 kg ha^{-1} calcium nitrate at 0 DAE and 40 kg ha^{-1} at 30 DAE, M3 - 80 kg ha^{-1} ammonium sulfate at 30 DAE, M4 - 40 kg ha^{-1} ammonium sulfate at 0 and 40 kg ha^{-1} at 30 DAE, M5 - 80 kg ha^{-1} ammonium sulfate + nitrification inhibitor (DCD) at 30 DAE, M6 - 40 kg ha^{-1} ammonium sulfate + DCD at 0 DAE and 40 kg ha^{-1} at 30 DAE and M7 - control - no N). The following evaluations were performed: a) NO_3^--N, NH_4^+-N and ammonifying bacteria and nitrifiers in the soil; b) total-N, NO_3^--N, NH_4^+-N and the NR activity in the plants; c) yield components and grain yield of rice. Data were submitted to analysis of variance. The averages were compared by t test - LSD 5%. The main results were: Experiment 1 - The NR activity decreased as increasing the rice cycle. There was no marked difference among the tested cultivars. Experiment 2 - The production of dry matter of shoots and number of tillers were greater for middle and high acidity, when N was supplied as ammonium. The rice crop was affected in conditions of low acidity, when was used nitrate as a source of N. The use of nitrification inhibitor did not improve the efficiency of the ammonia source. The highest yields were obtained under conditions of high soil acidity, regardless of N source and medium acidity when the N source used was ammonium. Experiment 3 - The middle acidity of the soil resulted in higher NR activity. NR activity decreased with increased time after emergence of rice. The addition of Zn produced higher dry matter of plants with low acidity and a higher

number of panicles per plant. The addition of Fe provided the highest weight of 100 grains under conditions of high acidity and higher productivity in conditions of medium soil acidity. The application of micronutrients is essential to the development and productivity of rice, especially when soil acidity is low. Field experiment - The pearl millet was the cover crop that provided the highest rice grain yield. Nitrogen fertilization as ammonium did not provide higher grain yield of rice. The use of DCD inhibited depart nitrifying bacteria and resulted in higher levels of ammonium in the soil. The activity of nitrifying and ammonifying bacteria was higher in plots cultivated with *Brachiaria*. The forms of nitrogen management that provided the highest yield were the splitted ones. NR activity decreased as time increased after rice emergence.

Keywords: nitrogen fertilization, ammonium, soil fertility, nitrate, plant nutrition and crop system.

3. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como grande produtor e consumidor de arroz. Produz anualmente entre 10 e 11 milhões de toneladas. Esta quantidade é soma do arroz produzido nos ecossistemas terras altas e várzeas.

No entanto, nos últimos anos a área cultivada com arroz de terras altas sofreu grande redução. Uma das razões foi devido a redução de abertura de novas áreas na região central do Brasil, condição em que a cultura se desenvolvia bem. Outra razão foi devido a introdução do Sistema Plantio Direto (SPD) nas áreas já abertas, condição na qual a cultura não vem tendo sucesso, principalmente, na fase inicial de estabelecimento das plantas.

Embora o nitrogênio (N) seja o principal nutriente exigido pela cultura do arroz de terras altas, o N total no solo nem sempre traz vantagens à cultura, principalmente quando se trata da sub-espécie Japônica, da qual advêm os materiais adaptados ao ecossistema de terras altas. As cultivares deste grupo desenvolvem-se melhor com o fornecimento de nitrato e amônio em quantidades semelhantes. A provável razão para isso pode estar associada a baixa capacidade de assimilação do nitrato, ou seja, baixa atividade da enzima nitrato redutase (NR) nos primeiros 20 a 30 dias após a emergência.

Portanto, o insucesso do arroz de terras altas no SPD pode ser decorrente da predominância de nitrato no solo, devido a correção da acidez proporcionar condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores. Outro ponto que deve ser considerado é que a elevação do pH pode provocar a diminuição no teor de alguns micronutrientes, dentre eles o ferro e assim, comprometer a conversão do NO_3^- a NO_2^-, visto que o Fe é essencial à redução do nitrato.

Assim, a adoção de práticas que limitam por determinado tempo o processo de nitrificação e/ou aumentam o teor de amônio no solo, em quantidades equivalentes ao nitrato, podem ser a solução para o sucesso do arroz de terras altas no SPD. Uma dessas práticas parece ser o planejamento de rotação/sucessão no que diz respeito a cultura e/ou planta de cobertura antecessora ao arroz. Esse argumento é respaldado em resultados de pesquisa em que o arroz de terras altas desenvolveu-se melhor em sucessão a determinadas espécies de braquiária e também após algumas sucessões tais como, *Crotalaria juncea*/feijoeiro e milheto/feijoeiro (KLUTHCOUSKI & STONE, 2003).

Outra possibilidade de contornar o problema da baixa atividade da enzima NR, na fase inicial de desenvolvimento do arroz, seria a utilização de fontes de N na forma amoniacal na semeadura e/ou logo após a emergência. No entanto, como as transformações de N-amoniacal em N-nítrico no solo ocorrem de forma rápida, algumas medidas seriam necessárias, destacando-se o uso de inibidores de nitrificação junto com as fontes amoniacais e o cultivo do arroz após plantas de cobertura com potencial de inibição da nitrificação.

Em vista das informações acima descritas as hipóteses deste trabalho foram: a) o baixo desempenho do arroz em SPD pode ocorrer não só pela predominância de nitrato, mas também pela deficiência de micronutrientes; b) plantas de cobertura podem inibir a nitrificação e consequentemente equilibrar a proporção NO_3^-/NH_4^+ no solo, melhorando o desenvolvimento do arroz de terras altas para produtividades em níveis econômicos viáveis; c) quando se cultiva arroz de terras altas no SPD a probabilidade de sucesso é maior quando são utilizadas fontes de nitrogênio amoniacais.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar influência da interação de plantas de cobertura e de fontes de N nas formas de N no solo e as conseqüências na atividade da enzima NR, bem como na produtividade de grãos do arroz de terras altas em SPD.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Cultivo do arroz de terras altas no Brasil

O arroz de sequeiro ganhou espaço no cenário nacional de produção de grãos em função do avanço da fronteira agrícola para a região dos Cerrados. Foi considerado a principal cultura nesta região agrícola (CRUSCIOL et al. 1999a; CRUSCIOL et al. 1999b) e seu cultivo ocorria em áreas de abertura para implantação de pastagens ou em áreas para fins agrícolas onde era cultivado por um a dois anos em solos preparados e corrigidos de forma precária (GUIMARÃES & STONE, 2004).

A cultura do arroz se desenvolvia bem nestas condições por ser este cereal adaptado às condições naturais dos solos ácidos, daí ser considerada a cultura "desbravadora" dos solos, após a derrubada da vegetação nativa (OLIVEIRA & YOKOYAMA, 2003). Outro aspecto que favorece seu cultivo em áreas de abertura é o baixo custo de produção e facilidade de implantação em relação a outras culturas, tais como o milho e a soja (CRUSCIOL et al. 1999a e CRUSCIOL et al. 1999b).

Posteriormente, dois fatores contribuíram para a redução da área cultivada. O primeiro foi a preferência dos consumidores pelo arroz com grãos tipo agulhinha, até então cultivado nas condições irrigadas da região sul do país e o segundo foi a redução de aberturas de novas áreas na região central do Brasil (GUIMARÃES & STONE, 2004).

Com o advento dos novos cultivares, o arroz de sequeiro tradicional cedeu espaço para uma cadeia produtiva mais tecnificada, empresarial, denominada de "arroz terras altas" (BRESEGHELLO & YOKOYAMA, 2000), e passou a ser cultivado em rotação com soja (COBUCCI, 2001) principalmente, na região dos Cerrados em SPD.

O SPD nos trópicos foi consagrado, principalmente com as culturas de soja, milho, feijão, sorgo e trigo. A cultura do arroz, também tem apresentado bom desempenho no SPD quando cultivado sob irrigação por inundação, entretanto, quando cultivada no ecossistema de terras altas, a cultura não tem se desenvolvido adequadamente (MOURA NETO et al., 2002). Aidar & Kluthcouski (2003) relataram que o arroz de terras altas parece ser, dentre as principais culturas, o menos adaptado ao SPD, embora as razões desta observação ainda não foram elucidadas.

O cultivo de arroz no ecossistema de terras altas, apesar das importantes inovações tecnológicas conseguidas nas décadas de 80 e 90, tem dois grandes desafios; o primeiro, é consolidar a cultura de forma sustentável nos diferentes sistemas de produção de grãos, especialmente sob SPD e o segundo é a mudança do perfil do rizicultor, ainda falta muito para se alcançar um estágio que possa classificá-los como profissionais da cultura (KLUTHCOUSKI & PINHEIRO, 2003).

Séguy & Bouzinac (1996) desenvolveram pesquisas com o arroz de terras altas no SPD no Centro-Norte do Mato Grosso e relatam que a cultura não expressou seu potencial produtivo. Os autores observaram que no SPD a produção foi de 1.655 kg ha^{-1}, enquanto que no cultivo com gradagens contínuas e com aração profunda a produção foi de 1.835 kg ha^{-1} e 3.093 kg ha^{-1}, respectivamente.

Algumas hipóteses surgiram na tentativa de explicar o baixo desempenho da cultura no SPD. Uma delas seria a grande exigência em macroporosidade no perfil do solo. No entanto, essa hipótese não foi sustentada. Segundo Kluthcouski et al. (2000) a adoção do SPD nos últimos anos deu-se em razão da solução parcial ou total dos problemas de primeira geração, tais como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, dentre outros. Porém, mesmo com todas estas melhorias, a cultura do arroz não tem apresentado bom desenvolvimento.

Embora haja correção do perfil do solo, as mudanças superficiais são muito intensas. O não-revolvimento do solo no SPD e o conseqüente acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na superfície promovem modificações das características químicas, físicas e biológicas do solo. Estas alterações refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas. Modificam o movimento e a redistribuição de compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio (KOCHHANN & SELLES, 1991).

4.2. Dinâmica do nitrogênio no solo

O nitrogênio está presente no solo sob de três formas principais, compostos orgânicos em restos vegetais (i), nos organismos e húmus do solo (ii) e em formas inorgânicas (iii). Nesta última forma o N está representado pelo NH_4^+ fixado em minerais de argila e pelo NH_4^+, NO_3^- e NO_2^- presentes na solução do solo. A proporção média de ocorrência de cada forma está representada na Figura 1 (MCLAREN & CAMERON, 1996).

O nitrogênio no solo está predominantemente na forma orgânica e é liberado ao solo por processos biológicos (mineralização, desnitrificação e imobilização). Após as transformações microbiológicas do N, atuam os processos físicos-químicos (volatilização, fixação e lixiviação), geralmente associados a saídas de N dos sistemas agrícolas.

A disponibilidade de N no solo depende do balanço entre os processos de mineralização e os de imobilização. O balanço entre esses processos pode variar com o tempo, com a constituição do resíduo orgânico em decomposição, com a atividade microbiana do solo (MARSCHNER, 1995; AITA & GIACOMINI, 2007) e também com o sistema de cultivo adotado. Gonçalves et al. (2000) observaram que após seis anos de manejo do solo no SPD, apenas 4% do nitrogênio foi encontrado sob a forma mineral (NO_3^-, NO_2^- e NH_4^+).

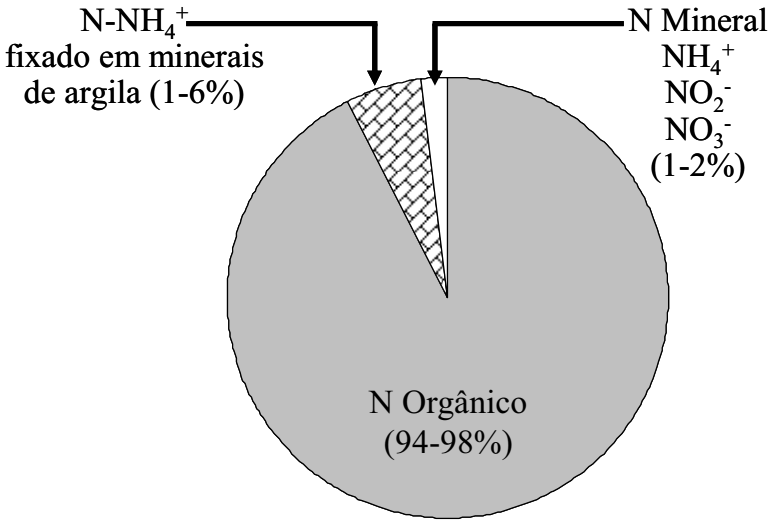

Figura 1. Distribuição das formas de nitrogênio no solo (McLAREN & CAMERON, 1996).

4.2.1. Ação de processos biológicos

O acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo promove aumento da atividade biológica e como conseqüência transformações do material orgânico. Em relação ao N as principais transformações de origem biológica são: mineralização (amonificação e nitrificação), desnitrificação e imobilização.

a) Mineralização

O processo de transformação do nitrogênio orgânico em formas inorgânicas é chamado de mineralização. No processo de mineralização da matéria orgânica, o N passa pelas seguintes etapas: N-orgânico; N-amídico; N-amoniacal; N-nitrico (N-nitrito e N-nitrato). O amônio e o nitrato produzidos são conseqüência de dois processos microbiológicos distintos, a amonificação e a nitrificação (PAUL & CLARK, 1989).

A amonificação, é o processo de desaminação de compostos orgânicos nitrogenados complexos (PAUL & CLARK, 1989) que podem ser proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos. Quando os microorganismos decompositores (bactérias saprófitas e fungos) atuam sobre a matéria orgânica nitrogenada liberam diversos resíduos para o meio ambiente, entre eles a amônia (NH_3). Combinando-se com a água do solo, a amônia forma hidróxido de amônio que ionizando-se, produz NH_4^+ (íon amônio) e OH^- (hidroxila) (CARDOSO, 1992).

O processo de nitrificação envolve a conversão de NH_4^+ do solo em NO_3^-, por reações de oxidação (CAMERON, 1992). Esta reação é governada pela atividade de dois grupos específicos de bactérias autotróficas e ocorre em duas etapas. A primeira denominada de nitritação envolve a conversão de NH_4^+ a NO_2^- por Nitrosomonas e Nitrosospira, (WILD, 2009) de acordo com a Equação 1.

Equação 1. $2NH_4^+ + 3O_2$ ---*Nitrosomonas*---> $2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$

Esta etapa da nitrificação pode ser subdividida em outras duas, de acordo com a atuação das enzimas amônia mono-oxigenase (AMO) e hidroxilamina oxidoredutase (HAO), presentes nas bactérias Nitrosomonas (SUBBARAO et al., 2007a; 2007b). Estas enzimas catalisam as reações essenciais do processo de oxidação da amônia

(SUBBARAO et al., 2008). A AMO atua na conversão da amônia em hidroxalamina (Equação 2) e a HAO atua na conversão da hidroxalamina à nitrito (Equação 3).

Equação 2. $NH_3 + O_2 + 2H^+$ ----AMO----> $NH_2OH + H_2O$

Equação 3. $NH_2OH + H_2O$ -----HAO-----> $NO_2^- + 5H^+$

A segunda etapa do processo de nitrificação é chamada de nitratação, ou seja, a oxidação de NO_2^- à NO_3^-. É realizada em uma única fase por ação da enzima nitrito oxidoredutase presente nas bactérias do gênero Nitrobacter (Equação 4). Esta conversão ocorre rapidamente e, portanto, o nitrito raramente se acumula no solo (WILD, 2009).

Equação 4. $2NO_2^- + O_2$ ---*nitrito oxidoredutase*---> $2NO_3^-$

Nos sistemas existem várias causas que aceleração o processo de nitrificação (POUDEL et al., 2002). Algumas dessas causas são inevitáveis como a correção do solo e melhorias na estrutura física, o que resulta em maior aeração. Porém existem outras que poderiam ser contornadas, como a falta de rotação de culturas e o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados (SUBBARAO, 2009a).

Dessa forma, a principal forma de N encontrada em solos de terras altas é o NO_3^-, independente da fonte de N aplicada. Além disso, quando o solo é cultivado com arroz as raízes podem arejar o solo (na região da rizosfera) o que favorece ainda mais o processo de nitrificação (RUBINIGG et al, 2002; WANG & PENG, 2003).

b) Desnitrificação

Muitas bactérias são capazes de utilizar NO_3^- em vez de oxigênio como aceptor de elétrons em seus terminais da cadeia respiratória e, assim, reduzir NO_3^- em nitrito (NO_2^-) e hiponitrito (HON_2O_2), e depois em N elementar (N_2), óxido nitroso (N_2O) e nítrico (NO) cujo destino é a atmosfera. Este processo é conhecido como desnitrificação (FENN & HOSNER, 1985).

c) Imobilização

A imobilização do N é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Esse processo é mediado por microorganismos que incorporam o N inorgânico disponível no solo às suas células. Ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou ser incorporado às células de outros microorganismos (CANTARELLA, 2007).

A disponibilidade de N no solo é, portanto, controlada pelos processos microbianos de mineralização e imobilização, os quais dependem basicamente da relação C/N e da composição bioquímica dos resíduos culturais em decomposição (MARY et al., 1996).

As leguminosas possuem baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias. Esta característica, associada à presença de compostos solúveis, favorece a mineralização dos restos vegetais (ZOTARELLI, 2000). Já as espécies não-leguminosas de modo geral apresentam alta relação C/N, o que favorece a imobilização temporária do nitrogênio na biomassa microbiana (ANDREOLA et al., 2000).

4.2.2. Ação de processos físicos-químicos

Após as transformações biológicas dos compostos nitrogenados atuam os processos físicos-químicos, geralmente associados a saídas de N dos sistemas agrícolas. Os principais processos são volatilização de $N\text{-}NH_3$, fixação de $N\text{-}NH_4^+$ e lixiviação de $N\text{-}NO_3^-$. A maior parte do N é liberada durante o início da decomposição, o que pode coincidir com a baixa demanda em N pela cultura em desenvolvimento. Se o N mineral estiver disponível precocemente, poderão ocorrer perdas do nutriente por volatilização de amônia (AITA et al., 2001) e por lixiviação de $N\text{-}NO_3^-$ (ROSECRANCE et al., 2000).

A maior perda de nitrato por lixiviação no SPD ocorre devido a menor evaporação e melhor estruturação ao longo do perfil, o que favorece a infiltração de água no solo. O íon nitrato acompanha esse fluxo para camadas mais profundas (MUZILLI, 1983). O nitrato é o elemento mais facilmente perdido por lixiviação (FRYE, 2005), acompanhando o movimento descendente da água que percola no perfil do solo. Isto ocorre devido à predominância de cargas negativas na camada superficial do solo e à baixa interação química do ânion com os minerais do solo (CANTARELLA & MARCELINO, 2008).

4.3. Manejo do N na cultura do arroz de terras altas

O entendimento da dinâmica do N no solo é de suma importância. De todos os nutrientes minerais, o N é quantitativamente o mais importante para o crescimento das plantas. A forma de nitrogênio no solo (NO_3^-, NH_4^+) pode influenciar o balanço de cátions-ânions nas plantas (ENGELS & MARSCHNER, 1995).

O nitrogênio é o principal elemento exigido pela cultura do arroz de terras altas, especialmente às cultivares modernas (CRUSCIOL et al., 1999b) e o que mais limita a produtividade de grãos (PETERS & CALVERT, 1982). Este nutriente propicia, entre outros, os seguintes benefícios ao arroz: aumenta o número de perfilhos e com isso o número de panículas, aumenta o número e o tamanho dos grãos e o teor de proteína (FAGERIA et al., 2003).

A maioria das plantas absorve indistintamente nitrato e amônio. O arroz tem preferência pela absorção de amônio, porém outros fatores como idade, ambiente, espécie vegetal, bem como a disponibilidade no solo podem determinar a absorção preferencial de uma das formas. A utilização conjunta das duas formas de N pode levar a melhores desempenhos da planta (TISDALE et al., 1985). Para o bom crescimento e desenvolvimento do arroz é necessário o fornecimento de nitrato e amônio em quantidades semelhantes (TA & OHIRA, 1981).

Dada a sua importância e a alta mobilidade no solo, o nitrogênio tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000). Porém, o efeito da adubação nitrogenada na cultura do arroz é variável, ora incrementa a produtividade (FARINELLI et al., 2004; BORDIN et al., 2003; STONE et al., 1999), ora não (ARF et al., 1996; ARF et al., 2003). A baixa eficiência do uso agronômico do N observada em grande parte dos sistemas agrícolas é resultado de perdas de N associadas a nitrificação, ou seja, as perdas de N por lixiviação e desnitrificação do NO_3^- (RYDEN et al., 1984).

Para superar essa variação de resultados, tem-se procurado diminuir as perdas do nitrogênio no solo, bem como melhorar a absorção e a metabolização do N na planta (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000). Um das razões da inconsistência dos resultados ou provavelmente a principal, é a forma que o N está presente no solo.

É importante relatar que nos sistemas que envolvem culturas anuais, principalmente no SPD, os teores de nitrato superam os de amônio na camada superficial do solo. O predomínio do nitrato ocorre em função da adubação e da correção da acidez propiciarem condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores (D'ANDRÉA et al., 2004).

Outro aspecto a ser considerado é a velocidade de absorção. Íons como NO_3^-, K^+ e Cl^- são absorvidos mais rapidamente, enquanto a absorção de Ca^{2+}, SO_4^{2-} é relativamente lenta. A diferença na taxa de absorção significa que a planta remove cátions e ânions em quantidades desiguais do meio (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Dessa forma, quando predomina a absorção de nitrato poderá ocorrer deficiência de enxofre. Nestas situações deve-se realizar o fornecimento de S nas mesmas proporções do N, a fim de garantir o equilíbrio destes nutrientes na planta (MALAVOLTA, 1986). Considerando estas informações, o sulfato de amônio apresenta a vantagem em relação a outras fontes de N por conter S (24 % S) em sua formulação (PRIMAVESI et al., 2004), porém apresenta a desvantagem do maior custo por unidade de N.

Outro aspecto a ser considerado em relação a fontes amoniacais é a acidificação do solo, o que para a cultura do arroz não seria problema. Fageria & Zimmermann (1998) observaram maior produtividade do arroz de terras altas, quando o pH do solo estava abaixo de 5,3. Além disso, a acidez poderia retardar a nitrificação, o que também seria interessante para o arroz, uma vez essa cultura requer equilíbrio entre nitrato e amônio no solo.

Entretanto, em ambientes favoráveis à nitrificação o uso do sulfato de amônio não seria suficiente para equilibrar os teores de amônio e nitrato no solo. De acordo com Cantarella & Marcelino (2008) a maioria dos fertilizantes nitrogenados incluindo os amoniacais são solúveis em água, e liberam rapidamente NH_4^+. Aita et al. (2007) observaram que o N amoniacal é rapidamente nitrificado no solo em SPD e completamente oxidado a N nítrico, entre 15 e 20 dias após a aplicação.

Para que o equilíbrio entre amônio e nitrato seja atingido não bastam soluções imediatas. É necessário pensar no sistema como um todo e executar as alternativas antes da implantação da cultura. Soluções pontuais como o fornecimento de N na forma amoniacal surtiriam pouco efeito, visto que o N do fertilizante também seria nitrificado.

De modo geral a análise do sistema sugere que o cultivo de plantas, especialmente a do arroz seria beneficiado se fosse desenvolvido em solos com pH mais ácidos, não tão próximos da neutralidade. Nestas condições poderia ser utilizada qualquer fonte nitrogenada.

4.3.1. Solos com acidez corrigida

Em estudos avaliando o efeito da acidez do solo na cultura do arroz de terras altas, Fageria & Zimmermann (1998) relataram a diminuição na produção com o aumento do pH acima de 5,3 em Latossolo Vermelho-Escuro do cerrado. As maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde se procede a correção da acidez do solo (HAYATSU & KOSUGE, 1993).

Estudos microscópicos tem revelado que sob condições de boa nitrificação, microrganismos amônio-oxidantes e nitrito-oxidantes estão em perfeita simbiose (PHILIPS & VERSTRAETE, 2001), o que significa que não ocorrerá acúmulo de amônio no solo. Portanto, a provável causa na redução da produtividade com a elevação do pH e melhoria da fertilidade do solo pode estar relacionada com a predominância de NO_3^- no solo.

Outro fator associado ao pH que pode diminuir a produção de grãos é a deficiência de micronutrientes (FAGERIA et al., 1994). Em pH elevado (alcalino) além da diminuição da absorção dos nutrientes aniônicos da solução (NO_3^-, $H_2PO_4^-$, SO_4^-, Cl^-, MoO_4^{2-}), ocorre também a precipitação do Fe^{2+}, Mn^{2+} e Zn^{2+} (FAQUIN et al., 1996). Portanto, o cultivo em áreas com maior acidez poderia proporcionar maior disponibilidade e aproveitamento dos micronutrientes catiônicos do solo ou aqueles fornecidos pela adubação.

Fageria (2000) observou sintomas de deficiência de Fe nas folhas mais novas do arroz a partir do nível de pH de 5,7. De acordo com Tisdale et al. (1985), a disponibilidade de Fe diminui cerca de 1.000 vezes com o aumento de uma unidade de pH. A falta de Fe deprime a produção de ferredoxina, o que, por sua vez, afeta o transporte de elétrons para processos, tais como a redução de nitrato. Por esta razão o nitrato está freqüentemente presente em níveis elevados em plantas deficientes em Fe. Portanto, a capacidade total de redução do nitrato pelas plantas, além de outros fatores depende do Fe (CAMPBELL, 1999).

A acumulação de Zn, Fe e Mn na planta diminui significativamente com o aumento do pH do solo, o que pode estar relacionado com a adsorsão ou precipitação desses micronutrientes. Há diminuição na acumulação de Fe, Mn e Zn com a elevação do pH do solo acima de 5,5 (FAGERIA, 2000). Tisdale et al. (1985) relataram que a disponibilidade de Mn e de Zn diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH.

O manganês (Mn) tem função primordial na cadeia de transporte de elétrons durante a fotossíntese, quando ocorre deficiência deste micronutriente a reação à luz durante a fotossíntese é seriamente prejudicada e todas as outras reações associadas com o transporte de elétrons também o são. Isto inclui a redução de nitrito o que acarreta em seu acúmulo podendo exercer um controle em *feedback* sobre a nitrato redutase de tal modo que o NO_3^- se acumula, como, algumas vezes, é observado em plantas deficientes em Mn (KIRKBY & RÖMHELD, 2007).

4.3.2. Solos com acidez não corrigida

Os microorganismos amonificantes são poucos afetados pelo pH do solo, entretanto, a atividade dos nitrificadores é extremamente dependente do pH. Em solos ácidos a população dos grupos nitrificadores (nitrossomonas e nitrobacter), é extremamente baixa (AQUINO, 1984). A taxa de nitrificação decresce abaixo do pH 6,0 em água e é insignificante abaixo de pH 4,5 (ADAMS & MARTIN, 1984). De acordo com Rosolem et al. (2003) a nitrificação é limitada em camadas de solo com pH ($CaCl_2$,0,1 M) da ordem de 4,0.

Por estas razões a forma predominante de N minerals solos sob cerrado nativo e sob pastagem, ao longo de praticamente todo o perfil, é a amoniacal (D'ANDRÉA et al., 2004). O predomínio desta forma de N no solo ocorre devido a acidez inibir a nitrificação e conseqüentemente a produção de nitrato (ADAMS & MARTIN, 1984).

Foram justamente nestas condições que o arroz se destacou, sendo a cultura mais utilizada em áreas de abertura na região dos Cerrados. Na ausência do equilíbrio entre amônio e nitrato no solo, o arroz se desenvolve melhor quando a proporção de $N\text{-}NH_4^+$ é maior, o contrário não é verdadeiro. Fageria & Zimmermann (1998) observaram maior produtividade do arroz de terras altas, quando o pH do solo estava abaixo de 5,3, ou seja, condição na qual há predominância de $N\text{-}NH_4^+$ no solo. Uma das hipótese para explicar

menores produtividades em ambientes com predominância de $N\text{-}NO_3^-$ está relacionada com a menor atividade da enzima NR nas fases iniciais da cultura.

4.4. Atividade da enzima nitrato redutase

A nitrato redutase, é a primeira enzima que atua no processo de assimilação do nitrogênio nas plantas, é responsável pela redução do nitrato a nitrito (PURCINO et al., 1994), conforme a Equação 5:

Equação 5. $NO_3^- + NAD(P)H + H^+ + 2e^- \rightarrow NO_2^- + NAD(P) + H_2O$

O NAD(P)H se refere a NADH ou NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzido). O NADH é o doador de elétrons para que a NR reduza o nitrato a nitrito, é o agente redutor na parte aérea das plantas (SOLOMONSON & BARBER, 1990) e atua em conjunto com o molibdênio que é o co-fator desta enzima (VIEIRA et al., 1992). Nos tecidos não clorofilados, como raízes, o agente redutor pode ser tanto o NADH quanto o NADPH (WARNER & KLEINHOFS, 1992).

Qualquer fator que interfira na funcionalidade a enzima NR pode comprometer a transformação do N nítrico. A seqüência do metabolismo do N também é de suma importância, visto que, o nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico. A toxidez por nitrito não ocorre porque as células vegetais transportam rapidamente o nitrito que foi originado pela redução do nitrato do citosol para o interior dos cloroplastos das folhas e nos plastídeos nas raízes (TAIZ & ZEIGER, 2004). Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito a amônio, conforme a Equação 6.

Equação 6. $NO_2^- + 6Fd_{red} + 8H^+ + 6e^- \rightarrow NH_4^+ + 6Fd_{ox} + 2H_2O$

Onde o Fd representa a ferrodoxina e os símbolos subscritos red e ox, forma reduzida e oxidada, respectivamente.

O amônio derivado da absorção pela raiz, ou produzido por assimilação do nitrato ou da fotorrespiração, é convertido a glutamina e glutamato pelas ações seqüenciais da glutamina sintetase e glutamato sintase, que estão localizadas no citosol e nos plastídeos das raízes ou dos cloroplastos (CELESTINO, 2006).

O assunto da absorção de nitrato e a atividade da enzima NR em arroz foi recentemente abordado por Santos (2007). O autor estudou a atividade enzimática em duas cultivares de arroz, tradicional (Piauí) e melhorada (IAC-47) e observou maior atividade das enzimas nitrato redutase e glutamina sintase na variedade tradicional.

Para entender as diferenças entres as cultivares de arroz, quanto a absorção e assimilação do nitrogênio, é preciso antes conhecer a origem desses materiais. O arroz cultivado é dividido em dois grandes grupos (sub-espécies): o Indica e o Japônica (OKA, 1958). Atualmente no grupo Japônica são reconhecidos dois subgrupos temperado e tropical (MATSUO, 1997).

Em estudo com 53 cultivares de arroz do grupo Japônica e Indica, os autores observaram que a atividade da enzima NR foi maior nas espécies do grupo Indica, com atividade 30% superior as espécies do grupo Japônica (BARLAAN & ICHII, 1996). A maior eficiência na utilização do N por espécies do grupo Indica também foi constatada por Ta & Ohira (1981). Os autores observaram que genótipos do grupo Indica absorvem e reduzem o NO_3^- mais rapidamente que genótipos do grupo Japônica.

Diferenças entre os genótipos de arroz quanto à atividade da enzima nitrato redutase, também foram observadas por Ouko (2003), sendo que as variações foram maiores nas espécies adaptadas ao ecossistema de terras altas, ou seja, para os materiais que pertencem ao grupo Japônica. Neste mesmo estudo o autor observou que quando o N é fornecido apenas na forma de nitrato para o grupo Japônica o crescimento é baixo e as plantas apresentaram sintomas de clorose. Ta & Ohira (1981) sugerem que isto pode ocorrer em função da baixa capacidade de assimilação do nitrato, ou seja, baixa atividade da enzima NR.

No Brasil, os tipos Japônica eram cultivados no sistema de cultivo terras altas (sequeiro) e os tipos Indica sob irrigação por inundação, diferenças essas, já não perceptíveis nas variedades atuais (BADAN, 2003). No entanto, a maioria das cultivares tradicionais adaptadas às condições de terras altas é do tipo Japônica tropical (TORO, 2006). Deste modo, a baixa adaptação do arroz ao SPD, provavelmente está associada a baixa atividade da NR, visto que, conforme já discutido, neste sistema de produção ocorre a predominância de nitrato.

A predominância de N na forma de nitrato pode prejudicar a cultura do arroz de duas maneiras. A primeira pela hipótese de que no início do desenvolvimento da

cultura a atividade da enzima NR seja baixa. Leyshon et al. (1980) observaram que plantas de trigo assimilaram mais prontamente amônio que nitrato pois, nos primeiros estágios de desenvolvimento, o sistema nitrato redutase não estava em pleno funcionamento. A segunda devido a preferência por absorção de N na forma amoniacal, ou seja, o arroz poderia se desenvolver melhor se houvesse maior oferta de amônio. Heinrichs et al. (2006) adubaram um grupo de plantas de arroz com amônio marcado ($^{15}NH_4NO_3$) e outro grupo com nitrato marcado ($NH_4{}^{15}NO_3$) e observaram que a recuperação do N amoniacal foi superior.

Outro aspecto que pode provocar a diminuição da atividade da NR é o excesso de nitrato. Fernandes & Rossielo (1986) relatam que a utilização combinada de nitrato e amônio pode promover aproveitamento direto da forma amoniacal, com a formação de compostos nitrogenados como proteínas estruturais e enzimas, as quais poderiam estimular a ação do sistema nitrato-redutase, uma vez que o nitrato acumulado não induziria a ação enzimática.

4.5. Inibição da nitrificação

A inibição da nitrificação pode ser o processo mais importante que determina a eficiência do ciclo do N (ou seja, a proporção de N, que permanece no ecossistema ao longo de um ciclo completo). A eficiência na utilização do nitrogênio (matéria seca produzida por unidade de N aplicado) é uma função fisiológica intrínseca (GLASS, 2003), portanto, difícil de manipular geneticamente (SUBBARAO et al., 2009a). Melhorias na eficiência da utilização do nitrogênio são decorrentes da forma que o elemento é absorvido (FINZI et al., 2007). A redução da taxa de nitrificação possibilitará às plantas uma melhor oportunidade de absorver N, enquanto ele ainda permanece na região das raízes (DINNES et al., 2002, LIAO et al., 2004). No caso da cultura do arroz a regulação da nitrificação é importante para equilibrar a proporção entre NH_4^+ e NO_3^- no solo, condição na qual a cultura se desenvolve melhor (TA & OHIRA, 1981).

4.5.1. Inibidores biológicos da nitrificação

Na tentativa de evitar a predominância de nitrato no SPD, qualquer prática que favoreça a manutenção do N na forma amoniacal seria desejável para a cultura do arroz. Uma delas seria a utilização de plantas de cobertura. De acordo com Scivittaro et al. (2003) a associação de adubos verdes a fertilizantes minerais como fonte de N para as culturas

é uma atividade de manejo promissora, com o propósito de racionalizar o uso das fontes minerais, sem prescindir de produtividades elevadas.

Moreira & Siqueira (2006) relataram que a presença de N na forma NH_4^+ é favorecida por substâncias excretadas pelas raízes das gramíneas, que inibem a nitrificação, e pela existência de menores valores de pH, que ocorrem, geralmente, nessas condições.

De acordo com Ishikawa et al. (2003) para minimizar as perdas de N associadas a nitrificação em sistemas de produção agrícola, é necessário manter o N no solo na forma amoniacal o maior tempo possível. Está estratégia permitirá a sincronia entre a oferta de N e a demanda das culturas (ISHIKAWA et al., 2003). A regulação da nitrificação poderia ser a chave para melhorar a recuperação de nitrogênio (N) e a eficiência agronômica do uso de N em situações em que a perda de N por nitrificação é significativa (SUBBARAO et al., 2007c), principalmente para espécies que exigem equilíbrio entre amônio e nitrato no solo, como é o caso do arroz (TA & OHIRA, 1981).

Vários pesquisadores observaram baixa taxa de nitrificação em solos cultivados com gramíneas forrageiras tropicais e solos de floresta, o que levou à hipótese de que compostos liberados pelas raízes das plantas podem influenciar a nitrificação (LAVERMAN et al., 2000; ISHIKAWA et al., 2003; FILLERY, 2007).

Recentemente, foi demonstrado que a nitrificação pode ser estimulada ou suprimida, dependendo do tipo do ecossistema (LATA et al., 2004). Na maioria dos casos, os constituintes químicos ativos não foram identificados ou não houve fornecimento de ingredientes ativos em quantidades suficientes para manter a inibição (FILLERY, 2007).

Subbarao et al. (2007c) testaram várias espécies de plantas quanto à capacidade de produção de inibidores de nitrificação. Foram testadas espécies forrageiras, cereais e leguminosas. Dentre as forrageiras as espécies que mais se destacaram na inibição da nitrificação biológica foram as do gênero *Brachiaria.* Em solos onde houve o cultivo de *Brachiaria humidicola* a supressão da nitrificação foi maior que 90%. A inibição da nitrificação ocorreu pela liberação de exsudados das raízes. Porém, isto ocorreu, somente quando a fonte de adubação nitrogenada foi o NH_4^+.

A capacidade natural de uma planta de inibir a nitrificação, através de exsudatos radiculares é denominado inibição biológica da nitrificação-IBN (SUBBARAO et

al., 2006b). Tal mecanismo foi observado em *Brachiaria humidicola* (ISHIKAWA et al., 2003; SUBBARAO et al., 2006a; 2007a; 2007c).

O fracionamento biomonitorado dos exsudatos de *Brachiaria humidicola* permitiu o isolamento de um diterpeno cíclico, o qual foi denominado "brachialactone". A inibição da nitrificação no nosso sistema in vitro ensaio de N. europaea foi linearmente relacionada à concentração de brachialactone. Brachialactone, pode ser considerado um potente IBN, quando comparado com nitrapirina ou dicianodiamida, dois dos inibidores de nitrificação sintéticos mais utilizados. A contribuição da brachialactone ao total da atividade inibitória dos exsudatos variou de 60% a a 96% (SUBBARAO, et al., 2009b).

Os IBNs de raízes de *Brachiaria humidicola* parecem bloquear os caminhos das enzimas amônia mono-oxigenase (AMO) e hidroxilamina oxidoredutase (HAO) presentes nas bactérias *Nitrosomonas* (N.) *europaea* (SUBBARAO et al., 2007a, 2007b). A AMO e a HAO são vias enzimáticas, que catalisam as reações essenciais do processo de oxidação da amônia em NO_3^- (SUBBARAO et al., 2008).

Um ensaio de bioluminescência usando uma cepa recombinante de *Nitrosomonas europaea* foi adotado para detectar e quantificar a presença de inibidores de nitrificação liberados nas raízes de plantas (IIZUMI et al., 1998; SUBBARAO et al., 2006a). A relação funcional entre a emissão de bioluminescência e a produção de nitrito no ensaio demonstrou ser linear. A inibição na bioluminescência causada por 0,22 mM de AT (inibidor sintético – allylthiourea) foi de 80% (SUBBARAO et al., 2006a).

Usando um gradiente de concentração gradiente de AT (curva padrão, dose-resposta), o efeito inibitório de amostras (por exemplo exsudatos de raízes ou estratos de plantas) pode ser expresso e comparado. Com essas ferramentas metodológicas, é possível determinar e comparar a capacidade de IBN de culturas ou pastagens. O efeito inibitório de 0,22 mM AT em um ensaio contendo 18,9 mM de NH_4^+ é definido como uma unidade de atividade de AT (SUBBARAO et al., 2006a).

Estudos com pastagens tropicais, cereais e leguminosas indicaram que existe uma a ampla capacidade de IBN entre as espécies de plantas. Foram testadas 18 espécies quanto a produção de IBN (ATU atividade^{-1} por peso seco de raiz) os resultados variaram de 0 (ou seja, nenhuma atividade detectável) a 18,3 unidades AT (SUBBARAO et al., 2007c).

A maior capacidade IBN foi encontrada em espécies do gênero *Brachiaria*. Pastagens de *B. humidicola* e *B. decumbens*, que são altamente adaptados aos ambientes de baixa oferta de N (RAO et al., 1996). No entanto, há variações entre diferentes cultivares de *B. humidicola* quanto a produção de IBNs. Além disso, independente da cultivar a produção de inibidores só foi identificada com o fornecimento de N-NH_4^+ (SUBBARAO et al., 2007a).

A liberação de IBNs está relacionada ao status de N na planta (SUBBARAO et al., 2006a). Em particular, a forma de N aplicada (NH_4^+ ou NO_3^-) tem uma grande influência sobre a síntese e liberação de IBNs nas raízes de *Brachiaria humidicola* (SUBBARAO et al., 2007a; 2007b).

As plantas cultivadas com NO_3^- como fonte de nitrogênio não estimularam a liberação IBNs nas raízes (SUBBARAO et al., 2007a). A liberação de IBNs em raízes foi observada em plantas cultivadas com N-NH_4^+ como fonte de N (SUBBARAO et al., 2007a; 2007b; 2009a; 2009b). Além disso, mesmo para as plantas cultivadas com N-NH_4^+ a presença de NH_4^+ na rizosfera é fundamental para a síntese e liberação de IBNs (SUBBARAO et al., 2007a; 2007b). A quantidade de IBNs liberada foi três vezes mais elevada quando as plantas foram cultivadas com N-NH_4^+, ao invés de N-NO_3^- (SUBBARAO et al., 2006a).

A contínua presença de NH_4^+ e, talvez, o efeito secundário na redução do pH na rizosfera decorrente da sua absorção são fundamentais para a sustentação do desenvolvimento e exsudação IBN compostos. O pH baixo protege o IBN da inativação e os mantém funcionalmente ativo depois da exsudação. A associação de pH baixo e presença de NH_4^+ na rizosfera têm um efeito sinérgico sobre a exsudação de IBNs nas raízes (SUBBARAO et al., 2007a).

O papel regulador que o NH_4^+ e o pH exercem na síntese e liberação de IBNs sugere que isto é um mecanismo de adaptação para proteger o NH_4^+ dos nitrificadores (SUBBARAO et al. 2006b) especialmente em sistemas naturais com limitação de N (LATA et al. 2004, SUBBARAO et al. 2006b). Assim, o estresse por falta de N poderia ser o estímulo para a evolução das plantas em produzir inibidores de nitrificação (RICE & PANCHOLY 1972, LATA et al., 2004). Esta teoria é relevante, visto que a absorção de NO_3^- é favorecida em meio ácido (pH baixo), com valor em torno de 4,0. Em contrapartida, a absorção de NH_4^+ é favorecida em meio alcalino (MARSCHNER, 1995).

Para averiguar a dependência do mecanismo de síntese de IBN a presença de NH_4^+ na rizosfera utilizou-se um sistema de raízes subdivididas. Inicialmente as plantas foram cultivadas apenas com $(NH_4)_2SO_4$ como fonte de nitrogênio. Posteriormente, metade do sistema radicular foi exposta à NH_4^+ e outra metade à NO_3^-, em vasos separados. A exsudação de IBN (brachialactone) foi acionado somente na parte do sistema radicular exposto a NH_4^+, e não em todo o sistema radicular (SUBBARAO et al., 2009b).

Outra característica da adaptação de plantas em solos de baixa fertilidade, especialmente em gramíneas tropicais, é o intenso desenvolvimento do sistema radicular, que pode ser observado pela magnitude de incorporação de carbono no solo, muitas vezes superior ao de outras culturas ou mesmo da mata nativa (FISHER et al., 1994). Quanto ao N está adaptação parece lógica, visto que, com a inibição da nitrificação, a planta dependerá do NH_4^+, o qual tem menor mobilidade no solo quando comparado ao NO_3^-.

Não é pois de estranhar que as leguminosas não apresentam capacidade de produzir inibidores de nitrificação. Para as leguminosas, é provável que a produção dos IBNs teria pouco ou nenhum valor adaptativo, visto que, apresentam capacidade de fixar N por simbiose. Desta forma a manutenção de N na forma amoniacal não traria vantagens para as leguminosas, além do que favoreceria espécies concorrentes que não realizam simbiose (SUBBARAO et al., 2009a). Estudos preliminares em laboratório indicam que exsudatos das raízes da soja estimulam a nitrificação (SUBBARAO et al., 2007d).

Por meio da utilização de plantas de cobertura em sistemas agrícolas, torna-se possível adicionar ao solo quantidades de resíduos vegetais capazes de afetar a biomassa microbiana do solo e, consequentemente, alterar o processo de mineralização do nitrogênio e outros elementos. Contudo, efeitos diferenciados sobre a biomassa microbiana têm sido observados em função do tipo de resíduo adicionado ao solo (ALMEIDA, 1991).

Há uma estimativa que anualmente 30% da massa da raiz de pastagens de *Brachiaria humidicola* permanece no solo, o que equivale a uma tonelada de matéria seca de raízes por hectare (FISHER et al., 1994). Esta quantidade de raiz pode conter quantidades significativas de IBNs, podendo ser uma das principais razões para a baixa taxa de nitrificação observada em áreas cultivadas com esta espécie (ISHIKAWA et al., 2003).

Kluthcouski & Stone (2003) observaram melhor desempenho do arroz de terras altas quando cultivado em sucessão a braquiária. Bordin et al. (2003) constataram

maior produtividade do arroz de terras altas quando cultivado após resíduos de *Crotalaria juncea*/feijoeiro e milheto/feijoeiro.

Como a síntese de IBN só ocorre com a presença de NH_4^+ na rizosfera, em ambientes em que a nitrificação é favorecida é provável que as plantas não sejam estimuladas a produzir IBN, o que seria um problema à utilização de fertilizantes amoniacais. Uma forma de estimular a síntese de IBN seria adicionar inibidores sintéticos nas fontes amoniacais.

4.5.2. Inibidores sintéticos da nitrificação

Inibidores sintéticos de nitrificação são compostos que retardam a oxidação do NH_4^+ à NO_3^-. A inibição da nitrificação ocorre pelo bloqueio da enzima AMO (SUBBARAO et al., 2007a; 2007b) presente nas bactérias Nitrosomonas (Figura 2).

A AMO (enzima crítica envolvida na oxidação de amônia) tem ampla gama de substratos para oxidação catalítica, e os efeitos inibitórios de muitos compostos são devido à concorrência do sítio ativo da enzima (McCARTY, 1999). Esta fraqueza fundamental no funcionamento da enzima AMO permite que uma vasta gama de moléculas com diversas estruturas químicas possam agir como inibidores de nitrificação. Isto tem sido explorado durante o desenvolvimento de inibidores químicos da nitrificação (SUBBARAO et al., 2006b).

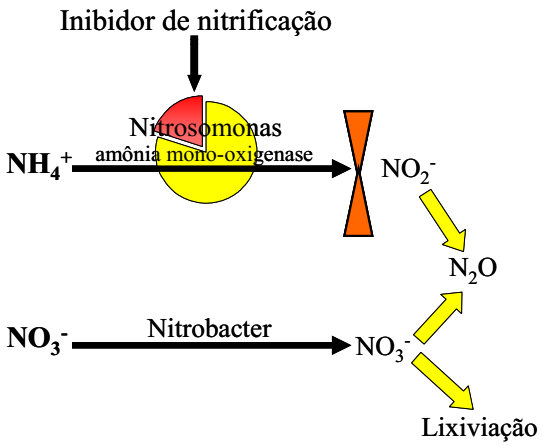

Figura 2. Ação do inibidor sintético sobre a nitrificação (adaptado de CAMERON et al., 2004).

A manutenção do N na forma NH_4^+ traria vantagens para melhorar o aproveitamento do N nos sistemas agrícolas. No entanto, para obtenção das vantagens, além da utilização de plantas de cobertura com capacidade de produção de IBN, muitas vezes será necessário o uso de inibidores sintéticos de nitrificação (SUBBARAO et al., 2006b), principalmente quando a nitrificação é favorecida, visto que, nestas condições as plantas não seriam estimuladas a produzir IBN.

Existem numerosos compostos registrados como inibidores da nitrificação (MCCARTY, 1999, SUBBARAO et al., 2006b). Porém, apenas alguns foram bastante estudados e testados em condições de campo. Os principais são, nitrapirina, DCD (dicianodiamida), e DMPP (3,4-dimetil pirazol fosfato) (DI & CAMERON 2002a; SUBBARAO et al., 2006b).

O inibidor de nitrificação DCD retarda a primeira fase da nitrificação desativando as enzimas das bactérias que convertem as formas de N amoniacais em nítrica, resultando em significativa redução da lixiviação de NO_3^- (DI & CAMERON 2004). Além dos benefícios resultantes da redução da lixiviação de NO_3^-, os inibidores também podem ser utilizados como estratégias para redução das emissões de N_2O (WILD, 2009).

A vantagem do uso do DCD é o menor custo em relação a outros inibidores como nitrapirina e a alta solubilidade em água, possibilitando que seja aplicado de forma líquida. É menos volátil que nitrapirina e se decompõe em NH_4^+ e CO_2 no solo (DI & CAMERON, 2002b). Além disso, o DCD é classificado como uma substância não-tóxica (AMBERGER, 1989). Marcelino (2009) observou redução de 76% da oxidação do amônio a nitrato em uréia tratada com DCD passados 15 dias após a incubação do fertilizante ao solo.

Apesar dos resultados positivos obtidos com inibidores sintéticos, estes produtos ainda não foram amplamente adotados como uma ferramenta tecnológica, há dúvidas em relação ao custo x benefício. Estas dúvidas surgem pela falta de consistência dos resultados nos diversos ambientes agro-climáticos e diferentes tipos de solo (SUBBARAO et al., 2006b).

Apesar das inovações tecnológicas há muitos desafios na pesquisa agronômica brasileira no que se refere à cultura do arroz de terras altas. O maior desafio é a consolidação da cultura, de forma sustentável, como um componente dos sistemas de produção de grãos, especialmente no SPD (CAZETTA et al., 2008).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Experimentos em casa de vegetação

Como são vários os fatores que podem estar relacionadas ao baixo desempenho do arroz no Sistema Plantio Direto (SPD), antes da instalação do experimento no campo foram realizados três experimentos em casa de vegetação para averiguação da consistência das hipóteses e para pré-definição dos tratamentos.

Esses experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas/Unesp, Campus de Botucatu-SP.

5.1.1. Experimento 1 - Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas

a) Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento de blocos inteiramente casualizado em esquema fatorial 10 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 10 cultivares de arroz de terras altas (Tabela 1) combinadas com 4 épocas de avaliação (7, 14, 21 e 28 DAE).

Tabela 1. Variedades de arroz que foram estudadas e algumas de suas características. Botucatu-SP, 2009.

Variedade	Classificação	Ciclo	Detentor	Lançamento
		dias	orgão	ano
Caiapó	Tradicional	96	EMBRAPA	1992
Carajás	Tradicional	84	EMBRAPA	1994
IAC-25	Tradicional	-	IAC	-
Primavera	Intermediária	95 - 105	EMBRAPA	1996
IAC 202	Intermediária	87	IAC	1988
BRS Sertaneja	Intermediária	110	EMBRAPA	2007
BRS Bonança	Moderna	88	EMBRAPA	2000
BRS Curinga	Moderna		EMBRAPA	
Maravilha	Moderna	95 - 105	EMBRAPA	1996
BRS Talento	Moderna	110	EMBRAPA	2001

b) Instalação e condução do experimento

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho eutrófico proveniente de uma área sob SPD já consolidado, por ser neste sistema que o arroz não tem apresentado bom desenvolvimento. Foram utilizadas amostras deformadas com as seguintes características químicas (RAIJ et al., 2001) na camada 0-20 cm: matéria orgânica, 29,9 g dm^{-3}; pH (1:2,5 solo/suspensão de $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}), 5,60; P (resina), 26,3 mg dm^{-3}; K, Ca e Mg trocáveis de 3,4, 55,0 e 30,0 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente, acidez total em pH 7,0 (H + Al) de 31 $mmol_c$ dm^{-3}, capacidade de troca de cátions total (CTC) de 119 $mmol_c$ dm^{-3}, saturação por bases de 74 %.

O solo foi peneirado (malha 2 mm) e adubado com 150 mg dm^{-3} de P e 80 mg dm^{-3} de K e colocado em vasos de 8 litros. Não foi fornecido N, para que este nutriente não alterasse a atividade da enzima nitrato redutase.

Foram semeadas 20 sementes por vaso e após a germinação mantidas as 10 plantas mais uniformes. Os vasos foram irrigados para manutenção do teor de água do solo em 80% da capacidade de campo. O volume de reposição de água foi determinado por meio da pesagem dos vasos.

c) Avaliações

Atividade da enzima nitrato redutase

Pesou-se 200 mg de tecido foliar (provenientes do terço médio). A matéria fresca pesada foi colocada em tubos de ensaio com 5 mL de solução de incubação (JAWORSKI, 1971). Está solução foi constituída por tampão fosfato (KH_2PO_4 0,1 M; pH 7,5), KNO_3 (0,1M), n-propanol (3% v/v) e NADH (β-nicotinamida adenina dinucleotídeo, forma reduzida). O n-propanol foi usado para aumentar a permeabilidade celular ao nitrato e ao nitrito. O NADH foi utilizado como doador de elétrons para ativação da enzima nitrato redutase. Isto foi necessário porque o congelamento das amostras em nitrogênio líquido inativou o NADH presente naturalmente na planta. O tecido vegetal, submerso na solução de incubação, foi infiltrado à vácuo durante um minuto com descanso de 30 segundos. Este procedimento foi repetido três vezes e teve por finalidade aumentar a penetração da solução nos tecidos.

Após a infiltração, os tubos foram cobertos com papel alumínio e mantidos, na ausência de luz, em banho-maria a 30 °C, por 30 minutos. Finalizada a incubação efetuou-se a filtragem do material. O material filtrado foi diluído oito vezes em tampão fosfato. Desta diluição retirou-se uma alíquota de 1 mL a qual foi adicionado 1 mL de sulfanilamida 1% (para interromper a reação) e 1 mL de N-naftil-etilenodiamino 0,02%. Após a adição destes reagentes procedeu-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi expressa em μmoles de NO_2^- liberados por grama de matéria fresca na solução de incubação no período de uma hora (μmoles de NO_2^- h^{-1} g mf^{-1}), com base na curva padrão de $NaNO_3$ (0, 5, 10, 20, 25, 40 e 50 μM) de acordo com a metodologia proposta por Jaworski (1971).

Os dados foram submetidos à analise de variância. As médias entre os cultivares foram comparadas pelo teste Scott-Knott e as médias das épocas de coleta pelo teste LSD, ambos a 5% de probabilidade.

5.1.2. Experimento 2 - Efeito do pH nas formas de N, no teor de micronutrientes e na atividade da enzima nitrato redutase do arroz

a) Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizado no esquema fatorial 3 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de 3 níveis de acidez do solo (pH $CaCl_2$), alta (4,5), média (5,5) e baixa (6,3) combinados com 4 fontes de N: nítrica - $Ca(NO3)2.4H_2O$; amoniacal - $(NH_4)_2SO_4$; amoniacal + inibidor de nitrificação-DCD (dicianodiamida) e controle - testemunha. A quantidade de N aplicada para cada fonte foi 80 mg dm^{-3} de solo.

b) Instalação e condução do experimento

O solo utilizado foi proveniente da camada arável (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho, cuja a caracterização química está contida na Tabela 2. A caracterização química foi realizada de acordo com RAIJ et al. (2001).

Tabela 2. Atributos químicos do solo antes da incubação com calcário e 30 dias após. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	pH	M.O.	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------		mmol$_c$ dm^{-3}		----------		%
			Antes da incubação							
Alta	4,5	16,9	8,2	5,51	0,46	14	5	19,5	91,3	21
			30 dias após a incubação							
Média	5,5	15,4	7,7	30,7	0,56	25	18	43,6	74,2	59
Baixa	6,3	15,6	11,2	20,6	0,60	59	29	88,6	109,2	81

* Valores de pH pré-estabelecidos.

O solo coletado foi dividido em três porções iguais. Uma das porções foi mantida com o pH original e nas outras duas procedeu-se a elevação do pH à 5,5 e a 6,3. Para a elevação do pH aos valores propostos foi utilizado $CaCO_3$ + $MgCO_3$ p.a., sendo a quantidade necessária determinada pelo método de incubação (30 dias). As quantidades determinadas de calcário foram aplicas nas porções de solo, as quais permaneceram em

incubação durante 30 dias, com umidade na capacidade máxima de retencão de água do solo para reação do corretivo.

Após a incubação, foi realizada novamente a caracterização química do solo (Tabela 2). Foram determinados também os micronutrientes catiônicos (Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} e Cu^{2+}) e teores de NO_3^- e NH_4^+ (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de micronutrientes catiônicos, nitrato e amônio do solo, antes da incubação com calcário e 30 dias após. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fe^{2+}**	**Mn^{2+}**	**Zn^{2+}**	**Cu^{2+}**	**NO_3^-**	**NH_4^+**
	----------mg dm^{-3} ----------				-------mg dm^{-3} ------	
			Antes da incubação			
Alta	16,6	41	1,1	8,8	7,0	10,2
			30 dias após a incubação			
Média	11,0	14,4	0,8	7,0	14,0	6,6
Baixa	7,5	9,7	0,6	6,2	30,0	7,2

As porções de solo foram submetidas a uma lavagem para a remoção do NO_3^-, objetivando a lixiviação forçada para remover o NO_3^- que eventualmente poderia ser maior nas porções de solo que receberam calagem. A lixiviação do NO_3^- foi realizada em vasos de 17 litros mediante a adição de água. O volume de água utilizado foi duas vezes a capacidade de retenção de água do solo. Após a lixiviação os teores de nitrato foram 4,5 e 9,45 mg dm^{-3} de solo, para o pH 5,5 e 6,3, respectivamente.

O solo foi retirado dos vasos, secado à sombra e cada porção de solo foi adubada com 150 mg dm^{-3} de P e 80 mg dm^{-3} de K, nas formas de super fosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Nesta etapa as três porções de solo foram divididas em duas partes, uma para ser usada neste experimento e a outra para o Experimento 3. Os micronutrientes foram fornecidos junto com a reposição de água aos vasos, após a germinação das plantas. As quantidades aplicadas foram: 2,0 mg dm^{-3} de B; 3,0 mg dm^{-3} de Mn; 10,0 mg dm^{-3} de Zn e 1,5 mg dm^{-3} de Cu, fornecidos nas formas de H_3BO_3, $MnSO_4$, $ZnSO_4$, $CuSO_4$, respectivamente.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade para 17 kg de solo. Foram alocadas 20 sementes de arroz por vaso (cultivar IAC-

47) e após a germinação foram cultivadas 10 plantas. A quantidade de N fornecida pela fonte nítrica e amoniacal + DCD foi equivalente a 80 mg dm^{-3} de N e foi aplicada em duas épocas. A metade imediatamente após a germinação do arroz e a outra parte aos 15 dias após a primeira. A umidade do solo foi controlada diariamente por meio de pesagem dos vasos e reposição da água evapotranspirada para 80% da capacidade de campo.

c) Avaliações

NO_3^- e NH_4^+ no solo, micronutrientes e atividade da enzima nitrato redutase na parte aérea do arroz

A coleta de solo e das plantas foi realizada a cada 7 dias após a emergência (DAE) até os 28 DAE. O solo coletado foi mantido a -20ºC, até o momento da análise. Os teores de NO_3^- e NH_4^+ no solo foram determinados pelo método proposto por Silva (1999).

O teor de micronutrientes na parte aérea foi determinado de acordo com Malavolta et al. (1997) e a atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas folhas do arroz conforme a metodologia descrita por Jaworski (1971). As folhas destinadas a determinação da enzima NR ficaram armazenadas a -80ºC, até o momento da análise.

Matéria seca da parte aérea e número de perfilhos

Determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e o número de perfilhos do arroz, aos 60 DAE. Para a determinação da MSPA coletou-se uma planta por vaso, a qual foi secada em estufa com circulação forçada de ar e temperatura de 60-70°C, até atingir massa constante. O perfilhamento foi determinado por contagem, na mesma planta em que foi determinado a MSPA.

Componentes da produção e produtividade de grãos

a) O número de panículas por planta foi obtido contando-se as panículas de duas plantas por vaso, sendo o valor apresentado correspondente a média das duas plantas.

b) O número total de espiguetas por panícula foi obtido contando-se todas as espiguetas de duas plantas por vaso e o valor apresentado corresponde a média das duas plantas.

c) A fertilidade das espiguetas foi determinada pela relação do número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula x 100.

d) A massa de 100 grãos foi obtida pesando-se quatro amostras de 100 grãos por unidade experimental. O teor de água das sementes foi determinado e ajustado para 13%.

e) A produtividade de grãos foi obtida pela colheita das panículas de duas plantas por vaso. A trilha dos grãos (das panículas) foi realizada manualmente. Os grãos passaram por um processo de limpeza para a separação da palha e das espiguetas chochas. Após esta operação, os grãos foram pesados e em seguida calculou-se a produtividade em gramas por planta.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à analise de variância e à comparação entre médias pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

5.1.3. Experimento 3 - Efeito de micronutrientes na atividade da enzima nitrato redutase do arroz

a) Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados no esquema fatorial 3 x 5, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por 3 níveis de acidez do solo (pH $CaCl_2$), alta (pH 4,5), média (pH 5,5) e baixa (pH 6,3) combinados com micronutrientes (1 - Zn, 2 - Fe, 3 - Mn, 4 - Zn+Fe+Mn (CQT-COQUETEL) e 5 -testemunha - ausência de micronutrientes). Os micronutrientes foram fornecidos nas seguintes fontes e doses: Zn-$ZnSO_4$ 10 mg dm^{-3}, Fe-ferrilene (EDDHA 6%) 10 mg dm^{-3}, Mn-$MnSO_4$ 3 mg dm^{-3} e Zn+Fe+Mn (foram fornecidos na mesma fonte e dose dos tratamentos individuais).

b) Instalação e condução do experimento

Foi utilizado o mesmo solo do Experimento 2, já adubado com super fosfato triplo e cloreto de potássio.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade para 17 kg de solo. Foram semeadas 20 sementes por vaso (cultivar IAC-202) e após a germinação foram mantidas 10 plantas. Os vasos foram irrigados para manutenção do teor de água do solo em 80% da capacidade de campo. O volume de reposição de água foi determinado por meio da pesagem dos vasos.

A adubação de cobertura foi feita com nitrato de amônio (NH_4NO_3). Foram fornecidos 80 mg dm^{-3} de N em duas aplicações, sendo que a metade do N foi aplicado imediatamente após a emergência do arroz e a outra metade aos 15 dias após a primeira.

c) Avaliações

Teor de NO_3^- e NH_4^+ no solo, teor de micronutrientes e atividade da enzima nitrato redutase na parte aérea do arroz

A coleta de solo e das plantas foi realizada a cada 7 dias após a emergência (DAE) até os 28 DAE. O solo coletado foi mantido sob refrigeração, a -20ºC, até o momento da análise. O teor de NO_3^- e NH_4^+ no solo foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Silva (1999).

O teor de micronutrientes na parte aérea foi determinado de acordo com Malavolta et al. (1997) e a atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas folhas do arroz conforme a metodologia descrita por Jaworski (1971). As folhas destinadas a determinação da NR ficaram armazenadas a -80ºC, até o momento da análise.

Matéria seca da parte aérea e número de perfilhos

Determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e o número de perfilhos do arroz, aos 60 DAE. Para a determinação da MSPA coletou-se uma planta por vaso, a qual foi secada em estufa com circulação forçada de ar a 60-70°C, até atingir massa constante. O perfilhamento foi determinado por contagem, na mesma planta em que foi determinado a MSPA.

Componentes da produção e produtividade de grãos

a) O número de panículas por planta foi obtido contando-se as panículas de duas plantas por vaso, sendo o valor apresentado correspondente a média das duas plantas.

b) O número total de espiguetas por panícula foi obtido contando-se todas as espiguetas de duas plantas por vaso e o valor apresentado corresponde a média das duas plantas.

c) A fertilidade das espiguetas foi determinada pela relação do número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula x 100.

d) A massa de 100 grãos foi obtida pesando-se quatro amostras de 100 grãos por unidade experimental. O teor de água das sementes foi determinado e ajustado para 13%.

e) A produtividade de grãos foi obtida pela colheita das panículas de duas plantas por vaso. A trilha dos grãos (das panículas) foi realizada manualmente. Os grãos passaram por um processo de limpeza para a separação da palha e das espiguetas chochas. Após esta operação, os grãos foram pesados e em seguida calculou-se a produtividade em gramas por planta.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à analise de variância e à comparação entre médias pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

5.2. Experimento de campo - Plantas de cobertura e fontes de nitrogênio para o arroz de terras altas no sistema plantio direto

5.2.1. Caracterização da área experimental

O experimento de campo foi realizado no ano agrícola 2009/2010 na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP - Campus de Botucatu. A área está localizada a 22º 51'S de latitude, 48º 26'W de longitude e 740 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa. É caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), o solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, sendo manejado sob SPD há seis anos. A seqüência de culturas neste período foi: soja/aveia preta, milho/*Brachiaria brizantha*, milho/*Brachiaria brizantha*, soja/aveia branca, feijão/aveia branca, soja/pousio, milho verão/instalação do experimento.

Os dados diários referentes às temperaturas máxima, mínima e precipitação pluvial durante a condução do experimento, coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais – Setor de Climatologia, estão contidos na Figura 3.

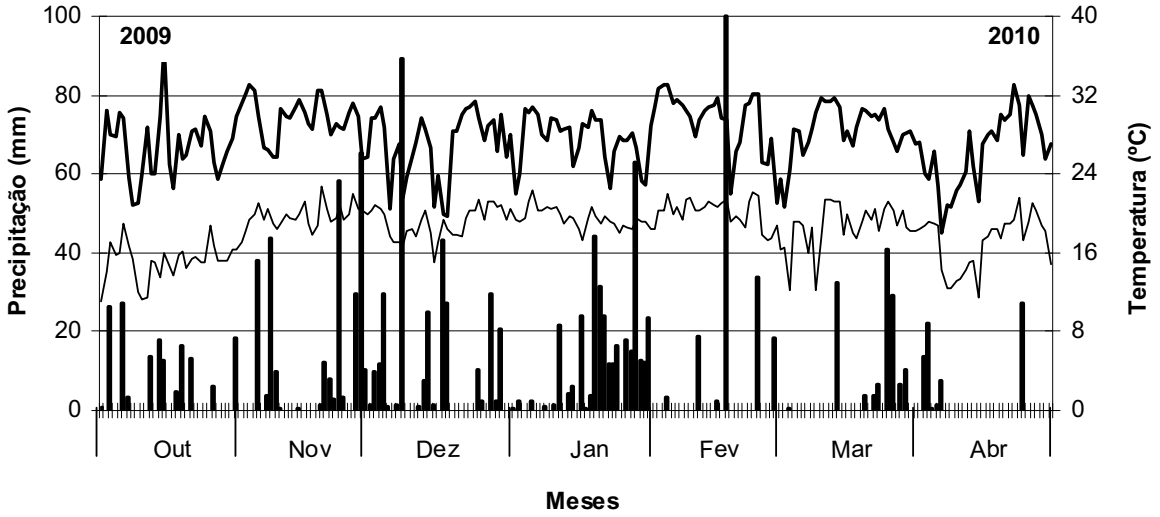

Figura 3. Precipitação (▌), temperaturas máxima (▬) e mínima (–) registradas durante a condução do experimento.

5.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídos por seis espécies de plantas de cobertura do solo (*Brachiaria brizantha, B. decumbens e B. humidicola, B. ruziziensis, Pennisetum americanum* e *Crotalaria spectabilis*) e as subparcelas por sete formas

de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 4). As espécies de braquiárias foram utilizadas por apresentarem capacidade de inibir a nitrificação. O milheto por ser a espécie mais utilizada como fonte de palhada para cobertura de solo no Cerrado e a crotalária por sua utilização estar em franca expansão devido, principalmente ao seu efeito na redução de nematóides. A cultivar de arroz utilizada foi a IAC 202.

Tabela 4. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2009.

Tratamentos	Época de Aplicação de N		Total
	0 DAE	30 DAE	
	---------- kg ha^{-1} ----------		
Testemunha	0	0	0
Nitrato de cálcio (NO-40+40)	40	40	80
Nitrato de cálcio (NO-00+80)	0	80	80
Sulfato de amônio (NH-40+40)	40	40	80
Sulfato de amônio (NH-00+80)	0	80	80
Sulfato de amônio + DCD (NHI-40+40)	40	40	80
Sulfato de amônio + DCD (NHI-00+80)	0	80	80

DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação.

5.2.3. Instalação e condução do experimento

Antes da implantação do experimento foi realizada a caracterização química do solo até a profundidade 0-20 cm. Os valores obtidos foram: matéria orgânica, 14 g dm^{-3}; pH (1:2,5 solo/suspensão de $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}), 5,8; P (resina), 35 mg dm^{-3}; K, Ca e Mg trocáveis de 3,6, 43,0 e 34,0 mmol$_c$ dm^{-3}, respectivamente, acidez total em pH 7,0 (H + Al) de 6,36 mmol$_c$ dm^{-3}, capacidade de troca de cátions total (CTC) de 110 mmol$_c$ dm^{-3}, saturação por bases de 73 %. Quanto aos micronutrientes os valores para Fe, Cu, Mn, Zn e B foram 6,0; 7,5; 105; 2,3 e 0,22 mg dm^{-3}, respectivamente.

Os teores de NH_4^+ nas camadas de 0-5 e 0-20 foram: 12,25 e 6,05 mg dm^{-3}, respectivamente. Quanto ao NO_3^- os teores foram de 32 e 15,7 mg dm^{-3} nas camadas de 0-5 e 0-20, respectivamente.

A metodologia utilizada para determinação de nitrato e amônio foi a preconizada por Keeney & Nelson (1982). O teor de enxofre (S-SO_4^-) nas camadas de 0-5 e 0-

20 foram 12 e 40 mg dm^{-3}, respectivamente, sendo o S determinado por turbidimetria (preciptação do cloreto de bário), de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

A dessecação da vegetação espontânea foi realizada com o herbicida glifosato (1.900 g ha^{-1} do i.a.) e a semeadura das plantas de cobertura com a semeadora modelo Personalle Drill 13 Semeato. A densidade de semeadura e o espaçamento entre linhas, foram de acordo com a recomendação indicada para cada espécie.

As plantas de cobertura foram semeadas no dia 01/04/2009, com a semeadora modelo Personalle Drill 13 Semeato. A antecipação da semeadura foi realizada para evitar eventuais imprevistos, ou seja, caso alguma espécie não emergisse adequadamente poderia ser ressemeada com tempo hábil para que produzisse matéria suficiente para caracterizar o tratamento e garantir a semeadura do arroz na época recomendada.

Em outubro de 2009, aos 150 DAE as plantas de cobertura (Figura 4) foram dessecadas com glyphosate na dose de 2.000 g do i.a. ha^{-1}. Antes do manejo foi determinada a massa de matéria seca, quantidade de N acumulada e os teores de $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$ (Tabela 5) de acordo com a metodologia proposta por Keeney & Nelson (1982).

Figura 4. Plantas de cobertura antes da dessecação.

Tabela 5. Matéria seca (MS), teor de nitrogênio e nitrogênio acumulado nas plantas de cobertura antes do manejo. UNESP Botucatu-SP, 2009.

Espécies	MS	Teor de N	N Acumulado	$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_3^-$
	kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
Pennisetum americanum	10.660	11,4	121,5	0,30	1,00

*Crotalaria juncea**	8.700	25,3	220,1	0,26	0,31
Brachiaria brizantha	12.540	14,6	183,1	0,28	0,86
Brachiaria decumbens	14.620	11,2	163,7	0,29	0,56
Brachiaria humidicola	12.470	14,5	180,8	0,28	0,57
Brachiaria ruziziensis	7.030	15,6	109,7	0,26	1,28

* A Crotalaria juncea foi manejada na fase inicial de enchimento de grãos.

Após a determinação dos teores de N-NO_3^-, N-NH_4^+ e N-total do solo (SILVA, 1999), nas profundidades 0-5 e 5-20 cm (Tabela 6), foi realizada a semeadura do arroz, no dia 10/12/09.

O arroz foi semeado em parcelas com dimensões de 7 m de comprimento por 4,5 m de largura, perfazendo uma área total de 31,5 m^2. A semeadura foi realizada com a semeadora adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para Sistema Plantio Direto. O espaçamento foi de 0,34 m entre linhas e a densidade de semeadura 80 sementes por metro. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com o método proposto por Cantarella et al. (1997).

Tabela 6. Teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrogênio total (NT) do solo nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função de plantas de cobertura antes da semeadura do arroz. Botucatu-SP, 2009.

Planta de Cobertura	**Profundidade do solo 0-5 cm**			**Profundidade do solo 5-20 cm**		
	NH_4^+	**NO_3^-**	**NT**	**NH_4^+**	**NO_3^-**	**NT**
	------ mg kg^{-1} ------		g kg^{-1}	------- mg kg^{-1} -------		g kg^{-1}
Pennisetum americanum	12,09	14,25	1,79	10,24	14,60	1,45
Crotalaria juncea	12,65	15,12	1,97	8,49	16,47	1,56
Brachiaria brizantha	11,72	16,48	2,02	10,63	13,79	1,61
Brachiaria decumbens	13,70	22,17	2,18	11,14	15,19	1,56
Brachiaria humidicola	14,24	20,41	2,11	8,39	14,34	1,66
Brachiaria ruziziensis	12,30	19,14	1,98	11,12	17,38	1,60

As fontes de N foram aplicadas imediatamente após a emergência das plântulas de arroz e aos 30 DAE, conforme Tabela 4. O adubo foi distribuído em filete contínuo sobre a superfície do solo, aproximadamente 10 cm da linha de semeadura. Durante o período de desenvolvimento das plantas, foram realizadas as práticas agrícolas necessárias.

Para as avaliações, foram consideradas as 4 linhas centrais da parcela, desprezando-se 1,0 m nas extremidades de cada fileira de plantas.

5.2.4. Avaliações

a) Teores de N-NH_4^+, N-NO_3^-, N-total e pH do solo

No solo foram determinados o teor de nitrogênio (amoniacal, nítrico, total) e o pH. As amostras foram coletadas nas profundidades 0-5 e 0-20 cm. As determinações foram realizadas aos 14, 28 e 42 DAE do arroz de acordo com metodologia proposta por Silva (1999).

No arroz as determinações de nitrogênio (amoniacal, nítrico e total) foram realizadas aos 28 e 42 DAE (KEENEY & NELSON, 1982). A coleta das folhas foi realizada no período da manhã entre às 8:00 e às 10:00 horas.

b) Bactérias amonificantes e nitrificantes

Pa estas determinações foram coletadas amostras compostas de cinco sub-amostras na camada de 0-5 cm, sendo que as coletas foram realizadas no dia da emergência das plantas, aos 15 DAE e aos 30 DAE. As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico e transportadas em caixas de isopor com gelo até o laboratório, onde foram armazenadas a -10°C.

As bactérias amonificadoras e nitrificantes foram determinadas pelo método da inoculação de suspensões diluídas de solo. O solo foi diluído em meio de cultura líquido (SARATHCHANDRA, 1978). A estimativa do número de células viáveis foi feita pela técnica número mais provável (NMP), proposta por Cochran (1950).

Essas análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

c) Atividade da nitrato redutase

As épocas das avaliações da enzima NR foram realizadas com intervalos de sete dias, sendo a primeira aos 7 DAE e a última 49 DAE. A coleta das folhas foi

realizada no período da manhã entre às 8:00 e às 10:00 horas. As folhas coletadas foram colocadas em tubos de Falcon (50 mL) e congeladas em nitrogênio líquido. Durante a coleta as folhas já congeladas foram mantidas em caixas de isopor com nitrogênio líquido. Posteriormente o material coletado foi armazenado em freezer a -80ºC. A metodologia para a determinação da enzima foi a mesma do Experimento 1 em casa de vegetação.

d) Componentes de produção do arroz

a) O número de panículas por metro quadrado foi obtido contando-se as panículas contidas em quatro metros lineares na área útil da parcela. A partir deste resultado foi calculado o número de panículas por metro quadrado.

b) Número total de espiguetas por panícula foi obtido contando-se 15 panículas por parcela e efetuada a contagem das espiguetas.

c) A fertilidade de espiguetas foi determinada pela relação do número de espiguetas granadas pelo número total de espiguetas por panícula x 100. Considereou-se a média de 15 panículas por parcela.

d) A massa de 1000 grãos foi obtida pesando-se quatro amostras de 1000 grãos por unidade experimental. O teor de água das sementes foi determinado e ajustado para 13%.

e) A produtividade de grãos foi obtida mediante a colheita das plantas da área útil de cada unidade experimental. As panículas foram trilhadas e submetidas a limpeza para separação da palha e das espiguetas chochas. Após esta operação, os grãos foram pesados e em seguida foi calculada a produtividade em kg ha^{-1}, sendo que o teor de água das sementes foi determinado e ajustado para 13%.

5.3. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à analise de variância e à comparação entre médias pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Experimento 1 - Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas

Os dados da atividade da enzima nitrato redutase (NR) referentes aos dez cultivares estão contidos na Tabela 7. Aos 7 DAE a maior atividade da NR foi observa para a cultivar IAC 202; e, aos 14 DAE para as cultivares Carajás, IAC 202, BRS Sertaneja, BRS Bonança e BRS Curinga. Na terceira coleta a atividade da NR foi maior para as cultivares Primavera e BRS Bonança. Aos 28 DAE não houve diferenças entre as cultivares quanto a atividade enzimática. Justino et al. (2006) observaram que a cultivar Fernandes apresentou maior eficiência, tanto na absorção quanto na redução do nitrato, em comparação à cultivar Maravilha.

Com o desdobramento das épocas de coleta em cada cultivar verificou-se que a atividade da NR aos 7 DAE foi maior em relação as demais épocas. A atividade enzimática aos 14 DAE foi superior as coletas realizadas aos 21 e 28 DAE. Quando observados os valores de nitrito formado nas coletas aos 21 e 28 DAE, constata-se que praticamente não houve diferenças na atividade da enzima. A única exceção foi a cultivar IAC-25, cuja a atividade da NR foi menor aos 21 DAE.

Tabela 7. Atividade da enzima nitrato redutase em folhas de dez cultivares de arroz em quatro épocas de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Cultivares de arroz	Dias após a emergência				**Média**
	7	14	21	28	
	---------- [1]NO_2^- (µM g de matéria fresca h^{-1}) ----------				
Caiapó	11,1dA	9,5bB	6,9bC	6,7aC	**8,5a**
Carajás	12,0cA	11,7aA	6,4cB	6,2aB	**9,0a**
IAC-25	12,9cA	9,2bB	5,4cD	7,1aC	**8,6a**
Primavera	11,2dA	9,7bB	8,4aC	7,7aC	**9,2a**
IAC 202	15,7aA	11,7aB	6,7bC	7,6aC	**10,4a**
BRS Sertaneja	12,0cA	10,5aB	7,4bC	7,7aC	**9,4a**
BRS Bonança	13,1cA	11,1aB	9,8aC	8,5aC	**10,6a**
BRS Curinga	11,1dA	11,7aA	7,4bB	7,4aB	**9,4a**
Maravilha	13,6bA	7,9cB	7,2bB	7,1aB	**9,0a**
BRS Talento	12,6cA	8,5cB	7,5bB	8,0aB	**9,2a**
Média	**12,5A**	**10,2B**	**7,3C**	**7,4D**	**-**

[1]A atividade da nitrato redutase expressa pela quantidade de nitrito (NO_2^-) formado. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas não diferem pelo teste Scott Knott (P=0,05) e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Apesar das diferenças entre os cultivares, a hipótese que a atividade da NR seria menor nos primeiros dias do ciclo do arroz e que com o tempo aumentaria não foi confirmada. Ocorreu o contrário, maior atividade enzimática no início do ciclo com posterior redução, conforme as médias apresentadas na Tabela 7. Além disso, quando consideradas as quatro épocas de coleta, não houve diferenças expressivas entre os cultivares. Novos estudos com situações diferentes são necessários para averiguar se alguns destes cultivares se destacam em relação a atividade da enzima nitrato redutase.

6.2. Experimento 2 - Efeito do pH nas formas de N no solo, no teor de micronutrientes e na atividade da enzima nitrato redutase do arroz

6.2.1. Teor de N-NH_4^+ do solo

A Tabela 8 contém os dados referentes ao teor de amônio no solo. Aos 7 DAE o teor de amônio não foi influenciado pela acidez do solo. Aos 14 DAE a acidez influenciou no teor de amônio apenas com a ausência de N (testemunha). Neste caso, o maior teor de amônio foi observado com acidez média e o menor para a acidez baixa. Dados de literatura mostram que a taxa de nitrificação em solos ácidos é reduzida (MELO, 1987) e caem

rapidamente em valores de pH menores que 6,0, tornando-se bastante reduzidas em solo com pH abaixo de 5,0 (SILVA et al., 1994).

Aos 21 DAE, observou-se efeito da acidez do solo no teor de amônio apenas para a fonte amoniacal + DCD e o maior teor de amônio foi observado para alta acidez. Aos 28 DAE observou-se efeito da acidez nos teores de NH_4^+ apenas para a testemunha, sendo que o maior teor foi observado para a acidez média.

Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que em todas as coletas as fontes amoniacais superaram a testemunha e a fonte nítrica Ressalta-se que na coleta aos 7 DAE e aos 21 DAE o teor de amônio foi superior com a utilização do inibidor de nitrificação (DCD), para a acidez baixa e alta, respectivamente, sendo um indicativo que nestas duas situações o DCD inibiu a nitrificação, mantendo o N na forma amoniacal por maior tempo.

Outra observação importante a ser ressaltada é que os maiores teores de NH_4^+ para as fontes amoniacais nas coletas aos 7 e 21 DAE do arroz ocorreram devido a época de aplicação de nitrogênio. A primeira aplicação de N foi realizada logo após a emergência do arroz e a outra parte aos 15 dias após a primeira, fato que favoreceu a coleta aos 7 e 21 DAE.

Tabela 8. Teor de amônio do solo em função dos níveis de acidez, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Fontes de nitrogênio				Média
	Test.	NO_3^-	NH_4^+	NH_4^+ + DCD[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	14,6aB	4,2aC	28,0aA	30,0aA	**19,2a**
Média	18,0aB	2,2aC	28,3aA	28,6aA	**19,3a**
Baixa	16,0aC	2,7aD	26,7aB	32,0aA	**19,4a**
			14 DAE		
Alta	7,1abB	6,0aB	21,6aA	20,7aA	**16,1a**
Média	8,0aB	5,4aC	23,2aA	22,0aA	**14,7a**
Baixa	6,0bB	7,1aB	21,4aA	20,9aA	**14,0a**
			21 DAE		
Alta	4,2aC	4,8aC	32,5aB	44,2aA	**21,4a**
Média	6,3aB	6,3aB	33,0aA	33,3bA	**19,7a**
Baixa	6,8aB	7,0aB	34,2aA	34,1bA	**20,5a**
			28 DAE		
Alta	4,4bB	5,2aB	21,4aA	21,2aA	**13,1a**
Média	8,8aB	5,0aC	22,4aA	21,9aA	**14,5a**
Baixa	5,6bB	6,5aB	22,0aA	22,2aA	**14,1a**
Média	**9,0B**	**5,2C**	**26,2A**	**27,6A**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.2.2. Teor de N-NO_3^- do solo

Os teores de nitrato do solo foram influenciados pela acidez do solo. De maneira geral em todas as coletas os maiores valores foram observados em condições e baixa acidez do solo (Tabela 9). Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que em todas as coletas a fonte nítrica proporcionou os maiores teores de nitrato. De acordo com Flowers & O'Callaghan (1983) o aumento do pH promove o aumento da nitrificação. Isto ocorre por que a elevação do pH propicia condições mais adequadas à nitrificação autotrófica.

Tabela 9. Teor de nitrato do solo em função dos níveis de acidez, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Fontes de nitrogênio				Média
	Test.	NO_3^-	NH_4^+	NH_4^+ + DCD[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	20,8cB	33,2bA	16,6aC	19,1cB	**22,4b**
Média	26,1aA	27,0cA	16,8aC	22,5bB	**23,1b**
Baixa	23,5bC	38,6aA	18,3aD	28,1aB	**27,0a**
			14 DAE		
Alta	5,3bD	40,0bA	11,4bC	17,2cB	**18,5b**
Média	6,6bD	36,7cA	13,2bC	21,6bB	**19,5b**
Baixa	17,3aC	46,8aA	30,8aB	31,1aB	**31,5a**
			21 DAE		
Alta	4,9aC	31,4bA	13,8bB	14,3bB	**16,1b**
Média	6,2aC	24,3cA	16,8abB	15,3bB	**15,6b**
Baixa	7,8aC	44,7aA	19,6aB	21,6aB	**23,4a**
			28 DAE		
Alta	1,9bC	19,7bA	7,2bB	6,6cB	**8,8b**
Média	4,2aC	18,8bA	5,4cC	9,1bB	**9,4b**
Baixa	4,8aC	34,8aA	18,2aB	25,5aA	**20,8a**
Média	**10,8**	**33,0**	**15,7**	**19,3**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.2.3. Teor de micronutrientes na parte aérea do arroz

a) Cobre

O teor de cobre (Cu) foi influenciado pela acidez do solo. No entanto, no decorrer das coletas não foi possível identificar um nível de acidez que resultasse no mesmo efeito sobre o teor de Cu (Tabela 10). Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez, observou-se que de maneira geral o teor de Cu foi maior com a utilização de fontes amoniacais, principalmente para acidez média e alta. Segundo Weber & Gainey (1962), o sulfato de amônio provoca uma redução do pH do solo. A acidificação ocasionada pela adubação nitrogenada (LANGE et al., 2006) aumenta a disponibilidade de Cu e Zn no solo em decorrência de solubilidade com a redução do pH (TANAKA et al., 1993). Isto explica o menor teor de Cu para a fonte nítrica e maior teor para as fontes amoniacais. Ressalta-se ainda,

que o teor de Cu correlacionou-se positivamente com o teor de amônio em duas das quatro coletas de solo (Tabelas 44 e 47 - anexos).

Tabela 10. Teor de cobre na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	30,3bB	30,3aB	43,5aA	40,0aA	**36,0a**
Média	36,0aA	33,3aAB	29,7bB	32,0bAB	**32,7b**
Baixa	24,8bB	14,8bC	40,7aA	24,3cB	**26,0c**
			14 DAE		
Alta	39,0aB	38,8abB	45,0aA	40,5aAB	**40,8a**
Média	38,5aA	36,0bA	38,3bA	40,5aA	**38,3a**
Baixa	41,0aA	41,8aA	35,0bB	36,0aB	**38,5a**
			21 DAE		
Alta	26,0aA	17,8bB	25,0aA	23,0aA	**23,0a**
Média	16,3cC	21,3aB	25,0aA	22,0aAB	**21,0a**
Baixa	21,0bAB	18,5abB	23,5aA	21,8aAB	**21,0a**
			28 DAE		
Alta	17,8aB	17,3aB	22,0aA	21,5aA	**19,7a**
Média	13,5bB	15,0aB	21,3aA	19,3aA	**17,3a**
Baixa	16,5abB	16,0aB	21,0aA	21,8aA	**18,8a**
Média	**26,7**	**25,1**	**30,8**	**28,6**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

b) Zinco

O teor de zinco (Zn) foi influenciado pela acidez do solo, sendo que em todas as coletas os maiores valores foram observados em condições de alta acidez do solo (Tabela 11). A acumulação de Zn na planta diminuiu significativamente com o aumento do pH do solo, o que pode estar relacionado com a adsorsão ou precipitação desse micronutriente. Segundo Fageria (2000) há diminuição na acumulação de Fe, Mn e Zn com a elevação do pH do solo acima de 5,5. Tisdale et al. (1985) relataram que a disponibilidade de Zn diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH. De acordo com Fageria et al. (1997) o

nível adequado de Zn na parte aérea de arroz é 47 mg kg^{-1}, e no presente trabalho os valores de Zn estiveram próximos a esse valor em condições de alta acidez.

Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez, nenhuma fonte de N propiciou maiores ou menores teores de zinco em todos os índices, no decorrer das coletas. De maneira geral os maiores teores de Zn nas folhas se repetiram com a utilização da fonte amoniacal sem inibidor. Isto pode ter ocorrido, pelo efeito que o sulfato de amônio exerce na redução do pH conforme já discutido para o Cu.

Tabela 11. Teor de zinco na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	43,5aBC	47,8aAB	50,3aA	39,0aC	**45,0a**
Média	32,3bB	44,8aA	43,0bA	37,0aB	**40,0b**
Baixa	34,0bA	21,3bC	31,8cA	26,3bB	**28,0c**
			14 DAE		
Alta	43,3aA	44,3aA	43,5aA	44,5aA	**44,0a**
Média	27,3bB	35,3bA	28,0bB	26,0bB	**29,0b**
Baixa	30,8bA	30,5cA	31,0bA	22,3bB	**28,5b**
			21 DAE		
Alta	44,5aAB	49,7aA	47,8aAB	43,3aB	**46,0a**
Média	24,8bA	26,5bA	29,3bA	29,5bA	**27,5b**
Baixa	17,0cB	21,3bB	32,5bA	29,0bA	**25,0b**
			28 DAE		
Alta	41,8aA	38,0aB	45,3aA	42,3aA	**42,0a**
Média	22,8bB	23,8bB	36,3bA	32,3bA	**29,0b**
Baixa	14,3cC	23,0bB	32,0bA	26,5cB	**24,0c**
Média	**31,4**	**34,0**	**37,6**	**33,2**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

c) Ferro

O teor de ferro (Fe) foi influenciado pela acidez do solo. No entanto, no decorrer das coletas, não houve teor de Fe inferior ou superior aos demais, independente da fonte de N (Tabela 12).

Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez, as diferença entre as fontes de N para acidez média e alta foram pequenas. No entanto, para estes níveis de acidez todas as fontes propiciaram teores de Fe maiores que a testemunha, com exceção da segunda coleta.

Tabela 12. Teor de ferro na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	178cB	275aA	270bA	257cA	**245c**
Média	203bB	186bB	419aA	425aA	**308a**
Baixa	228aC	281aB	283bB	318cA	**278b**
			14 DAE		
Alta	163aA	161bA	164aA	159aA	**162a**
Média	128bB	135cB	156aA	149abA	**142b**
Baixa	161aB	199aA	124bD	147bC	**158a**
			21 DAE		
Alta	156bA	164bA	175bA	170aA	**166b**
Média	174abA	145bA	154bA	149aA	**156b**
Baixa	194aBC	223aAB	228aA	172aC	**204a**
			28 DAE		
Alta	121aB	127bAB	124cAB	133bA	**126b**
Média	125aB	143aA	143bA	95cC	**127b**
Baixa	116aC	110cC	177aB	220aA	**156a**
Média	**162**	**179**	**201**	**200**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

d) Manganês

O teor de manganês (Mn) foi maior quando a acidez do solo foi alta. Este comportamento correu para todas as fontes de N e em todas as coletas. Os menores valores de Mn foram observados quando a acidez do solo esta média ou baixa (Tabela 13). Com o desdobramento das fontes de nitrogênio em cada nível de acidez, observou-se que não houve um comportamento padrão para as diferentes fontes de N. Os dados das Tabelas 44, 45, 46 e 47 (anexos) também demonstram que as fontes de N aplicadas no solo não exerceram efeito sobre o teor de Mn na planta, não houve correlação entre o teor de NH_4^+ e NO_3^- solo com o teor de Mn na planta.

Tabela 13. Teor de manganês na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------				
			7 DAE		
Alta	696aA	648aB	600aC	600aC	**636a**
Média	62bA	76bA	92bA	75bA	**76b**
Baixa	53bA	47bA	80bA	84bA	**66b**
			14 DAE		
Alta	756aA	758aA	640aB	643aB	**699a**
Média	68bC	72bBC	98bB	144bA	**96b**
Baixa	72bA	76bA	91bA	93cA	**83b**
			21 DAE		
Alta	746aB	837aA	665aC	765aB	**753a**
Média	63cC	91cC	132cB	216bA	**126c**
Baixa	107bB	123bB	212bA	213bA	**164b**
			28 DAE		
Alta	496aA	514aA	457aB	443aB	**478a**
Média	43aB	79bA	84bA	85bA	**73b**
Baixa	35aB	47cB	81bA	57cB	**55c**
Média	**266**	**280**	**269**	**285**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.2.4. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz

Os dados da atividade da enzima nitrato redutase (NR) referentes as quatro épocas de coleta de plantas estão contidos na Tabela 14. Aos 7 DAE houve diferença entre nível de acidez com a utilização da fonte nítrica. Para essa fonte, a maior atividade foi observada em condições de baixa e média acidez. Com o desdobramento das fontes de N em cada nível de acidez, verificou-se que a atividade enzimática da testemunha esteve igual ou superior as fontes de N para os três níveis de acidez. Aos 14 DAE constatou-se que de maneira geral a acidez média proporcionou maior atividade da NR, com exceção da fonte amoniacal. Com o desdobramento das fontes de N em cada nível de acidez observou-se maior atividade para testemunha e para a fonte nítrica para os três níveis de acidez (Tabela 14).

Tabela 14. Atividade da enzima nitrato redutase em folhas de arroz em função dos níveis de acidez do solo, fontes de nitrogênio e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
			[2]NO_2^- (µM g de matéria fresca h^{-1})		
			7 DAE		
Alta	12,1aA	10,7bAB	11,3aAB	10,1abB	**11,0b**
Média	13,3aA	12,6aAB	11,4aB	11,4aB	**12,0a**
Baixa	12,2aA	12,9aA	11,9aA	11,5aA	**12,0a**
			14 DAE		
Alta	7,4bAB	8,4cA	6,3cB	6,5bB	**7,0b**
Média	11,8aA	12,5aA	8,7bB	8,5aB	**10,5a**
Baixa	11,4aA	10,6bAB	11,4aA	9,8aB	**11,0a**
			21 DAE		
Alta	5,5bB	8,5bA	4,8bB	4,8bB	**6,0b**
Média	9,2aB	13,0aA	8,8aB	8,3aB	**9,8a**
Baixa	10,4aA	10,0bA	8,3aB	9,4aAB	**9,5a**
			28 DAE		
Alta	1,6cB	3,8cA	2,2cB	2,3cB	**2,5c**
Média	2,8bD	6,6bA	4,0bC	5,2bB	**5,0b**
Baixa	5,4aB	9,8aA	5,5aB	6,3aB	**7,0a**
Média	**8,6**	**10,0**	**7,9**	**7,8**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação; [2]atividade da NR expressa pela quantidade de nitrito (NO_2^-) formado. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Aos 21 DAE a acidez baixa e média proporcionaram maior atividade da NR em relação a alta acidez. Com o desdobramento inverso a fonte nítrica proporcionou maior ou igual atividade da NR, para a acidez média e alta. Por fim, aos 28 DAE observou-se que a acidez baixa proporcionou maior atividade da NR em todas as fontes de N. A fonte nítrica, na maior parte dos casos proporcionou maior atividade da NR independente do nível de acidez. De acordo com Crawford (1995), a disponibilidade de nitrato pode interferir positivamente no aumento da atividade da NR, pois trata-se do substrato da enzima.

A hipótese que a atividade da NR seria menor nos primeiros dias do ciclo do arroz não foi confirmada, aconteceu o contrário, conforme as médias apresentadas na Tabela 14. A proximidade dos valores da NR entre a coleta aos 14 e aos 21, deve-se ao fato da segunda aplicação de N ter sido realizada aos 15 DAE, o que favoreceu a terceira coleta (21 DAE).

A maior atividade da NR com o aumento do pH (baixa acidez) ocorreu em virtude do maior teor de nitrato no solo. Observando-se os dados da Tabela 9, contata-se que com o aumento do pH os teores de nitrato foram maiores. Silva et al. (1994) verificaram que a calagem promoveu aumento na disponibilidade de nitrato, sendo os maiores teores de N-nítrico observados em condições de pH próximo da neutralidade. Analisando-se as Tabelas 45, 46 e 47 (anexos) constatou-se correlação positiva entre a atividade da NR e o teor de NO_3^- do solo. A disponibilidade de nitrato pode interferir positivamente no aumento da atividade da NR, pois trata-se do substrato da enzima (CRAWFORD, 1995). Estes dados justificam a maior atividade da NR com a fonte nítrica.

6.2.5. Produção de matéria seca da parte aérea

A matéria seca da parte aérea (MSPA) diferiu em decorrência da acidez do solo. Para a alta acidez a maior produção de matéria seca foi obtida com a fonte nítrica e para a acidez média com a fonte amoniacal. Com baixa acidez observou-se os menores valores de matéria seca (Tabela 15). Com o desdobramento das fontes de nitrogênio em cada nível de acidez observou-se que os maiores valores de MSPA foram obtidos com a fonte amoniacal e amoniacal + inibidor. Houve diferença entre estas fontes somente para a acidez média. Nesse caso, a maior produção de MSPA foi maior com a fonte amoniacal. Em

relação a testemunha todas as fontes proporcionaram acréscimos de MSPA, com exceção para a fonte nítrica com acidez média.

Tabela 15. Matéria seca da parte aérea e número de perfilhos do arroz de terras altas em função dos níveis de acidez do solo e fontes de nitrogênio. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
			Matéria seca da parte aérea		
Alta	6aC	15aB	18bA	19aA	**14,5a**
Média	7aC	8bC	21aA	19aB	**13,75b**
Baixa	4bC	7bB	9cA	9bA	**7,25c**
Média	**5,7C**	**10,0B**	**16,0A**	**15,7A**	
			Perfilhos (n.º planta^{-1})		
Alta	4aC	7aB	8aA	8aA	**7,0a**
Média	4aC	5bB	8aA	8aA	**6,0b**
Baixa	3bC	4cB	5bA	5bA	**4,0c**
Média	**4,0C**	**5,0B**	**7,0A**	**7,0A**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.2.6. Perfilhamento do arroz

Quanto ao número de perfilhos por planta, houve diferença entre acidez média e alta apenas para a fonte nítrica (Tabela 15). O maior número de perfilhos foi obtido em condições média e alta acidez para os tratamentos NH_4^+ e NH_4^+ + DCD. O menor número de perfilhos foi observado em condições de baixa acidez do solo. No desdobramento das diferentes doses de N, em cada nível de acidez observou-se que em todos os níveis, as fontes de N proporcionaram maior número de perfilhos em relação a testemunha, sendo que as fontes NH_4^+ e NH_4^+ + DCD proporcionaram maior aumento.

Na Figura 5 e 6 estão contidas as fotos do arroz 60 DAE. O efeito dos tratamentos no desenvolvimento da parte aérea foi visível, embora já confirmado com os dados de MSPA. O principal fator que alterou o desenvolvimento da parte aérea foi a redução da acidez do solo, principalmente quando a fonte de N foi a nítrica.

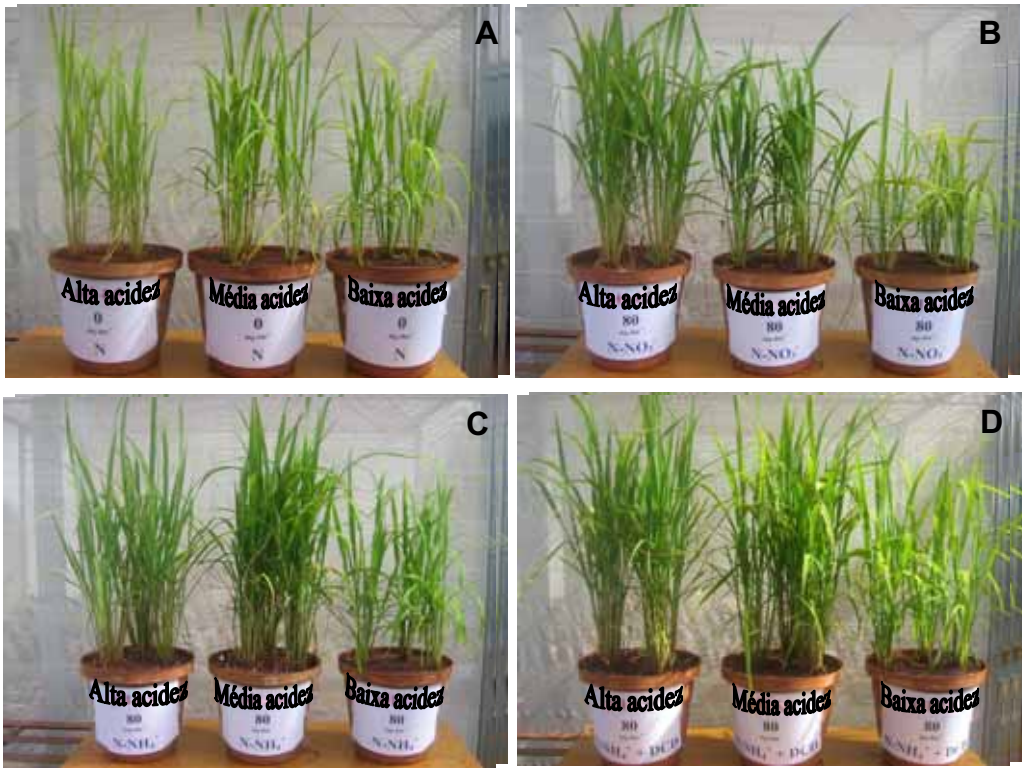

Figura 5. Desenvolvimento do arroz em função de três níveis de acidez (baixa, média e alta) e fontes de nitrogênio: testemunha (A); $N\text{-}NO_3^-$ (B); $N\text{-}NH_4^+$ (C) e $N\text{-}NH_4^+$ + DCD - inibidor de nitrificação (D) aos 60 DAE.

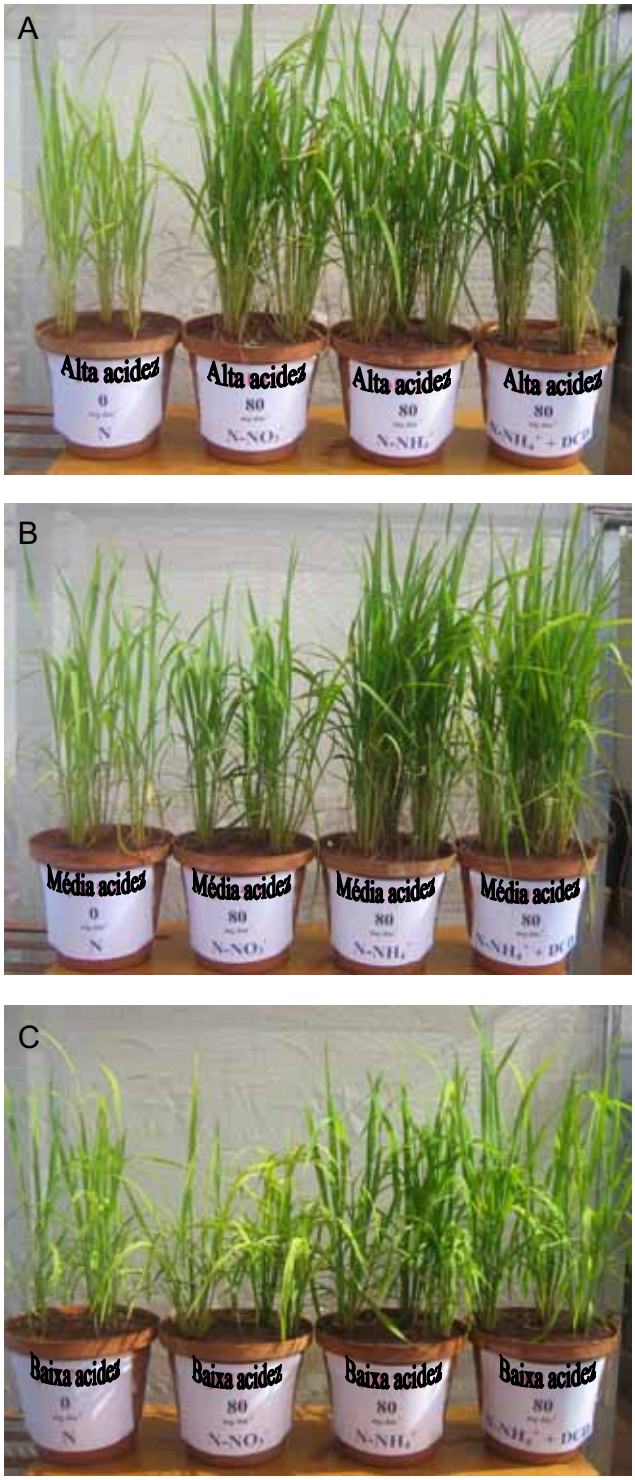

Figura 6. Desenvolvimento do arroz em função de três níveis de acidez: alta (A), média (B), baixa (C) e fontes de N ($N\text{-}NO_3^-$, $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NH_4^+$ + DCD - inibidor de nitrificação) aos 60 DAE.

6.2.7. Componentes da produção e produtividade de grãos

Os dados relativosn a produtividade e seus componentes são apresentados na Tabela 16.

O número de panícula por planta foi influenciado pela acidez do solo somente quando houve aplicação de N. Os maiores valores para este componente foram observados em condições de acidez alta. Estes valores foram iguais a acidez média apenas quando a fonte foi a amoniacal + inibidor de nitrificação. Com exceção da testemunha e da fonte nítrica o menor número de panículas por planta foi observado em condições de baixa acidez do solo. Com o desdobramento das fontes de N em cada nível de acidez observou-se que as amoniacais superam a nítrica e a testemunha independente da acidez do solo.

O número de espiguetas por panícula não foi alterado pela acidez do solo. Quanto a porcentagem de espiguetas férteis o menor valor foi observado para a acidez baixa, quando a fonte de N utilizada foi a nítrica. Os demais valores não diferiram significantemente. Quanto ao desdobramento das fontes de N em cada nível de acidez observou-se efeito das fontes apenas para baixa acidez. Os valores para as fontes amoniacais foram superiores a testemunha e a fonte nítrica.

O peso de 100 grãos foi influenciado pela acidez apenas com a testemunha e com a fonte nítrica. Na ausência de nitrogênio o maior peso de 100 grãos foi observado em condições de alta acidez. Quando utilizou-se a fonte nítrica a acidez alta e média proporcionaram valores superiores a baixa acidez do solo. Com o desdobramento dos tratamentos em cada nível de acidez observou-se que para a alta acidez os tratamentos não influenciaram os resultados. Para a acidez baixa e média os maiores valores foram observados com as fontes amoniacais.

A produtividade de grãos não foi influenciada pela acidez do solo na ausência de N. Com a adição de nitrogênio a acidez média e alta proporcionaram os maiores valores, com exceção da acidez média para a fonte nítrica. Em relação ao desdobramento das fontes de nitrogênio em cada nível de acidez as amoniacais superaram as demais. A exceção foi a fonte nítrica em condições de alta acidez do solo que proporcionou produtividade estatisticamente igual as amoniacais.

Segundo Fageria & Zimmermann (1998), o aumento do pH acima de 5,3 causou a diminuição na produção do arroz. As cultivares adaptadas ao ecossistema de

terras altas desenvolvem-se melhor com o fornecimento de nitrato e amônio em quantidades semelhantes (TA & OHIRA, 1981). Portanto, a influência negativa da elevação do pH nos componentes da produção e na produtividade pode estar associada ao desequilíbrio da relação NO_3^-/NH_4^+, uma vez que o fornecimento de NH_4^+ melhorou o desempenho da cultura.

Tabela 16. Componentes da produção e produtividade de grãos do arroz de terras altas em função dos níveis de acidez do solo e fontes de nitrogênio. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Fontes de nitrogênio**				**Média**
	Test.	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**NH_4^+ + DCD[1]**	
			Panículas (n.º planta^{-1})		
Alta	4aC	9aB	11Aa	10aAB	**8,5a**
Média	5aC	6bC	9bB	11aA	**7,7b**
Baixa	4aC	5bC	7cB	8bA	**6,0c**
Média	**4,0D**	**7,0C**	**9,0B**	**10,0A**	
			Espiguetas (n.º panícula^{-1})		
Alta	55aA	64aA	60aA	65aA	**61a**
Média	60aA	66aA	62aA	60aA	**62a**
Baixa	54aA	60aA	63aA	60aA	**59a**
Média	**56B**	**63A**	**62A**	**62A**	
			Fertilidade de espiguetas (%)		
Alta	83aA	88aA	79aA	81aA	**83a**
Média	78aA	86aA	86aA	86aA	**84a**
Baixa	72aB	64bB	88aA	86aA	**78a**
Média	**78A**	**79A**	**84A**	**84A**	
			Peso de 100 sementes (gramas)		
Alta	3,0aA	3,1aA	3,0aA	3,1aA	**3,0a**
Média	2,7bB	2,9aAB	3,1aA	3,0aA	**2,9b**
Baixa	2,7bAB	2,5bB	3,0aA	3,0aA	**2,8b**
Média	**2,8b**	**2,5b**	**3,0A**	**3,0A**	
			Produtividade de grãos (g planta^{-1})		
Alta	6aB	15aA	15aA	16aA	**13a**
Média	6aC	10bB	15aA	17aA	**12a**
Baixa	5aB	5cB	11bA	13bA	**8,5b**
Média	**5,6C**	**10,0B**	**13,7A**	**15,3A**	**-**

[1]DCD: dicianodiamida - inibidor de nitrificação. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.3. Experimento 3 - Efeito de micronutrientes na atividade da enzima nitrato redutase

6.3.1. Teor de N-NH_4^+ do solo

O teor de amônio foi influenciado pela acidez do solo (Tabela 17). Considerando os valores médios, a partir da segunda coleta (14 DAE) constatou-se ocorrência dos maiores valores quando a acidez do solo estava alta.

Tabela 17. Teor de amônio do solo em função dos níveis de acidez, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Test.	Zn	Fe	Mn	CQT[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	7,0abD	21,5abB	29,3abA	26,2bA	14,4cC	**19,7c**
Média	5,5bC	18,6bB	32,3aA	29,8aA	20,8bB	**21,4b**
Baixa	10,0aC	24,5aB	26,2bB	24,5bB	36,7aA	**24,4a**
			14 DAE			
Alta	15,0bB	19,4aA	20,2aA	15,2aB	22,6aA	**18,5a**
Média	21,8aA	16,9aB	15,7bB	14,6aB	21,3aA	**18,0a**
Baixa	12,5bA	12,7bA	14,0bA	14,3aA	15,5bA	**13,8b**
			21 DAE			
Alta	32,5aB	30,8aB	32,6aB	37,9aA	31,2aB	**33,0a**
Média	33,2aA	27,2aB	24,6bB	28,5bB	33,7aA	**29,4b**
Baixa	26,7bB	31,2aA	30,0aAB	27,0bB	32,4aA	**29,4b**
			28 DAE			
Alta	14,1aC	18,2aB	15,1aC	24,3aA	16,4aBC	**17,6a**
Média	12,9aA	6,0bC	10,5bAB	8,4cBC	10,8bAB	**9,7c**
Baixa	7,5bC	8,1bC	12,2abB	16,0bA	16,9aA	**12,1b**
Média	**16,6**	**19,6**	**22,0**	**22,0**	**22,7**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Hayatsu & Kosuge (1993), também constataram que a elevação do pH proporcionou maiores taxas de nitrificação o que culmina em menores teores de amônio. Observando-se o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, não foi constatado um tratamento que influenciou de forma semelhante o teor de amônio durante as

coletas (Tabela 17). Os teores médios de amônio nas quatro épocas foram 21,8; 16,8; 30,6 e 13,2 mg kg^{-1}, aos 7, 14, 21 e 28 DAE, respectivamente. Os maiores teores nas coletas aos 7 e 21 DAE ocorreram devido a época de aplicação do N. A primeira aplicação de N foi logo após a germinação do arroz e a outra parte aos 15 dias após a primeira, fato que favoreceu as concentrações de tais coletas.

Os menores teores de amônio foram observados quando não se utilizou micronutrientes (Tabela 17). São necessários novos estudos para averiguar se existe correlação entre micronutrientes catiônicos e disponibilidade de NH_4^+ no solo. As Tabelas 49, 50, 51 e 52 (anexos) contêm o resultado das correlações entre aplicação de micronutrientes e teor de amônio no solo. No entanto, as correlações não se repetem de uma coleta para outra e portanto, não são conclusivas.

6.3.2. Teor de N-NO_3^- do solo

Os teores de N-NO_3^- foram influenciados pela acidez do solo em todas as coletas. Os maiores valores foram observados quando acidez foi baixa (Tabela 18). De acordo com Flowers & O'Callaghan (1983) o aumento do pH favorece o aumento da nitrificação. Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que a partir da segunda coleta, os maiores teores de nitrato foram observados quando se aplicou ferro (Tabela 18).

Tabela 18. Teor de nitrato do solo em função dos níveis de acidez, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Test.	Zn	Fe	Mn	CQT[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	24,5abC	33,8abA	32,9bA	29,9cAB	28,4bBC	**29,9b**
Média	20,6bC	32,3bB	32,3bB	38,3bA	33,8aB	**31,5b**
Baixa	25,0aC	37,0aB	39,4aB	45,2aA	37,5aB	**36,8a**
			14 DAE			
Alta	16,4bC	26,2bB	31,0bA	17,9cC	22,4bB	**22,8c**
Média	30,4aA	22,0bB	23,8cB	23,2bB	30,0aA	**26,0b**
Baixa	33,4aB	35,4aAB	38,7aA	33,7aB	32,4aB	**34,7a**
			21 DAE			
Alta	41,2aA	37,2aAB	39,1aAB	40,1aAB	36,7bB	**38,9b**
Média	35,2bC	37,1aBC	41,6aA	39,6aAB	39,4bAB	**38,6b**
Baixa	42,7aAB	40,6aAB	42,9aAB	40,2aB	45,3aA	**42,3a**
			28 DAE			
Alta	27,1bB	31,9aA	27,5bAB	30,6bAB	31,3bAB	**29,7b**
Média	28,4bAB	26,5bAB	31,0bA	25,6cB	28,5bAB	**28,0b**
Baixa	34,9aB	28,5abC	45,5aA	45,0aA	43,4aA	**39,5a**
Média	**30,0**	**32,4**	**35,5**	**34,0**	**34,0**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.3.3. Teor de micronutrientes na parte aérea do arroz

a) Cobre

O teor de cobre (Cu) no arroz foi influenciado pela acidez do solo (Tabela 19). Considerando a média, constatou-se ocorrência dos maiores teores quando a acidez foi média, com exceção da coleta aos 28 DAE. Observando-se o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez, não constatou-se um tratamento que influenciasse de forma semelhante o teor de Cu durante as coletas (Tabela 19).

Tabela 19. Teor de cobre na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Test.	Zn	Fe	Mn	CQT[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	29,0bA	30,0aA	26,3bA	31,3bA	32,0aA	**29,7b**
Média	40,0aA	25,0aC	35,3aAB	38,7aA	31,0aBC	**34,0a**
Baixa	32,7bA	27,0aA	31,0abA	32,3bA	28,3aA	**30,3b**
			14 DAE			
Alta	26,3aA	24,0aAB	22,3bB	23,6abAB	22,3aB	**23,7b**
Média	28,0aA	24,3aAB	22,4aB	23,0bB	25,0aAB	**24,5ab**
Baixa	27,7aA	23,3aB	25,7bAB	27,3aA	25,7aAB	**26,0a**
			21 DAE			
Alta	12,0bB	12,0bB	12,0bB	18,0bA	15,3abA	**13,8c**
Média	17,7aB	17,0abBC	16,4aBC	24,0aA	14,3bC	**17,8a**
Baixa	17,7aA	14,7aA	15,0abA	16,4bA	17,7aA	**16,3b**
			28 DAE			
Alta	13,4aAB	14,2aA	11,2aB	12,0aB	12,7aAB	**12,7a**
Média	6,0bB	8,0bAB	10,0aA	9,3bA	9,4bA	**8,5b**
Baixa	6,0bB	8,0bAB	11,2aA	9,0bB	12,3aA	**9,3b**
Média	**21,4**	**19,0**	**20,0**	**22,0**	**20,5**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Os menores teores de Cu foram observados na coleta aos 28 DAE (Tabela 19). Estes valores demonstram que ocorreu a diluição do micronutriente. Com o tempo de coleta ocorreu aumento na produção de matéria seca e diminuição da concentração do elemento na planta.

b) Zinco

Os teores de zinco (Zn) na parte aérea do arroz foram influenciados pela acidez do solo Os maiores valores médios foram observados quando a acidez do solo foi alta (Tabela 20). De acordo com Tisdale et al. (1985) a disponibilidade de Zn no solo diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH. Com a redução da disponibilidade dos micronutrientes no solo é de se esperar que também haverá diminuição na planta, o que de

fato ocorreu. Em trabalhos com soja também foi observado a redução na concentração foliar de Zn, em razão do aumento do pH do solo (CAIRES et al., 2001).

Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que em todas as coletas a aplicação de Zn no solo proporcionou as maiores concentrações de Zn na parte aérea. Esse resultado foi observado quando se aplicou somente o Zn ou quando o elemento foi aplicado juntamente com Fe e Mn (Tabela 20).

Tabela 20. Teor de zinco na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Micronutriente**					**Média**
	Test.	**Zn**	**Fe**	**Mn**	**CQT[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	44,0aD	72,0aB	54,7aC	70,3aB	80,0aA	**64,2a**
Média	39,0bC	55,0bA	39,0bC	48,2bB	55,0bA	**47,2b**
Baixa	33,7cB	44,0cA	31,7cB	32,7cB	40,0cA	**36,4c**
			14 DAE			
Alta	41,7aB	57,0aA	46,0aB	45,0aB	63,0aA	**50,5a**
Média	32,0bBC	58,0aA	30,0bC	32,0bBC	39,0bB	**38,2b**
Baixa	13,7cB	44,0bA	15,7cB	16,7cB	40,0bA	**26,0c**
			21 DAE			
Alta	58,6aC	76,6bB	61,7aC	60,8aC	85,0aA	**68,5a**
Média	47,6bD	84,0aA	59,0aC	43,0bD	74,0bB	**61,5b**
Baixa	30,7cD	79,6abA	38,8bC	33,5cCD	51,0cB	**46,7c**
			28 DAE			
Alta	53,0aC	68,0aB	55,0aC	60,0aBC	80,7aA	**63,3a**
Média	42,6bBC	64,0aA	47,0bB	38,0bC	66,0bA	**51,5b**
Baixa	33,0cB	54,0bA	35,0cB	40,7bB	53,6cA	**43,3c**
Média	**39,0**	**63,0**	**42,8**	**43,4**	**60,6**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t - LSD (P=0,05).

c) Ferro

Os teores de ferro (Fe) no solo foram influenciados pelos níveis de acidez (Tabela 21). Porém os valores na planta não diminuíram com o aumento do pH do solo. De acordo com Tisdale et al. (1985) a disponibilidade de Fe diminui cerca de 1.000 vezes com

o aumento de uma unidade de pH. O fato que pode explicar a pouca influência do pH nos teores de Fe na planta é que latossolos são ricos em Fe., tanto que Korndörfer et al. (1999) relatam quen o teor de óxido de ferro em Latossolo Vermelho distroférrico é alto e pode até causar toxidez a planta de arroz.

Tabela 21. Teor de ferro na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Test.	Zn	Fe	Mn	CQT[1]	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	177,0cC	251,0aA	230,0aB	231,0aB	161,0bC	**210,0a**
Média	231,0bA	155,0bC	186,0bB	151,0bC	146,0bC	**174,0c**
Baixa	274,0aA	165,0bC	197,0bB	145,0bD	196,0aB	**195,4b**
			14 DAE			
Alta	228,0aA	188,0bC	196,0bBC	187,0bC	211,0bB	**202,0c**
Média	205,0bB	182,0bC	252,0aA	247,0aA	247,0aA	**226,0b**
Baixa	242,0aAB	254,0aA	240,0aAB	235,0aB	248,0aAB	**244,0a**
			21 DAE			
Alta	246,0aA	173,0bB	258,0aA	236,0aA	231,0aA	**243,0a**
Média	247,0aA	172,0bB	256,0aA	251,0aA	249,0aA	**235,0a**
Baixa	221,0aB	257,0aA	230,0aAB	236,0aAB	248,0aAB	**238,0a**
			28 DAE			
Alta	57,0bD	96,0bA	76,0abC	76,0bC	85,0bB	**78,0b**
Média	85,0aB	75,0cC	73,0bC	74,0bC	93,0aA	**80,0b**
Baixa	56,0bC	115,0aA	82,0aB	86,0aB	82,0bB	**84,0a**
Média	**189,0**	**174,0**	**190,0**	**180,0**	**183,0**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

d) Manganês

Os teores de manganês (Mn) na parte aérea do arroz foram influenciados pela acidez do solo em todas as coletas. De modo geral, os maiores valores foram observados quando a acidez do solo foi alta e os menores quando a acidez do solo foi baixa (Tabela 22). Tisdale et al. (1985) relataram que com o aumento de uma unidade no valor do pH a disponibilidade de Mn no solo diminui cerca de 100 vezes. Estes dados justificam a redução de manganês na parte aérea do arroz com o aumento do pH. Caires &

Fonseca (2000), observaram redução dos teores de Mn na cultura da soja em decorrência do aumento do pH do solo.

Com o desdobramento dos dados em cada nível de acidez observou-se que de maneira geral a aplicação de Mn no solo proporcionou os maiores teores do elemento na parte aérea do arroz. Esse resultado é facilmente constatado quando se observa a média das quatro coletas (Tabela 22).

Tabela 22. Teor de manganês na parte aérea do arroz em função dos níveis de acidez do solo, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Micronutriente**					**Média**
	Test.	**Zn**	**Fe**	**Mn**	**CQT[1]**	
	---------- mg kg^{-1} ----------					
			7 DAE			
Alta	672aAB	608aC	597aC	658aB	685aA	**644a**
Média	113bC	105bC	199bA	176bB	189bAB	**156b**
Baixa	128bB	93bC	163cA	175bA	126cB	**137c**
			14 DAE			
Alta	528aB	513aBC	499aC	525aB	546aA	**522a**
Média	204bB	243bA	248bA	242bA	200bB	**227b**
Baixa	138cC	168cB	187cA	202cA	144cC	**168c**
			21 DAE			
Alta	864aB	886aB	952aA	947aA	933aA	**916a**
Média	442bD	480bC	486bC	582bA	527bB	**503b**
Baixa	440bB	457bB	492bA	472cAB	440cB	**460c**
			28 DAE			
Alta	1.065aC	1.152aAB	1.131aB	1.188aA	1.060aC	**1.119a**
Média	484bC	358cD	761bA	578bB	474bC	**531b**
Baixa	410cB	425bB	415cB	613bA	404cB	**453c**
Média	**457**	**457**	**511**	**530**	**477**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.3.4. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) foi influenciada pela acidez do solo em todas as épocas de coleta. De maneira geral a maior atividade foi constatada em condições de acidez média (Tabela 23). A maior atividade da NR para a acidez média foi

atribuída a maior disponibilidade de nutrientes nesta condição e ao balanço nitrato/amônio. Na acidez média a proporção nitrato/amônio foi 1,5 e na baixa acidez 1,9. Como já foi discutido anteriormente a planta de arroz exige quantidades semelhantes entre nitrato e amônio (TA & OHIRA, 1981). Neste caso, a proporção nitrato/amônio da acidez média foi mais favorável ao bom desenvolvimento do arroz e, consequentemente, para a atividade da NR.

Com o desdobramento das fontes de N em cada nível de acidez verificou-se que a atividade enzimática foi influenciada pela aplicação de micronutrientes (Tabela 23). No entanto, nenhum dos tratamentos se destacou. Quando se altera o nível de acidez do solo a disponibilidade de micronutrientes é afetada e, nesse caso, a aplicação surte efeito. Esse resultado pode ser observado nas coletas aos 7 e 14 DAE em condições de baixa acidez, com aplicação de Mn e CQT (Tabela 23).

Tabela 23. Atividade da enzima nitrato redutase em folhas de arroz em função dos níveis de acidez do solo, aplicação de micronutrientes e época de coleta. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	**Micronutriente**					**Média**
	Test.	**Zn**	**Fe**	**Mn**	**CQT[1]**	
			[2]NO_2^- (µM g de matéria fresca h^{-1})			
			7 DAE			
Alta	14,4aA	13,3aAB	13,6aAB	13,2aAB	12,7bB	**13,4a**
Média	12,1bB	13,5aAB	13,3aAB	13,6aA	14,7aA	**13,4a**
Baixa	11,1bBC	11,7bB	10,2bC	12,3aAB	13,6abA	**11,8b**
			14 DAE			
Alta	8,5bA	8,3bA	8,6aA	7,2cA	8,1bA	**8,1c**
Média	14,1aA	11,7aB	10,7aB	13,8aA	11,4aB	**12,3a**
Baixa	9,9bB	10,4aB	9,3aB	11,1bAB	12,6aA	**10,7b**
			21 DAE			
Alta	3,5bB	4,2bAB	5,3bA	4,4bAB	3,7bB	**4,2b**
Média	7,0aAB	7,9aA	6,3bB	7,4aAB	7,2aAB	**7,2a**
Baixa	7,7aA	7,9aA	8,0aA	7,6aA	7,2aA	**7,7a**
			28 DAE			
Alta	3,1cAB	2,9bAB	3,4bA	2,3bB	2,4bB	**2,8b**
Média	5,4bBC	4,6aC	6,4aA	6,2aAB	5,8aAB	**5,7a**
Baixa	6,6aA	4,8aC	3,9bD	5,6aBC	6,4aAB	**5,5a**
Média	**8,6**	**8,4**	**8,3**	**8,7**	**8,8**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn; [2]atividade da NR expressa pela quantidade de nitrito (NO_2^-) formado. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

O Fe e o Mn atuam no transporte de elétrons e os processos envolvidos são afetados, dentre eles a redução de nitrato. Isto acarreta acúmulo de nitrito podendo exercer um controle em *feedback* sobre a nitrato redutase de tal modo que o NO_3^- se acumula, como, algumas vezes, é observado em plantas deficientes em Fe e Mn (CAMPBELL, 1999; KIRKBY & RÖMHELD, 2007).

A atividade da NR diminuiu com o aumento dos dias após a emergência. Portanto, assim como no Experimento 1 a hipótese que a atividade da NR seria menor nos primeiros dias do ciclo do arroz e que com o tempo aumentaria não foi confirmada. Os valores apresentados demonstram que ocorreu a diluição da quantidade de NO_2^- formada. Com o tempo de coleta ocorreu aumento na produção de matéria seca e diminuição da concentração do nitrito formado na parte aérea da planta.

6.3.5. Produção de matéria seca da parte aérea

A matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 60 DAE, não diferiu entre a acidez média e alta, com exceção da testemunha (Tabela 24). No entanto, ambos proporcionaram incrementos em relação a acidez baixa (exceção para o Zn). Quanto ao desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez observou-se que para a acidez média e alta a adição de micronutrientes proporcionou incrementos de MSPA em relação a testemunha. Para a acidez baixa a adição dos micronutrientes Mn e Fe não proporcionaram acréscimos de MSPA.

Tabela 24. Matéria seca da parte aérea e número de perfilhos do arroz de terras altas aos 60 DAE em função dos níveis de acidez do solo e aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

	Níveis de acidez	**Micronutriente**					**Média**
		Test.	**Zn**	**Fe**	**Mn**	**CQT[1]**	
			Matéria seca da parte aérea (g planta^{-1})				
Alta	16bB	22aA	19aAB	21aA	21aA	**19,8b**	
Média	20aB	25aA	21aAB	23aAB	24aA	**22,6a**	
Baixa	13bBC	13bBC	19aA	12bC	17bAB	**14,8c**	
Média	**16B**	**20A**	**20A**	**19A**	**21A**	**-**	
			Perfilhos (n.º planta^{-1})				
Alta	13bB	18aA	19aA	19aA	18aA	**17,4a**	
Média	16aB	20aA	17aB	19aAB	19aAB	**18,2a**	
Baixa	12bA	12bA	13bA	12bA	13bA	**12,4b**	
Média	**14B**	**17A**	**16A**	**17A**	**17A**	**-**	

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.3.6. Perfilhamento do arroz

O número de perfilhos por planta foi influenciado pela acidez do solo de forma semelhante a MSPA, ou seja, houve diferenças entre a acidez média e alta apenas na ausência de micronutrientes (Tabela 24). No desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez observou-se que para a acidez média e alta, a adição de micronutrientes proporcionou maior número de perfilhos em relação a testemunha. A única exceção foi para a acidez média, quando o micronutriente utilizado foi o Zn. Na condição de baixa acidez do solo a aplicação de micronutrientes não proporcionou aumento de perfilhos.

6.3.7. Componentes da produção e produtividade de grãos

O maior número de panículas por planta foi observado com a acidez média, a qual superou a acidez baixa em todos os tratamentos (Tabela 25). Em relação ao efeito dos micronutrientes em cada nível de acidez observou-se que para a acidez alta, o número de panículas foi maior com Zn e Mn+Zn+Fe. Para a acidez média os melhores resultados foram obtidos com adição de Zn e para a acidez baixa com adição de Zn e Mn+Zn+Fe. A cultura do arroz apresenta alta resposta à aplicação de Zn (FAGERIA, 2000).

Plantas com deficiência de Zn, em estágios iniciais de desenvolvimento, têm seu desenvolvimento afetado e dificilmente poderão expressar seu máximo potencial genético (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

O número de espiguetas por panícula foi pouco alterado pela variação da acidez do solo, e o efeito dos micronutrientes em cada índice de acidez foi pouco expressivo (Tabela 25).

Quanto a espiguetas férteis a menor porcentagem foi observada para a acidez média e alta para os tratamentos com Mn e Fe, respectivamente. Com o desdobramento dos tratamentos em cada nível de acidez observou-se a menor porcentagem de espiguetas férteis para os tratamentos que receberam Zn e Mn+Zn+Fe em condições de acidez baixa (Tabela 25). A provável razão para a maior porcentagem de espiguetas férteis para a acidez baixa, deve-se ao menor número panículas por planta, resultando em menor número de espiguetas para nutrir e consequentemente, menor porcentagem de grãos chochos.

O peso de 100 grãos foi pouco afetado pela acidez do solo. Observou diferenças entre a acidez média e alta, quando aplicou-se Mn+Zn+Fe. Com o desdobramento dos tratamentos em cada nível de acidez observou-se o maior valor do peso de 100 grãos na condição de alta acidez do solo com a aplicação de Fe (Tabela 25). Há na literatura dados que relatam sintomas de deficiência de Fe nas folhas mais novas do arroz a partir do pH (H_2O) 5,7 (FAGERIA, 2000), o que, justifica o maior peso de grãos com a adição de Fe na condição de alta acidez.

A produtividade de grãos por planta foi pouco influenciada pelos níveis de acidez do solo (Tabela 25). Observou-se maior produtividade para a acidez média somente com a aplicação de Fe. Com o desdobramento dos micronutrientes em cada nível de acidez observou-se que para baixa e alta acidez não houve diferença. A razão para a maior produtividade de grãos com aplicação de Fe é a mesma relatada para o maior peso de 100 grãos.

Tabela 25. Componentes da produção e produtividade de grãos do arroz de terras altas em função dos níveis de acidez do solo e aplicação de micronutrientes. Botucatu-SP, 2009.

Níveis de acidez	Micronutriente					Média
	Test.	Zn	Fe	Mn	CQT[1]	
			Panículas (n.º planta^{-1})			
Alta	12bC	11bC	15aA	13aB	15aA	**13b**
Média	14aB	14aB	16aA	14aB	14aB	**14a**
Baixa	9cB	7cC	11bA	8bB	10bA	**9c**
Média	**12C**	**11D**	**14A**	**12C**	**13B**	**-**
			Espiguetas (n.º panícula^{-1})			
Alta	66aAB	69aA	70aA	63bAB	58bC	**65a**
Média	70aAB	69aAB	61bB	75aA	75aA	**70a**
Baixa	75aA	65aB	72aAB	75aA	74aA	**72a**
Média	**70A**	**68A**	**68A**	**71A**	**69A**	**-**
			Fertilidade de espiguetas (%)			
Alta	62aA	60bA	55bA	55bA	55aA	**57,8b**
Média	65aA	60bA	66bA	66bA	58aA	**60,8b**
Baixa	72aAB	83aA	83aA	83aA	65aB	**73,0a**
Média	**66A**	**68A**	**68A**	**67A**	**59B**	**-**
			Massa de 100 grãos (gramas)			
Alta	2,6aABC	2,4aBC	2,1aC	2,8aAB	2,9aA	**2,6a**
Média	2,3aA	2,3aA	2,5aA	2,5aA	2,2bA	**2,4a**
Baixa	2,5aA	2,6aA	2,6aA	2,4aA	2,5abA	**2,5a**
Média	**2,5A**	**2,4A**	**2,4A**	**2,6A**	**2,5A**	**-**
			Produtividade de grãos (g planta^{-1})			
Alta	12aA	12aA	13aA	13bA	13aA	**12,6b**
Média	14aB	13aB	13aB	18aA	12aB	**14,0a**
Baixa	12aA	11aA	13aA	12bA	12aA	**12,0b**
Média	**13AB**	**12B**	**13AB**	**14A**	**12B**	**-**

[1]CQT: Zn + Fe + Mn. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Quando a acidez passou de alta à média, a adição de Fe foi essencial para o aumento da produtividade. Conforme já discutido a disponibilidade desse elemento é diminuída com o aumento do pH (TISDALE et al., 1985).

6.4. Experimento de campo - Plantas de cobertura e fontes de nitrogênio para o arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto

6.4.1. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 14 dias após a emergência

O teor de amônio foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 26). Na camada 0-5 cm, a fonte amoniacal com inibidor de nitrificação proporcionou os maiores valores de NH_4^+ no solo em todas as plantas de cobertura. O valor médio da fonte amoniacal com inibidor foi de 20,2 mg kg^{-1}. Os valores médios para as demais fontes foram 11,9; 12,9 e 13,6 mg kg^{-1} para a testemunha, fonte nítrica e amoniacal sem inibidor, respectivamente (Tabela 27). Na camada 5-20 cm os maiores valores também foram observados quando se utilizou o inibidor de nitrificação. Os teores médios de NH_4^+ foram 9,7; 10,7; 11,7 e 14,8 mg kg^{-1} para a testemunha, fonte nítrica, amoniacal e amoniacal com inibidor, respectivamente (Tabela 27).

Tabela 26. Análise da variância e coeficiente de variação para os teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrogênio total (NT) e pH ($CaCl_2$) do solo aos 14 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	NH_4^+		NO_3^-		NT		pH	
	Profundidade de coleta (cm)							
	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20
	mg kg^{-1}				g kg^{-1}			
Plantas cobertura (A)	*	**	**	**	**	ns	ns	ns
Manejo N (B)	**	**	**	**	*	**	**	**
A x B	**	**	**	**	*	**	ns	ns
CV 1	9,6	12,0	6,7	11,7	7,4	7,2	5,4	5,3
CV 2	9,6	9,7	9,0	10,0	5,0	4,0	4,6	5,4

*, ** e ns = significativo a 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

De acordo com Cantarella & Marcelino (2008) a maioria dos fertilizantes nitrogenados incluindo os amoniacais são solúveis em água, e liberam rapidamente NH_4^+. Aita et al. (2007) observaram que o N amoniacal de dejetos suínos foi rapidamente nitrificado no solo em SPD e completamente oxidado a N nítrico, entre 15 e 20 dias após a aplicação dos dejetos.

Considerando a rapidez da nitrificação destaca-se o efeito do inibidor de nitrificação, visto que, a coleta do solo foi realizada 14 dias após a aplicação do nitrogênio.

Os resultados obtidos demonstram que o inibidor atuou sobre as bactérias nitrificantes, conforme pode ser observado na Tabela 42. Na camada 0-5 cm a oxidação do amônio a nitrato foi reduzida em 33% e na camada 5-20 em 21%. Marcelino (2009) observou redução de 76% da oxidação do amônio a nitrato em uréia tratada com DCD passados 15 dias após a incubação do fertilizante ao solo. Considerando estes resultados o uso do DCD pode ser uma técnica importante para retardar a nitrificação no caso de culturas que exigem quantidades equilibradas de nitrato e amônio, principalmente sob SPD, onde a nitrificação é favorecida.

Observando-se o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo da adubação nitrogenada constatou-se que houve efeitos significativos. Na camada 0-5 cm os teores médios de NH_4^+ foram poucos influenciados pelas plantas de cobertura. Na camada 5-20 cm os teores médios de NH_4^+ foram menores para a *B. humidicula* e *B. ruziziensis* (Tabela 27).

Tabela 27. Teores de amônio do solo (mg kg^{-1}) aos 14 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	13,2bA	10,3bC	13,7bA	10,9cBC	12,7cAB	10,5cC	**11,9c**
NO-40	10,3cD	10,8bCD	16,5aA	12,7bcBC	14,2bcB	13,0bB	**12,9bc**
NH-40	13,3bABC	12,1bC	13,9bABC	14,6bAB	14,8bA	12,8bBC	**13,6b**
NHI-40	23,6aA	23,5aA	14,7abD	20,2aB	17,5aC	21,7aAB	**20,2a**
Média	**15,1A**	**14,2AB**	**14,7A**	**14,6A**	**14,8A**	**14,5A**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	7,5cD	9,0cCD	9,8cABC	11,4bA	11,0abAB	9,6bBC	**9,7d**
NO-40	11,9bA	13,2bA	11,7bA	8,1cB	9,4bB	9,7bB	**10,7c**
NH-40	12,5bAB	13,4bA	11,8bAB	12,4bAB	11,4aB	8,6bC	**11,7b**
NHI-40	16,8aAB	17,0aA	15,3aB	16,7aAB	11,3aC	11,8aC	**14,8a**
Média	**12,2A**	**13,2A**	**12,2A**	**12,2A**	**10,8B**	**9,9B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.2. Teor de N-NO_3^- do solo aos 14 dias após a emergência

O teor de nitrato na camada 0-5 cm foi maior para as fontes amoniacais e menor para a testemunha (Tabela 28). Os menores teores de nitrato da fonte nítrica em relação as amoniacais podem estar associados a perdas de N por lixiviação ocasionadas pelas chuvas de dezembro de 2009 (Figura 3), no decorrer dos 14 dias da aplicação até a coleta do solo. O nitrato é o elemento mais facilmente perdido por lixiviação (FRYE, 2005), acompanhando o movimento descendente da água que percola no perfil do solo (CANTARELLA & MARCELINO, 2008).

Embora tenha ocorrido nitrificação das fontes amoniacais, o uso de inibidor reduziu esse efeito nas parcelas cultivadas com *Crotalaria spectabilis*, *B. humidicola* e *B. ruziziensis*. A redução dos teores de nitrato em relação a fonte sem inibidor para essas plantas de cobertura foi de 26, 28 e 40%, respectivamente.

Na camada 5-20 cm os maiores teores de nitrato foram observados para a fonte nítrica (Tabela 28). Este resultado demonstra que houve lixiviação. As perdas de nitrato ocorrem devido à predominância de cargas negativas na camada superficial do solo e à baixa interação química do ânion com os minerais do solo (CANTARELLA & MARCELINO, 2008), principalmente em regiões com altas precipitações pluviométricas (WANG & ALVA, 1996). Nessa época, o inibidor foi mais eficaz para a *Crotalaria spectabilis* e *B. ruziziensis*, observando-se redução dos teores de nitrato em 27 e 28%, respectivamente.

Os teores médios de nitrato na camada 0-5 cm foram 9,5; 14,5; 22,7 e 20,7 mg kg^{-1} e 13,4; 22,7; 20,8 e 17,8 mg kg^{-1} na camada 5-20 para testemunha, fonte nítrica, amoniacal e amoniacal com inibidor, respectivamente. Comparando-se as fontes amoniacais observou-se menor teor de nitrato quando se utilizou inibidor de nitrificação (Tabela 28).

Observando-se o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo do N constatou-se que o teor de nitrato difiriu (Tabela 26). No entanto, nenhuma planta de cobertura proporcionou maior ou menor teor de nitrato em todas as fontes de N (Tabela 28). Os menores teores de nitrato foram observados onde cultivou-se *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. ruziziensis* e *Crotalaria spectabilis* na camada 0-5 cm.

Tabela 28. Teores de nitrato do solo (mg kg^{-1}) aos 14 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	8,4cCD	5,9dE	10,4cBC	8,2dD	13,6cA	10,7dB	**9,5d**
NO-40	13,7bC	9,5cD	21,3bA	13,0cC	12,0cC	17,5bB	**14,5c**
NH-40	24,1aA	22,4aAB	23,8aA	20,4bB	22,2aAB	23,5aA	**22,7a**
NHI-40	24,2aB	16,6bC	24,9aB	28,3aA	16,0bCD	14,0cD	**20,7b**
Média	**17,6B**	**13,6D**	**20,1A**	**17,5B**	**16,0C**	**16,4C**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	12,2bB	14,2cAB	15,3bA	12,6cB	13,8cAB	12,5cB	**13,4d**
NO-40	24,4aAB	25,8aA	23,4aABC	21,4aCD	22,1aBC	19,0bD	**22,7a**
NH-40	24,3aA	21,1bBC	21,2aB	18,2bC	17,5bC	22,6aAB	**20,8b**
NHI-40	24,4aA	15,3cC	18,0bB	16,3bBC	16,2abBC	16,3bBC	**17,8c**
Média	**21,3A**	**19,1B**	**19,5B**	**17,1C**	**17,4C**	**17,6C**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

O menor teor de nitrato para a crotalaria na camada 0-5 pode estar relacionado a menor taxa de nitrificação para esta espécie. Aita et al. (2007) observaram que as taxas líquidas de nitrificação, em SPD, são maiores sobre os resíduos culturais de aveia/milho do que sobre pousio/milho. Como a palhada da crotalária se decompõem rapidamente a nitrificação pode ter sido prejudicada.

6.4.3. Nitrogênio total do solo aos 14 dias após a emergência

O teor de N total no solo foi pouco influenciado pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 29). Este comportamento foi observado tanto na camada 0-5 cm quanto na camada 5-20 cm.

Com o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo do N constatou-se efeitos significativos, sendo que na camada 0,5 cm as plantas de cobertura que proporcionaram os maiores teores de N total no solo foram a B. brizantha e a *B.*

decumbens. Na camada 5-20 não houve diferença entre as plantas de cobertura para todas as fontes de N, os teores médios de N total pouco variaram.

Tabela 29. Nitrogênio total do solo (g kg^{-1}) aos 14 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	1,80aC	1,76aC	2,01abAB	2,05aA	1,78abC	1,88bBC	**1,88a**
NO-40	1,88aBC	1,88aBC	2,12aA	1,98aAB	1,76bC	2,03aA	**1,94a**
NH-40	1,85aB	1,83aB	1,90bAB	1,99aA	1,79abB	1,85bB	**1,87a**
NHI-40	1,81aC	1,90aBC	2,03abAB	2,07aA	1,92aBC	1,86bC	**1,93a**
Média	**1,84B**	**1,84B**	**2,02A**	**2,02A**	**1,81B**	**1,91B**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	1,46bD	1,59aABC	1,67aA	1,63aAB	1,51cCD	1,55abBCD	**1,57b**
NO-40	1,67aA	1,56aB	1,64aAB	1,68aA	1,63abAB	1,62aAB	**1,63a**
NH-40	1,60aA	1,61aA	1,57aA	1,59aA	1,56bcA	1,51bA	**1,57b**
NHI-40	1,39bC	1,64aAB	1,58aAB	1,58aAB	1,68aA	1,53abB	**1,57b**
Média	**1,53B**	**1,60AB**	**1,62A**	**1,62A**	**1,60AB**	**1,55AB**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.4. pH do solo aos 14 dias após a emergência

O índice pH do solo foi influenciado pelo manejo da adubação nitrogenada. Na camada 0-5 cm a fonte amoniacal sem inibidor provocou redução dos valores de pH em quatro das seis plantas de cobertura utilizadas (Tabela 30). A reação de nitrificação libera no solo íons de hidrogênio, que acidificam o solo (CANTARELLA, 2007). Este resultado demonstra que o inibidor reduziu a nitrificação, conforme já discutido anteriormente. Na camada 5-20 cm a fonte amoniacal sem inibidor causou redução do pH em apenas duas das plantas de cobertura. Para as demais fontes de N os valores de pH não diferiram (Tabela 30).

Analisando-se o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo da adubação nitrogenada, o efeito mais expressivo foi a redução do pH provocado pela crotalaria quando a fonte de N foi a amoniacal (Tabela 30). Este resultado é

contraditório visto que os teores de nitrato foram baixos para esta espécie, ou seja, baixa nitrificação o que supõem poucos íons de hidrogênio liberados. Por estas observações não é de se esperar redução no valor do pH, apesar de que outros fatores poderiam estar envolvidos no processo de acidificação.

Tabela 30. Valores de pH do solo aos 14 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura**[1]						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	5,6aAB	5,5aB	5,7aAB	5,9aA	5,7aAB	5,6aAB	**5,7a**
NO-40	5,5aA	5,5aA	5,7aA	5,7aA	5,7aA	5,6aA	**5,6a**
NH-40	5,6aA	4,9bC	5,2bBC	5,1bBC	5,5aAB	5,2bBC	**5,3b**
NHI-40	5,5aA	5,7aA	5,7aA	5,6aA	5,6aA	5,5abA	**5,6a**
Média	**5,6A**	**5,4A**	**5,6A**	**5,6A**	**5,6A**	**5,5A**	-
				5-20 cm			
TEST.	4,4aA	4,5aA	4,7abA	4,6aA	4,6aA	4,5aA	**4,6a**
NO-40	4,5aA	4,8aA	4,8aA	4,6aA	4,7aA	4,7aA	**4,7a**
NH-40	4,5aAB	4,1bC	4,4bABC	4,3aBC	4,7aA	4,4aABC	**4,4b**
NHI-40	4,2aB	4,7aA	4,6abA	4,5aAB	4,7aA	4,6aA	**4,6a**
Média	**4,4B**	**4,5AB**	**4,6AB**	**4,5AB**	**4,7A**	**4,6AB**	-

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.5. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 28 dias após a emergência

As plantas de cobertura e as formas de manejo da adubação nitrogenada provocaram alterações nos teores de NH_4^+ do solo (Tabela 31). Na camada 0-5 cm, houve poucas alterações nos teores de amônio e a média em cada forma de manejo foi pouco afetada. Na camada 5-20 a principal alteração foi observada para testemunha, cujos teores médios de amônio foram inferiores as demais fontes (Tabela 32).

Aos 28 dias após a aplicação do nitrogênio os resultados demonstram que parte de amônio foi nitrificada, razão pela qual não houve diferenças entre a fonte nítrica e as amoniacais. Além disso, o inibidor não teve mais efeito sobre a nitrificação aos 28 dias após

a aplicação. Marcelino (2009) observou que o tratamento com a maior dose o inibidor apresentou, aos 30 dias após a aplicação uma inibição de 53% em relação ao nitrato originado no tratamento com uréia sem DCD. Em condições de campo o efeito é menos prolongado. Frye (1989) relata que em média o efeito do DCD na inibição da nitrificação se prolonga apenas por algumas semanas.

Tabela 31. Análise da variância e coeficiente de variação para os teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrogênio total (NT) e pH ($CaCl_2$) do solo aos 28 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	**NH_4^+**		**NO_3^-**		**NT**		**pH**	
	Profundidade de coleta (cm)							
	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20
	mg kg^{-1}				g kg^{-1}			
Plantas cobertura (A)	**	**	**	**	**	*	**	*
Manejo N (B)	*	**	**	**	ns	ns	**	**
A x B	*	**	**	**	ns	ns	**	**
CV 1	9,5	11,4	10,4	11,4	5,6	7,5	5,3	9,2
CV 2	10,9	11,0	8,2	9,5	5,7	5,7	4,8	4,7

*, ** e ns = significativo a 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 32. Teores de amônio do solo (mg kg^{-1}) aos 28 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2011.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	11,7aBCD	10,7aD	13,0bAB	12,6bABC	13,9aA	11,2aCD	**12,2a**
NO-40	11,7aBC	11,2aBC	14,3abA	12,7bAB	13,0abAB	10,1aC	**12,2a**
NH-40	11,6aC	11,0aC	13,6abAB	15,3aA	12,2abBC	11,5aC	**12,5a**
NHI-40	11,4aB	11,0aB	15,3aA	14,2abA	12,0bB	10,4aB	**12,4a**
Média	**11,6BC**	**10,9C**	**14,0A**	**13,7A**	**12,7AB**	**10,8C**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	10,0aA	8,2bB	10,1bA	10,6bA	10,9aA	10,6bA	**10,1b**
NO-40	10,9aB	10,3aBC	11,4abB	8,9bC	10,7aB	13,1aA	**11,0a**
NH-40	10,4aBC	9,0abB	11,8aB	13,9aA	10,4aBC	11,7abB	**11,2a**
NHI-40	11,4aA	10,4aA	11,4abA	10,4bA	11,2aA	11,5abA	**11,1a**
Média	**10,6AB**	**9,5B**	**11,2A**	**11,0A**	**10,8A**	**11,7A**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Com o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo do N (Tabela 32), observou-se que a *B. brizantha* e a *B. decumbens* foram as espécies que proporcionaram os maiores teores de amônio em todas as forma de manejo na camada 0-5 cm. Na camada 5-20 cm o menor e o maior teor médio de amônio (9,5 e 11,7 mg kg^{-1}) foram observados para a *Crotalaria spectabilis* e para a *B. ruziziensis*, respectivamente. O menor teor de amônio para o milheto e para a crotalaria pode estar relacionado a menor relação C/N destas espécies, o que favorece a degradação da palha e consequentemente a nitrificação. Além disso, estas espécies apresentaram menor quantidade de matéria seca em relação as braquiárias, com exceção da *B. ruziziensis* que foi re-semeada.

6.4.6. Teor de N-NO_3^- do solo aos 28 dias após a emergência

O teor de NO_3^- foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 31). As alterações mais importantes foram observadas para testemunha, cujos valores foram inferiores em relação às formas de manejo do N nas profundidades de coleta.

Tabela 33. Teores de nitrato do solo aos 28 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	12,6cC	12,3bC	16,0bB	17,4dB	22,7aA	15,4bB	**16,1c**
NO-40	15,4bD	15,3aD	21,9aA	20,3cAB	17,2cCD	18,9aBC	**18,2b**
NH-40	20,7aBC	17,0aD	22,9aB	23,2bA	18,9bcCD	21,0aBC	**20,6a**
NHI-40	20,5aB	15,1aC	23,6aA	25,7aA	20,5abB	19,2aB	**20,8a**
Média	**17,3D**	**14,9E**	**21,1AB**	**21,7A**	**19,8BC**	**18,6CD**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	15,7cD	16,6cCD	22,9bA	16,6bCD	21,8aAB	18,8bBC	**18,7c**
NO-40	19,7bBC	19,3bcC	21,1bABC	21,9aABC	22,4aAB	23,6aA	**21,3b**
NH-40	22,3abC	21,3abC	31,5aA	22,1aC	23,0aAB	25,4aB	**24,3a**
NHI-40	23,2aA	23,4aA	24,0bA	22,7aA	24,0aA	23,9aA	**23,5a**
Média	**20,2C**	**20,2C**	**24,9A**	**20,8BC**	**22,8AB**	**22,9AB**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Observou-se também que nas duas coletas as fontes amoniacais proporcionaram os maiores teores de nitrato (Tabela 33). Isto ocorreu devido ao NH_4^+ ser o substrato para as bactérias nitrificantes.

6.4.7. Nitrogênio total do solo aos 28 dias após a emergência

O N total do solo não foi influenciado pelo manejo do N (Tabela 31). Quanto às plantas de cobertura observou-se maiores teores nas parcelas cultivadas com *B. brizantha* e *B. decumbens* (Tabela 34). Foi para estas espécies que ocorreram os maiores teores de amônio (Tabela 32), o que explica em parte o resultado obtido.

Tabela 34. Nitrogênio total do solo (g kg^{-1}) aos 28 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	1,70aB	1,77aB	1,83bAB	1,92aA	1,79bAB	1,80aAB	**1,80a**
NO-40	1,76aC	1,76aC	2,00aA	1,93aAB	1,85abBC	1,89aABC	**1,87a**
NH-40	1,81aA	1,87aA	1,87abA	1,92aA	1,81bA	1,83aA	**1,85a**
NHI-40	1,74aC	1,80aBC	1,85bABC	1,91aAB	1,98aA	1,76aBC	**1,84a**
Média	**1,75C**	**1,80BC**	**1,89AB**	**1,92A**	**1,86ABC**	**1,82ABC**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	1,43aC	1,49aBC	1,61aBC	1,62aA	1,52aABC	1,54aABC	**1,54a**
NO-40	1,45aB	1,56aAB	1,58aAB	1,58abAB	1,58aAB	1,60aA	**1,56a**
NH-40	1,48aA	1,57aA	1,62aA	1,50abA	1,51aA	1,52aA	**1,53a**
NHI-40	1,52aA	1,55aA	1,59aA	1,48bA	1,50aA	1,48aA	**1,52a**
Média	**1,47B**	**1,54AB**	**1,60A**	**1,55AB**	**1,53AB**	**1,54AB**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.8. pH do solo aos 28 dias após a emergência

O índice pH do solo foi influenciado pelo manejo da adubação nitrogenada. Na camada 0-5 cm a fonte amoniacal provocou redução dos valores em três das seis plantas de cobertura utilizadas (*Crotalaria spectabilis, Brachiaria brizantha, Brachiaria decumbens,*). Na camada 5-20 cm a redução ocorreu em quatro das plantas de cobertura. Ressalta-se que com a adição de inibidor de nitrificação na fonte amoniacal o índice pH praticamente não diferiu da testemunha e da fonte nítrica (Tabela 35). Isto demonstra que o inibidor atuou, mantendo o nitrogênio por mais tempo na forma amoniacal, uma vez que a oxidação do NH_4^+ libera hidrogênio e reduz o pH. Considerando a média os valores do pH para a testemunha, fonte nítrica, amoniacal e amoniacal com inibidor foram 5,6; 5,5; 5,4 e 5,5 na camada 0-5 cm e 4,5; 4,5; 4,3 e 4,6 na camada 5-20, para a, respectivamente. Novamente observa-se que o valor do pH para fonte amoniacal foi menor.

Analisando-se o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo do N, o efeito mais expressivo foi o maior valor do pH nas parcelas cultivadas com *Brachiaria humidicola* (Tabela 35). Quando considerada a média, os valores de pH para *Pennisetum americanum, Crotalaria spectabilis, Brachiaria brizantha, Brachiaria decumbens, Brachiaria humidicola* e *Brachiaria ruziziensis* foram 5,3; 5,4; 5,6; 5,3; 5,8 e 5,6 na camada 0-5 cm e 4,4; 4,3; 4,5; 4,3; 4,9 e 4,4 na camada 5-20 cm, respectivamente.

O maior valor de pH para a *Brachiaria humidicola* pode estar relacionado ao seu efeito na inibição da nitrificação. De acordo com Cantarella (2007) a reação de nitrificação libera íons de hidrogênio, que acidificam o solo. Subbarao et al. (2007c) relataram que a *Brachiaria humidicola* é capaz de suprimir em até 90% da nitrificação, porém essa supressão não foi verificada neste estudo.

Tabela 35. Valores de pH do solo aos 28 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	5,4aB	5,6aAB	5,9aA	5,6aAB	5,8aA	5,3bB	**5,6a**
NO-40	5,2aBC	5,5aAB	5,6abAB	5,1bC	5,7aA	5,8aA	**5,5a**
NH-40	5,6aA	4,9bC	5,3bAB	5,0bBC	5,7aA	5,7abA	**5,4a**
NHI-40	4,8bC	5,7aA	5,7abA	5,3abB	5,8aA	5,4abAB	**5,5a**
Média	**5,3C**	**5,4BC**	**5,6AB**	**5,3C**	**5,8A**	**5,6AB**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	4,3aB	4,3abB	4,5aAB	4,6aAB	4,7bA	4,3bAB	**4,5ab**
NO-40	4,4aABC	4,4abBC	4,5aABC	4,2abC	4,8bA	4,7aAB	**4,5ab**
NH-40	4,4aAB	4,1bB	4,3aAB	4,1bB	4,7bA	4,2bB	**4,3b**
NHI-40	4,3aB	4,5aB	4,5aB	4,4abB	5,2aA	4,4abB	**4,6a**
Média	**4,4B**	**4,3B**	**4,5B**	**4,3B**	**4,9A**	**4,4B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.9. Teor de N-NH_4^+ do solo aos 42 dias após a emergência

O teor de amônio aos 42 DAE foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelas formas de manejo do N (Tabela 36). Na camada 0-5 cm, os maiores teores de amônio foram observados com a aplicação de N amoniacal com inibidor na dosagem de 80 kg ha^{-1} (Tabela 37). Como a aplicação desta fonte foi realizada aos 30 DAE em uma única aplicação o resultado foi normal. Entretanto, é importante ressaltar a diferença deste resultado em relação ao da fonte amoniacal sem inibidor de nitrificação que foi aplicada na mesma dose e mesma época. A diferença ocorreu em virtude do efeito que o DCD exerce na inibição da nitrificação, mantendo a maior parte do N na forma amoniacal. De acordo com Trenkel (1997) os inibidores retardam a formação de NO_3^- no solo mediante interferência na atividade das bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do NH_4^+ a nitrito (NO_2^-), que corresponde à primeira fase da nitrificação. O mesmo autor relata que a adição de DCD (5 a 10% do N total) em fertilizantes amoniacais, inibe a nitrificação por seis a oito semanas.

Tabela 36. Análise da variância e coeficiente de variação para os teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrogênio total (NT) e pH ($CaCl_2$) do solo aos 42 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	NH_4^+		NO_3^-		NT		pH	
	Profundidade de coleta (cm)							
	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20
	mg kg^{-1}				g kg^{-1}			
Plantas cobertura (A)	**	**	**	**	ns	**	**	**
Manejo N (B)	**	**	**	**	*	**	**	**
A x B	**	*	**	**	ns	**	**	**
CV 1	11,0	16,0	11,6	9,5	10,7	8,0	5,0	7,5
CV 2	11,5	12,0	10,7	7,1	6,2	6,2	4,6	5,6

*, ** e ns = significativo a 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 37. Teores de amônio do solo (mg kg^{-1}) aos 42 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	Planta de cobertura[1]						Média
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	12,1cA	11,9dA	10,7bA	10,2bcA	12,0cA	10,8cA	**11,3d**
NO-40+40	10,5cAB	10,2dB	13,9bA	11,6bcAB	10,5cAB	11,3cAB	**11,3d**
NO-00+80	12,4cA	10,4dA	13,7bA	12,1bcA	10,6cA	11,3cA	**11,8d**
NH-40+40	10,8cBC	13,1dAB	13,0bAB	8,8cC	10,2cBC	16,1bA	**12,0d**
NH-00+80	13,4cB	38,8cA	13,3bB	13,3bB	16,7bB	13,4bcB	**18,2c**
NHI-40+40	23,6bB	54,6bA	12,5bD	11,1bcD	12,1cD	16,9bC	**21,8b**
NHI-00+80	44,6aC	59,3aB	60,0aB	25,5aD	22,6aD	65,0aA	**46,2a**
Média	**18,2C**	**28,3A**	**19,6AB**	**13,2D**	**13,5D**	**20,7B**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	13,0cA	11,8bAB	10,1cB	13,3abcA	13,2abA	13,9cA	**12,6c**
NO-40+40	12,3cAB	12,5bAB	11,8bcB	11,4cB	14,2abA	13,5cAB	**12,6c**
NO-00+80	12,4cAB	12,7bAB	12,9bAB	13,6abcAB	14,0abA	11,6cB	**12,9c**
NH-40+40	12,3cAB	12,3bAB	12,2bcAB	14,3abA	11,9bB	12,7cAB	**12,6c**
NH-00+80	16,3aB	22,5aA	12,5bC	12,8abcC	14,0abC	13,6cC	**15,3b**
NHI-40+40	13,7bcB	12,2bB	12,6bB	12,5bcB	12,6bB	16,6bA	**13,4c**
NHI-00+80	15,8abB	22,0aA	16,3aB	15,1aB	15,2aB	20,0aA	**17,4a**
Média	**13,7BC**	**15,1A**	**12,6C**	**13,3BC**	**13,6BC**	**14,6AB**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Na camada 5-20 cm a aplicação de 80 kg ha^{-1} de N amoniacal aos 30 DAE também proporcionou os maiores teores de amônio, principalmente com a adição de DCD (Tabela 36). A alteração no teor de amônio com o uso do inibidor foi pequena em relação a camada 0-5 cm, o que é normal, pois as maiores transformações do N ocorrem na camada superficial em razão da intensa atividade microbiana (DICK, 1983).

Com o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo de N, observou-se que a *C. spectabilis* e *B. ruziziensis* foram as espécies que proporcionaram os maiores teores de amônio na camada 0-5 cm (Tabela 37). O maior teor de amônio nas parcelas com *C. spectabilis* reforça o argumento que a falta de cobertura do solo prejudicou a nitrificação. Isto ocorreu aos 14 DAE, conforme pode ser constatado pelo menor número de bactérias nitrificantes para esta espécie (Tabela 42). Aita et al. (2007) observaram que as taxas líquidas de nitrificação, em SPD, são maiores em solos com a presença de resíduos culturais do que sobre pousio.

Na camada 5-20 a planta de cobertura que resultou nos maiores teores de amônio e menores de nitrato foi a *B. ruziziensis* (Tabela 37). O menor teor de nitrato na camada 5-20 indica que está espécie inibiu parte da nitrificação, uma vez que o nitrato no solo é facilmente lixiviado. Subbarao et al. (2007c) observaram que espécies do gênero *Brachiaria* se destacaram na inibição biológica da nitrificação.

6.4.10. Teor de N-NO_3^- do solo aos 42 dias após a emergência

Na camada 0-5 cm os maiores teores de nitrato ocorreram com a aplicação de 80 kg ha^{-1} de N na forma amoniacal com inibidor (Tabela 38). Este resultado aparentemente indica que o inibidor não surtiu efeito, porém quando se observa o alto teor de amônio do solo para esta forma de manejo (Tabela 37) é natural que uma maior proporção seja nitrificada. A eficiência do inibidor não é, de 100%. Marcelino (2009) observou que aos 30 dias após a adição de DCD em uréia houve uma inibição de 53% em relação ao tratamento sem DCD.

Tabela 38. Teores de nitrato do solo (mg kg^{-1}) aos 42 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	15,7deABC	13,6cC	16,9cAB	17,2dA	15,7dABC	14,1dBC	**15,5e**
NO-40+40	19,6cA	15,8cB	17,4cAB	18,0dAB	16,0dB	15,2dB	**17,0de**
NO-00+80	19,6cB	13,3cC	16,0cC	20,0cdB	15,2dC	26,9bA	**18,5cd**
NH-40+40	14,8eB	21,1bA	20,7bA	21,4cA	22,3cA	20,8cA	**20,2c**
NH-00+80	18,1cdD	28,8aA	21,5bC	30,3aA	28,3bAB	25,5bB	**25,4b**
NHI-40+40	24,4bB	30,0aA	21,0bC	24,6bB	21,6cBC	24,0aBC	**24,3b**
NHI-00+80	29,0aC	28,4aC	29,8aBC	28,1aC	32,0aAB	33,5aA	**30,1a**
Média	**20,2B**	**21,6AB**	**20,5B**	**22,8A**	**21,6AB**	**22,9A**	**-**
				5 -20cm			
TEST.	15,3bAB	13,4cB	16,0cAB	16,3cAB	18,6aA	16,3bAB	**16,0d**
NO-40+40	14,7bC	16,3cC	17,5bcBC	20,6bAB	21,7aA	18,0abABC	**18,1d**
NO-00+80	22,8aAB	25,0bA	21,0bB	22,2bAB	20,3aBC	16,8bC	**21,4cd**
NH-40+40	17,6bC	23,8bA	20,4bABC	21,8bAB	20,7aABC	18,7abBC	**20,5c**
NH-00+80	22,8aBC	31,5aA	25,8aB	23,0abBC	21,6aC	19,6abC	**24,1a**
NHI-40+40	22,0aAB	23,1bAB	25,7aB	24,0abAB	20,8aBC	18,2abC	**22,3abc**
NHI-00+80	23,4aABC	22,1bBC	25,6aAB	26,5aA	21,1aC	21,1aC	**23,3ab**
Média	**19,8BC**	**22,2A**	**21,7AB**	**22,1A**	**20,7AB**	**18,4C**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Na camada 5-20 os manejos NH-00+80, NHI-40+40 e NHI-00+80 foram os que proporcionaram os maiores teores de nitrato e não diferiram entre si. A aplicação de 80 kg ha^{-1} de N na forma amoniacal resultou nos maiores teores de amônio (Tabela 37), portanto é esperado que para esta fonte o teor de nitrato também seja maior, como de fato ocorreu (Tabela 38). Aita et al. (2007) também observaram que a nitrificação aumentou com a quantidade de N amoniacal aplicada. Este resultado é coerente, pois com a aplicação de 40 kg ha^{-1} de N amoniacal sem inibidor, o NMP de bactéria nitritadoras foi 55% e 32% superior a testemunha e a fonte nítrica, respectivamente.

6.4.11. Nitrogênio total do solo aos 42 dias após a emergência

O N total do solo foi influenciado pelo manejo da adubação nitrogenada nas duas profundidades de coleta de solo (Tabela 36). No entanto, não houve um tratamento superior ou inferior aos demais em todas as plantas de cobertura (Tabela 39), praticamente não houve variação do N total do solo em decorrência do manejo da adubação nitrogenada. Com relação às plantas de cobertura as alterações no teor de N também foram pequenas. Considerando a média geral na camada 0-5 cm observou-se pequena superioridade dos valores de N nas parcelas cultivadas com *B. brizantha* e *B. decumbens*. Na camada 5-20 essa superioridade ocorreu nas parcelas com *P. americanum*, *C. spectabilis* e *B. brizantha*.

Tabela 39. Nitrogênio total do solo (g kg^{-1}) aos 42 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	1,75dD	1,82dCD	1,95abAB	1,92aABC	1,86cdBC	2,02aA	**1,89a**
NO-40+40	1,92abcBC	1,86cdC	2,02aA	1,99aAB	1,99aAB	1,84cC	**1,94a**
NO-00+80	1,89abcAB	1,82dB	1,96abA	1,97aA	1,91abcAB	1,92abcA	**1,91a**
NH-40+40	1,86bcB	2,04aA	1,88bB	1,91aB	1,96abcAB	1,88bcB	**1,92a**
NH-00+80	1,96abA	1,88bcdAB	1,95abA	1,97aA	1,78dB	1,93abcA	**1,91a**
NHI-40+40	1,84cdC	1,94abcAB	1,98abAB	1,99aA	1,98abAB	1,88bcBC	**1,94a**
NHI-00+80	1,97aA	1,98abA	1,88bA	1,96aA	1,88bcdA	1,97abA	**1,94a**
Média	**1,88B**	**1,91AB**	**1,95A**	**1,96A**	**1,91AB**	**1,92AB**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	1,66bcBC	1,76abAB	1,87aA	1,65bBC	1,60abC	1,57bC	**1,69a**
NO-40+40	1,73abAB	1,61cdCD	1,69cABC	1,77aA	1,65aBCD	1,55bcD	**1,67a**
NO-00+80	1,78aA	1,71bcABC	1,73bcAB	1,69abABC	1,66aBC	1,62abC	**1,70a**
NH-40+40	1,65bcBC	1,76abAB	1,78abcA	1,62bC	1,63abC	1,65abBC	**1,68a**
NH-00+80	1,78aA	1,69bcAB	1,67cB	1,66abB	1,64aB	1,70aAB	**1,69a**
NHI-40+40	1,60cBC	1,82aA	1,69cB	1,45cD	1,52bcCD	1,45cD	**1,59b**
NHI-00+80	1,74abA	1,58cB	1,84abA	1,60bB	1,44cC	1,60abB	**1,63ab**
Média	**1,71A**	**1,70A**	**1,75A**	**1,63B**	**1,59B**	**1,59B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.12. pH do solo aos 42 dias após a emergência

Na camada 0-5 cm os maiores valores de pH foram observados para a testemunha e para a fonte nítrica independente da forma como foi manejada (Tabela 40). De acordo com Cantarella (2007), a reação de nitrificação libera no solo íons de hidrogênio, que acidificam o solo. Por essa razão, os menores valores de pH foram observados nos tratamentos em que o N foi aplicado na forma amoniacal. Na camada 5-20 cm as formas de manejo do N praticamente não alteraram os valores de pH. Analisando-se o desdobramento das plantas de cobertura em cada fonte de N, observou-se que efeito mais expressivo foi o maior valor do pH nas parcelas cultivadas com *B. humidicola* (Tabela 40).

Tabela 40. Valores de pH do solo aos 42 DAE do arroz nas profundidades 0-5 e 5-20 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura**[1]						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				0-5 cm			
TEST.	5,6aB	5,6aB	5,7abAB	5,6aB	6,0aA	5,4bB	**5,7a**
NO-40+40	5,6aAB	5,4abB	5,6abAB	5,4abB	5,6abAB	5,7aA	**5,6a**
NO-00+80	5,7aAB	5,2bcC	5,8aA	5,4abC	5,7abAB	5,4bC	**5,5a**
NH-40+40	5,0bB	4,5dC	5,0cB	4,9cB	5,4cA	5,3bA	**5,0c**
NH-00+80	5,0bBC	4,9cC	5,6abA	5,3abAB	5,5bcA	5,6abA	**5,3b**
NHI-40+40	4,4cC	5,3abAB	5,4abAB	5,1bcB	5,5bcA	5,4bAB	**5,2bc**
NHI-00+80	4,6cC	5,1bcB	5,7abA	5,2bcB	5,7abA	5,3bB	**5,3bc**
Média	**5,1C**	**5,1C**	**5,5A**	**5,3BC**	**5,6A**	**5,4AB**	**-**
				5-20 cm			
TEST.	4,5bcAB	4,6abAB	4,5abAB	4,7aB	5,1aA	4,2cC	**4,6ab**
NO-40+40	4,8abAB	4,6abB	5,0aA	4,4abC	4,8abAB	4,8abAB	**4,7a**
NO-00+80	4,8abA	4,3bB	4,5abAB	4,6aAB	4,6bAB	4,8abA	**4,6ab**
NH-40+40	5,0aA	4,5abBC	4,5abBC	4,4abC	4,8abAB	4,7abABC	**4,7a**
NH-00+80	4,5bcBC	4,4abBC	4,2cC	4,5abBC	4,6bAB	5,0aA	**4,5b**
NHI-40+40	4,1dC	4,5abAB	4,6abA	4,2bBC	4,8abA	4,6bcA	**4,5b**
NHI-00+80	4,4cdBC	4,7aAB	4,7bAB	4,6aAB	4,8abA	4,2cC	**4,6ab**
Média	**4,6AB**	**4,5B**	**4,6AB**	**4,5B**	**4,8A**	**4,6AB**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.13. Bactérias amonificantes e nitrificantes no solo

Antes do manejo das plantas de cobertura foram determinadas as bactérias amonificantes e nitrificantes (Figura 7). O menor e o maior número de bactérias amonificantes foram observados para a *Crotalaria spectabilis* e para o a *Brachiaria decumbens*. O menor número de bactérias nitritadoras (oxidantes da amônia) foi observado nas parcelas cultivadas com *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens* e *B. humidicula* e o maior número nas parcelas com *Brachiaria ruziziensis*. Quanto ao número de bactérias nitratadoras (oxidantes do nitrito) o menor valor foi observado com o cultivo de *Brachiaria ruziziensis* e o maior com o cultivo de *Crotalaria spectabilis*.

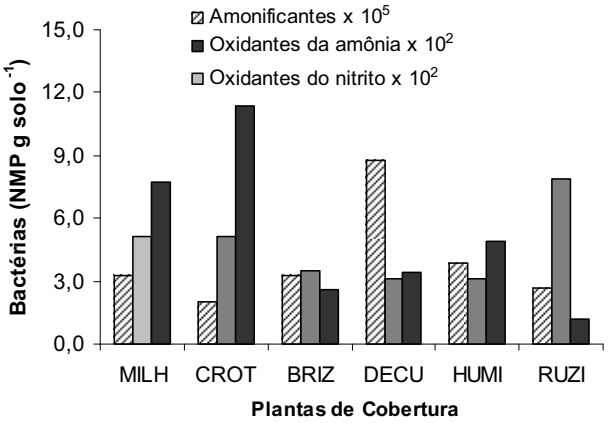

Figura 7. Efeito do manejo da adubação nitrogenada e de plantas de cobertura no número de bactérias amonificantes e nitrificantes do solo antes do manejo das plantas de cobertura. *MILH - *Pennisetum americanum*, CROT - *Crotalaria spectabilis*, BRIZ - *Brachiaria brizantha*, DEC - *B. decumbens*, HUMI - *B. humidicola* e RUZI - *B. ruziziensis*.

O número de bactérias amonificantes aos 14 DAE foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 41). Apesar das diferenças não houve uma forma de manejo que superasse as demais em todas as plantas de cobertura (Tabela 42). A variabilidade de resultados para microorganismos do solo é previsível, principalmente para experimentos de campo com diversidade de tratamentos.

Com o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo da adubação nitrogenada, verificou-se que o maior número de bactérias amonificantes

foi constatado nas parcelas cultivadas com *Brachiaria decumbens* (Tabela 42). Este resultado também foi observado na coleta antes da aplicação de nitrogênio (Figura 7).

As bactérias oxidantes da amônia (nitritadoras) também foram influenciadas pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 41). O maior número deste grupo de bactérias foi observado para as fontes amoniacais (Tabela 42). Isto ocorreu devido ao amônio ser o substrato para estas bactérias, resultando na formação de nitrito. Ressalta-se porém que houve diferença entre as fontes amoniacais, ou seja, com a adição do inibidor o menor número de bactérias nitratadoras foi menor, o que demonstra o efeito deste produto na proliferação destas bactérias. De acordo com Amberger (1989) o DCD possui efeito específico para bactérias nitrificadoras do gênero *Nitrosomonas*. Com o desdobramento inverso observou-se que o menor número de bactérias nitritadoras ocorreu nas parcelas com crotalária (Tabela 42).

Tabela 41. Análise da variância e coeficiente de variação para bactérias amonificantes e nitrificantes do solo aos 14 DAE do arroz na profundidade 0-5 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	Bactérias amonificantes	Bactérias oxidantes da amônia	Bactérias oxidantes do nitrito
	(NMP grama de solo^{-1}) x 10^5	---------- (NMP grama de solo^{-1}) x 10^2 ----------	
Plantas cobertura (A)	**	**	**
Manejo N (B)	**	**	**
A x B	**	**	**
CV 1[1]	20,4	35,5	65,9
CV 2	23,5	45,0	69,5

[1]Coeficiente de variação e análise de variância dos dados originais. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

O menor número de bactérias pode estar relacionado a menor cobertura do solo, visto que, a palhada da crotalaria for rapidamente decomposta. Aita et al. (2007) observaram que as taxas líquidas de nitrificação, em SPD, são maiores com a presença de resíduos culturais do que sobre pousio. Portanto, ausência de cobertura do solo pode ter prejudicado a atividade microbiana. O maior número deste grupo de bactérias foi observado nas parcelas cultivadas com *B. ruziziensis*, assim como observado antes da aplicação de N (Figura 7). A constituição bromatológica da *B. ruziziensis* pode ter favorecido a ação das bactérias. Estudos conduzidos por Pariz et al. (2010) demonstram que os teores de proteína

bruta e NDT (nutrientes digestíveis totais) são maiores para esta cultivar em relação as *B. brizantha, B. decumbens* e *B. humidicola*, enquanto as porcentagens de FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido) e celulose são menores.

Quanto ao número de bactérias oxidantes do nitrito (nitratadoras), os menores valores foram constatados para testemunha (Tabela 42). Dentre as formas de manejo de N o menor número ocorreu quando se utilizou N na forma amoniacal com inibidor de nitrificação. Este resultado, ocorreu devido a manutenção do N na forma amoniacal (Tabela 27), pela ação do DCD sob as bactérias nitritadoras. Com a inibição ocorreu menor formação de nitrito e, como conseqüência, menor atividade das bactérias nitratadoras.

Tabela 42. Bactérias amonificantes e nitrificantes do solo aos 14 DAE do arroz na profundidade 0-5 cm em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura**[1]						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época	Bactérias amonificantes (NMP grama de solo^{-1}) x 10^5						
TEST.	2,7bB	0,6cC	3,8aA	3,4bcA	3,0aA	3,2aA	**2,8a**
NO-40	4,4aA	3,3aA	4,0aA	3,2cA	3,1aA	1,6bB	**3,3a**
NH-40	1,8cC	3,5aAB	1,9cC	5,1abA	2,5aBC	3,1aB	**3,0a**
NHI-40	2,3bcCD	1,9bD	3,0bBC	5,8aA	3,2aB	2,7aBCD	**3,2a**
Média	**2,8B**	**2,3C**	**3,2A**	**4,4A**	**3,0B**	**2,7B**	**-**
	Bactérias oxidantes da amônia (NMP grama de solo^{-1}) x 10^2						
TEST.	4,1bA	1,4bB	0,8bBC	4,0aA	0,7bC	4,8aA	**2,6c**
NO-40	4,1bB	0,5cC	1,1bC	5,3aAB	6,7aA	5,8aAB	**3,9b**
NH-40	6,6aA	4,3aA	5,0aA	5,6aA	6,8aA	6,6aA	**5,8a**
NHI-40	4,1bA	4,0aA	4,8aA	4,5aA	3,5aA	6,6aA	**4,6b**
Média	**4,7B**	**2,6C**	**2,9C**	**4,9A**	**4,4B**	**6,0A**	**-**
	Bactérias oxidantes do nitrito (NMP grama de solo^{-1}) x 10^2						
TEST.	0,8bBC	1,3abAB	0,8cBC	0,4bC	2,4abA	0,4bC	**1,0c**
NO-40	3,7aA	0,7bC	1,9bB	4,3aA	2,3abAB	3,5aAB	**2,7a**
NH-40	3,3aAB	2,1aAB	4,1aA	2,8aAB	3,5aAB	1,7aB	**2,9a**
NHI-40	0,9bC	1,0bC	3,8aAB	4,0aA	1,3bBC	0,8bC	**2,0b**
Média	**2,2A**	**1,3B**	**2,7A**	**2,9A**	**2,4A**	**1,6B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05). Para análise estatística, os dados foram transformados para log (x).

Com o desdobramento das plantas de cobertura em cada forma de manejo da adubação nitrogenada, observou-se que o menor número de bactérias oxidantes do nitrito ocorreu em parcelas cultivadas com *C. spectabilis* e *B. ruziziensis* (Tabela 42). O menor valor nas parcelas com *C. spectabilis* pode ter ocorrido pela rápida decomposição da palhada. Nestas condições as bactérias nitrificantes são prejudicadas (Aita et al., 2007). Nas parcelas cultivadas com *B. ruziziensis* observou-se maior valor para bactérias nitritadoras e menor para nitratadoras. Este resultado indica que esta espécie pode exercer algum efeito inibidor nas bactérias que atuam na segunda etapa da nitrificação (nitrobacter).

6.4.14. Nitrogênio na planta aos 28 dias após a emergência

Os teores de amônio na planta não foram influenciados pelo manejo da adubação nitrogenada e pelas plantas de cobertura (Tabela 43). Este resultado é coerente, visto que o teor de amônio no solo na mesma data foi pouco influenciado pelas fontes de N aplicadas (Tabela 32).

Quanto aos teores de nitrato observou-se que as fontes amoniacais proporcionaram os maiores teores na parte aérea do arroz (Tabela 44). Em relação às plantas de cobertura os maiores valores foram proporcionados pelo *P. americanum* e pela *C. spectabilis* (Tabela 44). Em relação as braquiárias o maior teor de nitrato no arroz foi observado nas parcelas cultivadas com a *B. ruziziensis*.

O maior teor de nitrogênio total no arroz ocorreu quando aplicou-se a fonte amoniacal com inibidor de nitrificação (Tabela 44). O maior teor para está fonte foi decorrente dos teores de nitrato no solo (Tabela 33) e na planta (Tabela 44). Andrade (1994) verificou que plantas de capim-colonião que receberam nitrato apresentaram concentrações de nitrogênio total superiores aquelas adubadas apenas com amônio. Considerando as plantas de cobertura os efeitos no teor de N total foram pouco expressivos, com pequenas variações (Tabela 44).

Tabela 43. Análise da variância e coeficiente de variação para os teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrogênio total (NT) na parte aérea do arroz aos 28 DAE em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	NH_4^+	NO_3^-	NT
	mg kg^{-1}		g kg^{-1}
Plantas cobertura (A)	ns	**	**
Manejo N (B)	ns	**	**
A x B	ns	**	**
CV 1	12,8	9,3	3,7
CV 2	9,5	11,8	4,0

*, ** e ns = significativo a 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 44. Nitrogênio amoniacal, nítrico e total na parte aérea do arroz aos 28 dias após a emergência do arroz. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	Planta de cobertura[1]						Média
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época			N-NH_4^+ (mg kg^{-1})				
TEST.	0,28aA	0,27aA	0,28aA	0,28aA	0,28aA	0,29aA	**0,28a**
NO-40	0,30aA	0,28aA	0,31aA	0,27a	0,27aA	0,28aA	**0,29a**
NH-40	0,30aA	0,28aA	0,28abA	0,27aA	0,29aA	0,27aA	**0,28a**
NHI-40	0,27aA	0,30aA	0,27aA	0,27aA	0,28aA	0,28aA	**0,28a**
Média	**0,29A**	**0,28A**	**0,29A**	**0,27A**	**0,28A**	**0,28A**	**-**
			N-NO_3^- (mg kg^{-1})				
TEST.	0,34cA	0,23cB	0,24bB	0,14cC	0,21cB	0,33cA	**0,25c**
NO-40	0,42bAB	0,47bA	0,30abD	0,30bD	0,38bBC	0,35cCD	**0,37b**
NH-40	0,47abB	0,54aA	0,32aC	0,46aB	0,44aB	0,44bB	**0,45a**
NHI-40	0,50aA	0,50abA	0,31aD	0,43aB	0,41abC	0,51aA	**0,44a**
Média	**0,43A**	**0,44A**	**0,29C**	**0,33B**	**0,36B**	**0,41A**	**-**
			N-Total (g kg^{-1})				
TEST.	31,7cB	34,3bA	30,2bB	31,0cB	31,5cB	31,1cB	**31,6d**
NO-40	33,9bB	34,6bAB	36,1aA	31,4cC	35,9bA	34,3bAB	**34,4c**
NH-40	37,2aA	35,6abAB	35,0aB	34,7bB	34,4bB	34,1bB	**35,2b**
NHI-40	37,3aA	37,3aA	35,0aB	37,5aA	37,9aA	36,7aAB	**37,0a**
Média	**35,0AB**	**35,5A**	**34,1C**	**33,7D**	**35,0AB**	**34,1C**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD) e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.15. Nitrogênio na planta aos 42 dias após a emergência

Os teores de amônio na planta foram influenciados pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 45). Os maiores teores de N foram observados com aplicação de 80 kg ha^{-1} em uma única época, independente da fonte utilizada. A concentração da dose em uma única aplicação (aos 30 DAE) a poucos dias da coleta das plantas justifica o resultado obtido. Com o desdobramento inverso observou-se que a planta de cobertura que proporcionou o maior valor foi a crotalaria (Tabela 46). Nessas parcelas também se observou maior teor de amônio no solo (Tabela 37).

Quanto aos teores de nitrato verificou-se que a aplicação do nitrogênio sem parcelamento (80 kg ha) aos 30 DAE proporcionou os maiores teores de N na parte aérea do arroz (Tabela 46). Assim como na coleta aos 28 DAE, os maiores teores foram observados nas parcelas cultivadas com *P. americanum* e *C. spectabilis*. Cazetta et al. (2005), verificaram que a cultura do milheto recicla quantidades apreciáveis de nitrogênio e ressalta a importância do cultivo de coberturas vegetais em áreas onde se utiliza o SPD. Em relação as braquiárias o maior teor de nitrato na parte aérea do arroz foi observado nas parcelas cultivadas com a *B. ruziziensis*.

O maior teor de nitrogênio total apresentou o mesmo comportamento do teor de nitrato no solo, ou seja, os maiores teores ocorreram quando aplicou-se 80 kg ha^{-1} aos 30 DAE (Tabela 46). Este resultado é normal pois com uma grande oferta de N no solo é esperado que a planta absorva mais desse nutriente. Considerando as plantas de cobertura os efeitos no teor de N total foram menos expressivos e as alterações incipientes (Tabela 46).

Tabela 45. Análise da variância e coeficiente de variação para os teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrogênio total (NT) na parte aérea do arroz aos 42 DAE em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	**NH_4^+**	**NO_3^-**	**NT**
	mg kg^{-1}		g kg^{-1}
Plantas cobertura (A)	*	**	ns
Manejo N (B)	*	**	**
A x B	**	**	ns
CV 1	13,4	10,0	6,7
CV 2	10,8	9,5	6,6

*, ** e ns = significativo a 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 46. Nitrogênio amoniacal, nítrico e total na parte aérea do arroz aos 42 dias após a emergência. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	Planta de cobertura[1]						Média
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época				$N\text{-}NH_4^+$ (mg kg^{-1})			
TEST.	0,27bcAB	0,30bA	0,24cB	0,26abB	0,26abcB	0,27abAB	**0,27ab**
NO-40+40	0,27bcA	0,27bcA	0,25cA	0,26abA	0,23cA	0,26abA	**0,26b**
NO-00+80	0,33aA	0,27bcB	0,32aA	0,20cC	0,24bcB	0,25bB	**0,27ab**
NH-40+40	0,23cCD	0,36aA	0,30abB	0,21cD	0,23cCD	0,27abBC	**0,27ab**
NH-00+80	0,24bcB	0,25cB	0,25cAB	0,26abAB	0,26abcAB	0,30aA	**0,26b**
NHI-40+40	0,28bA	0,28bcA	0,27bcA	0,28aA	0,28abA	0,29abA	**0,28a**
NHI-00+80	0,23cB	0,26cAB	0,23cB	0,23bcB	0,30aA	0,27abAB	**0,25b**
Média	**0,26B**	**0,28A**	**0,27AB**	**0,24C**	**0,26B**	**0,27AB**	**-**
				$N\text{-}NO_3^-$ (mg kg^{-1})			
TEST.	0,22cA	0,18eAB	0,14cB	0,11eB	0,12eB	0,12cB	**0,15f**
NO-40+40	0,69bA	0,61cdB	0,41bC	0,27dD	0,28dD	0,60bB	**0,48e**
NO-00+80	0,87aB	1,03aA	0,52aD	0,60bCD	0,53abD	0,62bC	**0,70b**
NH-40+40	0,68bA	0,65cA	0,51aB	0,62abA	0,43cC	0,63bA	**0,59c**
NH-00+80	0,93aB	1,06aA	0,58aD	0,69aC	0,47bcE	0,65bCD	**0,73a**
NHI-40+40	0,66bA	0,57dBC	0,53aC	0,40cD	0,52abC	0,61bAB	**0,55d**
NHI-00+80	0,92aA	0,80bB	0,52aD	0,62abC	0,57aCD	0,73aB	**0,69b**
Média	**0,71A**	**0,70A**	**0,46C**	**0,47C**	**0,42E**	**0,57B**	**-**
				N-Total (g kg^{-1})			
TEST.	21,2dA	21,5dA	23,2cA	23,2cA	23,3dA	20,7cA	**22,2c**
NO-40+40	30,1bcA	28,6bcA	29,3bA	29,7bA	28,8bcA	29,2abA	**29,3b**
NO-00+80	32,7abA	30,4abA	32,3aA	34,2aA	30,1abcA	30,7aA	**31,7a**
NH-40+40	28,3cA	30,0abA	27,9bA	30,3bA	28,4cA	27,0bA	**28,7b**
NH-00+80	33,3aA	32,8aA	32,1aA	30,5bA	31,3abA	31,5aA	**31,9a**
NHI-40+40	29,9cA	27,0cA	30,1abA	29,4bA	28,3cA	30,0aA	**29,0b**
NHI-00+80	33,5aA	32,7aA	32,3aA	33,4aA	32,2aA	31,8aA	**32,7a**
Média	**29,9AB**	**28,9B**	**29,6AB**	**30,1A**	**28,9B**	**28,7B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

6.4.16. Atividade da enzima nitrato redutase no arroz

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) foi influenciada pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 47). A maior atividade da NR aos 14 e 28 DAE foi observada quando se utilizou a fonte nítrica (Tabela 48). Aos 42

DAE a maior atividade foi observada para a fonte amoniacal sem inibidor de nitrificação em uma única com a aplicação (80 kg ha aos 30 DAE). Quanto ao efeito das plantas de cobertura não se observou uma espécie que proporcionasse maior atividade da enzima em todas as formas de manejo do N (Tabela 48).

A redução da atividade da NR no decorrer do tempo pode estar associada ao ciclo de aminoácidos entre o colmo e raiz. Este mecanismo sugere que o nível de aminoácidos no floema da raiz regula a absorção e a assimilação de nitrogênio. Durante o rápido crescimento vegetativo, são altas as taxas de redução de nitrato e síntese de aminoácidos nas folhas e durante a fase reprodutiva, diminui a taxa de redução de nitrato e aumenta a remobilização do N foliar para o desenvolvimento das inflorescências. O enriquecimento do floema com aminoácidos provocariam a redução na taxa de absorção de NO_3^- (IMSANDE & TOURAINE, 1994).

O entendimento de como os aminoácidos regulam a absorção de N ainda carece de muitos esclarecimentos. É provável que os altos níveis de aminoácidos nas raízes inibem a ação dos transportadores de NO_3^- na membrana (IMSANDE & TOURAINE, 1994) e a síntese da enzima nitrato redutase (LEA, 1997).

Outro aspecto que pode provocar a diminuição da atividade da NR é o excesso de nitrato. Fernandes & Rossielo (1986) relatam que a utilização combinada de nitrato e amônio pode promover aproveitamento direto da forma amoniacal com a formação de compostos nitrogenados como proteínas estruturais e enzimas, as quais poderiam estimular a ação do sistema nitrato-redutase, uma vez que o nitrato acumulado não induziria.

Tabela 47. Análise da variância e coeficiente de variação para a atividade da enzima nitrato redutase do arroz IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis	Atividade da enzima nitrato redutase		
	14 DAE	28 DAE	42 DAE
	NO_2^- (µM g de matéria fresca h^{-1})		
Plantas cobertura (A)	*	*	*
Manejo N (B)	**	**	**
A x B	*	*	**
CV 1	13,7	8,2	10,7
CV 2	12,0	6,1	10,8

* e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 48. Atividade da enzima nitrato redutase do arroz IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época	NO_2^- (µM g de matéria fresca h^{-1})						
				14 DAE			
TEST.	11,0bAB	11,0bAB	12,1aA	10,0bB	9,6bB	10,9bAB	**10,8b**
NO-40+40	13,8aA	12,1abA	12,3aA	12,3aA	13,0aA	14,0aA	**12,9b**
NH-40+40	9,51bC	13,0aA	12,2aAB	11,0abBC	11,1abABC	12,4abAB	**11,6b**
NHI-40+40	10,2bC	12,8abAB	11,2aABC	11.0abBC	11,3abABC	13,1aA	**11,7a**
Média	**11,1B**	**12,2AB**	**12,0AB**	**11,1B**	**11,3B**	**12,6A**	**-**
				28 DAE			
TEST.	8,0cB	9,3bA	9,0bA	9,0bA	8,8bcAB	9,1bA	**8,9c**
NO-40+40	9,9aB	11,4aA	10,2aB	10,1aB	10,5aB	10,6aAB	**10,5a**
NH-40+40	9,3abAB	9,1bAB	9,3bAB	9,2bB	8,2cC	10,0aA	**9,2bc**
NHI-40+40	8,9bA	9,8bA	9,2bA	9,4abA	9,7abA	9,8abA	**9,5b**
Média	**9,0B**	**9,9A**	**9,4B**	**9,4B**	**9,3B**	**9,9A**	**-**
				42 DAE			
TEST.	4,2dBC	5,4dAB	6,4cA	5,1dAB	3,3dC	3,6dC	**4,7e**
NO-40+40	8,9bBC	10,2abA	9,7aABC	10,1bAB	8,5bC	6,5cD	**9,0c**
NO-00+80	10,1bB	9,5abB	9,9aB	10,4abAB	9,3bB	11,5aA	**10,1b**
NH-40+40	7,1cABC	6,6cdBC	7,7bAB	7,2cABC	6,2cC	8,2bA	**7,2d**
NH-00+80	11,6aA	10,3aBCD	10,2aCD	9,7bD	11,6aAB	11,1aABC	**10,8a**
NHI-40+40	6,5cB	6,8cB	6,4cB	7,5cAB	7,0cB	8,3bA	**7,1d**
NHI-00+80	9,4bB	9,0bB	9,3aB	11,4aA	9,4bB	12,0aA	**10,1b**
Média	**8,3AB**	**8,3AB**	**8,5AB**	**8,8A**	**7,9B**	**8,7A**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Para explicar o baixo desempenho do arroz em solos com predominância de nitrato deve-se considerar também a seqüência do metabolismo do nitrogênio. Considerando que atividade da NR seja alta a quantidade de NO_2^- formada seria grande, sendo assim qualquer deficiência da enzima NR ou de outra enzima do metabolismo do N poderia prejudicar a cultura.

6.4.17. Componentes da produção e produtividade de grãos

O número de panículas foi influenciado pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 49). Todas as formas de manejo superaram a testemunha (Tabela 50). O aumento no número de panículas m^{-2} com adubação nitrogenada de cobertura também foi observado por Cazetta et al. (2008), porém em apenas uma de duas safras de cultivo. Em relação as plantas de cobertura o milheto e a crotalária proporcionaram o maior número de panículas. Entre as braquiárias o maior número foi observado nas parcelas com a *B. ruziziensis*, principalmente quando o N foi fornecido na forma amoniacal (Tabela 50).

Tabela 49. Análise da variância e coeficiente de variação para os componentes de produção e produtividade do arroz IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2010.

Variáveis[1]	**Componentes de produção**				**Produtividade de grãos**
	Panículas	Espiguetas	Fertilidade de espiguetas	Peso de 1000 grãos	
	-- n.º m^{-2} --	- n.º $panícula^{-1}$ -	---------- % ---------	---- gramas ----	--------- kg ha^{-1} ---------
PLC (A)	**	**	*	**	**
MDN (B)	**	**	**	**	**
A x B	**	**	*	*	**
CV 1	7,5	10,9	5,4	5,3	8,0
CV 2	8,1	10,4	4,1	5,4	11,0

[1]PLC, plantas de cobertura e MDN, manejo do nitrogênio. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quanto ao número de espiguetas por panícula todas as formas de manejo superaram a testemunha com pequena vantagem para o manejo NHI-00+80. Em relação as plantas de cobertura o maior número de espiguetas ocorreu nas parcelas com *B. decumbens* (Tabela 50). Este resultado pode ser explicado em parte pelo menor número de panículas m^{-2}. Dessa forma, devido a menor competição por espaço é provável a planta tenha produzido panículas maiores e como conseqüência com maior número de espiguetas.

A porcentagem de espiguetas férteis foi pouco alterada pelo manejo do N e pelas plantas de cobertura (Tabela 50). Farinelli et al. (2004) e Arf et al. (2003), não observaram efeito da adubação nitrogenada na porcentagem de espiguetas férteis. Cazetta et

al. (2008), observaram poucas alterações no número de espiguetas pela cobertura vegetal. Bordin et al. (2003), observaram maior número de espiguetas férteis em arroz cultivado após feijão bravo-do-ceará, crotalária e milheto.

Em relação ao peso de 1000 grãos os melhores resultados foram observados para a testemunha e para as formas de manejo que foram aplicadas logo após a emergência (Tabela 50). Com estes resultados ressaltam a importância de mais estudos com a antecipação da época de aplicação de N em cobertura na cultura do arroz. Mediante a divergência de resultados quanto ao efeito do N no peso de grãos, Cazetta et al. (2008) relataram que este parâmetro é dependente da cultivar, da época de aplicação do N, do nível de água disponível e da produtividade de grãos.

Quanto as plantas de cobertura o maior peso de 1000 grãos foi observado nas parcelas cultivadas com milheto (Tabela 50). O maior número de panículas ocorreu sobre palhada de milheto e quando isso ocorre, a tendência é a redução no tamanho das panículas, o que resultou em menor o número de espiguetas, o que permitiu um maior enchimento de grãos e, como conseqüência, maior peso. Bordin et al. (2003) também verificaram superioridade do milheto para essa característica, entre diversas coberturas vegetais.

Tabela 50. Componentes de produção do arroz IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época			Panículas (número m^{-2})				
TEST.	276cAB	310aA	219dC	264cB	228bC	251bBC	**258b**
NO-40+40	366aA	336aAB	330abBC	307aBC	299aC	314aBC	**325a**
NO-00+80	321bAB	331aAB	297bcB	312aAB	312aAB	335aA	**318a**
NH-40+40	352abA	340aA	342aA	304abBC	280aC	320aAB	**323a**
NH-00+80	331bA	325aAB	324abcAB	301abAB	292aB	316aAB	**315a**
NHI-40+40	354abA	340aAB	319abcB	269bcC	282aC	331aAB	**316a**
NHI-00+80	343abA	318aAB	292cB	326aAB	311aAB	318aAB	**318a**
Média	**335A**	**329AB**	**303CD**	**298CD**	**286D**	**312BC**	**-**
			Espiguetas (número $panícula^{-1}$)				
TEST.	119dC	120bC	136cBC	157dAB	137cABC	161cA	**138c**
NO-40+40	144bcC	142abC	170abB	217aA	182abB	184abcB	**173ab**
NO-00+80	186aAB	139abE	178abABC	197abA	173abBC	162cCD	**173ab**
NH-40+40	151bC	138abC	160bBC	185bcA	182abAB	194aA	**168ab**
NH-00+80	125cdC	152aB	187aA	170cdAB	158bcB	169bcAB	**160b**
NHI-40+40	146bcB	140abB	161bB	187bcA	161bcB	186abA	**164ab**
NHI-00+80	185aB	124bC	171abB	220aA	188aB	168bcB	**176a**
Média	**151C**	**136D**	**166B**	**190A**	**169B**	**175B**	**-**
			Fertilidade de espiguetas (%)				
TEST.	80,0bcA	82,0abA	83,5aA	83,5abA	82,0aA	81,1abA	**82ab**
NO-40+40	83,7abA	84,6aA	83,7aA	83,7abA	83,3aA	83,8aA	**84a**
NO-00+80	82,4abA	81,6abA	79,5abA	79,8bA	81,7aA	80,0abA	**81ab**
NH-40+40	82,8abA	79,5cdAB	77,2bB	82,8abA	80,2aAB	78,5bAB	**80b**
NH-00+80	76,6cBC	75,0cC	82,7aA	84,7aA	82,2aA	81,1abAB	**80b**
NHI-40+40	83,2abA	80,0abA	83,0aA	84,1abA	83,9aA	79,3abA	**82ab**
NHI-00+80	86,0aAB	81,5abBC	80,3abC	86,9aA	83,8aABC	82,3abABC	**83a**
Média	**82AB**	**81B**	**81B**	**84A**	**82AB**	**81B**	**-**
			Peso de 1000 grãos (g)				
TEST.	22,8aA	20,8bB	21,4aAB	20,1aB	21,2aB	20,7aB	**21,2a**
NO-40+40	21,7abcAB	22,7aA	19,6bcC	19,9aC	20,4abBC	20,5abBC	**20,8a**
NO-00+80	19,9dAB	19,8abAB	19,4cAB	19,5aAB	18,6cB	20,3abA	**19,6b**
NH-40+40	22,5abA	19,8abBC	19,6bcBC	20,3aBC	20,8abB	19,1bC	**20,4ab**
NH-00+80	21,1bcdA	18,4cC	19,2cBC	20,0aAB	20,2abAB	19,3abBC	**19,7b**
NHI-40+40	21,8abcA	19,8abB	21,0abAB	20,2aB	20,4abAB	20,3abAB	**20,6ab**
NHI-00+80	20,9cdA	19,3abB	19,2cB	19,4aAB	19,4bcAB	20,0abAB	**19,7b**
Média	**21,5A**	**20,1B**	**19,9B**	**19,9B**	**20,1B**	**20,0B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

A produtividade de grãos foi influenciada pelas plantas de cobertura e pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 49). As maiores produtividades de grãos foram obtidas com o fornecimento parcelado de N (40 kg ha^{-1} aplicado em duas épocas) (Tabela 51). Dentre estas formas de manejo a maior produtividade média (5.4 ton ha^{-1}) ocorreu com a aplicação de N amoniacal com inibidor. Embora a diferença pareça pequena o uso da fonte NHI-40+40 proporcionou 320 kg de arroz a mais do que a fonte NH-40+40 (sem inibidor) e 200 kg a mais do que a fonte NO-40+40.

Vários trabalhos de literatura relataram que o efeito da adubação nitrogenada na cultura do arroz é variável, ora com incremento de produtividade (FARINELLI et al., 2004; BORDIN et al., 2003; STONE et al., 1999), ora sem (ARF et al., 1996; ARF et al., 2003). No entanto, são raros os trabalhos procuram investigar os efeitos da aplicação antecipada do N levando em conta a relação amônio/nitrato do solo.

Tabela 51. Produtividade de grãos do arroz IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	**Planta de cobertura[1]**						**Média**
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época	**Produtividade de grãos (ton ha^{-1})**						
TEST.	5,1dA	4,6aA	2,7dD	2,9cdBC	3,6cB	4,9cA	**4,0c**
NO-40+40	7,4aA	3,5cC	4,3bcB	4,8aB	5,0aB	6,3abB	**5,2ab**
NO-00+80	7,4aA	4,4abAB	3,9bcC	4,2abC	4,1bcC	5,1cB	**4,9bc**
NH-40+40	7,6aA	3,8bcD	4,1bcCD	4,2abCD	4,7abC	6,3abB	**5,1b**
NH-00+80	6,6bcA	4,8aB	3,9cC	3,6bcC	4,1bcBC	6,0bA	**4,9bc**
NHI-40+40	7,3abA	4,3abC	5,3aB	4,4aC	4,5abBC	6,8aA	**5,4a**
NHI-00+80	5,9cA	4,3abB	4,7abB	4,4aB	5,0aB	6,2abA	**5,1b**
Média	**6,8A**	**4,2C**	**4,1D**	**4,1D**	**4,4C**	**6,0B**	**-**

[1]MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Brachiaria brizantha*; DECU-*B. decumbens*; HUMI-*B. humidicola* e RUZI-*B. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha^{-1} aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de t – LSD (P=0,05).

Quanto as plantas de cobertura as maiores produtividades foram obtidas nas parcelas que foram cultivadas com *Pennisetum americanum* e *Brachiaria ruziziensis*. A superioridade do milheto se deve ao maior número de panículas por m^2 e peso de 1000 grãos. Em relação a *Brachiaria ruziziensis* o resultado se deve ao maior número de

panículas por m^2 e ao número de espiguetas por panículas. Bordin et al. (2003) observaram que, mesmo sem adubação em cobertura, houve maior produtividade nas áreas anteriormente cultivadas com os adubos verdes *Canavalia brasiliensis*, *Crotalaria juncea* e *Pennisetum glaucum*.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de que o fornecimento do N na forma amoniacal logo após a emergência favoreceria a cultura do arroz em virtude da menor atividade da NR no início do ciclo não se confirmou. A atividade da enzima NR foi maior no início do desenvolvimento e diminuiu com o desenvolvimento da planta (mudanças de estágios de crescimento), o que pode reduzir a importância da fonte amoniacal nas fases iniciais do arroz. De acordo com Cregan & Berkum (1984) a quantidade de nitrogênio absorvida aumenta progressivamente durante o período de crescimento vegetativo e atinge o máximo durante os estádios reprodutivos. Dessa forma, como a demanda por N aumenta no decorrer do ciclo e a atividade da NR diminui, o fornecimento de N amoniacal se torna importante nas fases de maior demanda do elemento.

A aplicação antecipada (no dia da emergência) de amônio com inibidor de nitrificão não propicionou incremento na produção de grãos, quando comparada com a fonte nítrica aplicada nas mesmas condições.

Desta forma recomenda-se novos estudos para elucidar a problemática da adaptação do arroz de terras altas no SPD. Além dos aspectos abordados nesta pesquisa, outros devem ser estudados, tais como o efeito alelopático de plantas de cobertura ao arroz e avaliação de todas as enzimas envolvidas no metabolismo no nitrogênio.

8. CONCLUSÕES

8.1. Experimento 1

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) diminuiu a medida que aumento o ciclo do arroz.

8.2. Experimento 2

A produção de matéria seca da parte aérea e o número de perfilhos foram maiores para média e alta acidez do solo, quando o nitrogênio foi fornecido na forma amoniacal.

A cultura do arroz foi prejudicada em condições de baixa acidez, quando a fonte de nitrogênio utilizada foi a nítrica.

O uso de inibidor de nitrificação não melhorou a eficiência da fonte amoniacal pelo arroz.

As maiores produtividades foram obtidas em condições de alta acidez do solo, independente da fonte de nitrogênio e média acidez quando a fonte de nitrogênio utilizada foi a amoniacal.

8.3. Experimento 3

A acidez média do solo proporcionou maior atividade da enzima NR.

A atividade da NR diminuiu com o tempo após a emergência do arroz.

A adição de Zn proporcionou maior produção de massa de matéria seca da parte aérea com baixa acidez e maior número de panículas por planta.

A adição de Fe proporcionou maior peso de 100 grãos em condições de alta acidez e maior produtividade em condições de média acidez do solo.

A aplicação de micronutrientes foi essencial para o desenvolvimento e produtividade do arroz, principalmente quando a acidez do solo foi baixa.

8.4. Experimento de campo

O milheto foi a planta de cobertura que proporcionou a maior produtividade de grãos de arroz.

O fornecimento de nitrogênio na forma amoniacal não proporcionou maior produtividade de grãos do arroz.

O uso do inibidor de nitrificação (dicianodiamida-DCD) inibiu parte das bactérias nitrificantes e resultou nos maiores teores de amônio no solo.

A atividade das bactérias amonificantes e nitrificantes foi maior nas parcelas cultivadas com braquiárias.

As formas de manejo de nitrogênio que proporcionaram maior produtividade foram as parceladas.

A atividade da NR diminuiu a medida que aumentou o tempo após a emergência.

9. REFERÊNCIAS

ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 417-426.

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 23-58.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007. Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. 722 p.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 95-102, 2007.

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 157-1165, 2001.

ALMEIDA, D. L. **Contribuições da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1991.

AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, n. 19/20, p. 1933-1955, 1989.

ANDRADE, S. R. M. **Efeito da proporção de NH_4^+/NO_3^- na, composição da fração nitrogenada, na atividade de enzimas de redução e assimilação de nitrogênio em plantas de capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.)**. 1994. 49 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1994.

ANDREOLA, F. et al. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 867-874, 2000.

AQUINO, A. R. L. **Níveis e modos de aplicação de uréia $_{15}$N no arroz (*Oryza sativa L.*) submetido a veranicos.** 1984. 134 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

ARF, O. et al. Comportamento de cultivares de arroz para condição de sequeiro irrigado por aspersão em diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Científica**, Jaboticabal, v. 24, n.1, p. 85-97, 1996.

ARF, O. et al. Manejo do solo e adubação nitrogenada para cultivares de arroz de terras altas irrigadas por aspersão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 348-352, 2003.

BADAN, A. C. C. **Ganho com seleção e diversidade genética:** medidas para monitorar o melhoramento populacional de arroz. 2003. 104 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular/Genética Vegetal e Melhoramento)-Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BARLAAN, E. A.; ICHII, M. Genotypic variability in nitrate assimilation in rice. In: **THIRD INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM**, 1996. Manila. **Anais...** Philippines: International Rice Research Institute, 1996. p. 434-440.

BORDIN, L. et al. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 417-428, 2003.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BRESEGHELLO, F.; YOKOYAMA, L. P. Arroz: macio e saboroso. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 7, p. 53-56, jul., 2000.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAMERON, K. C. Nitrogen in soil. In: NIERENBERG W. A. (Ed.), **Encyclopaedia of earth system science.** San Diego: Academic Press, 1992. p. 307-317.

CAMERON, K. C. et al. Clean and green with 'eco-n'. In: South Island Dairy Event Proceedings. Invercargill. New Zealand. **Paper presented at the Proceedings SIDE Conference**. 2004. p. 1-13.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure finction and regulation on bridging to gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 580, p. 277-303, 1999.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. (ed.). **Milho:** nutrição e adubação. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 36-55.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed .Campinas: Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, p. 575-580, 2005.

CAZETTA, D. A. et al. Desempenho do arroz de terras altas com a aplicação de doses de nitrogênio e em sucessão às culturas de cobertura do solo em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 471-479, 2008.

CELESTINO, J. C. **Atividade da enzima redutase do nitrato, em arroz cultivado em solo proveniente de áreas sob diferentes preparos, água e doses de nitrogênio**. 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha solteira, 2006.

COBUCCI, T**.** Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade:** cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Viçosa: UFV, 2001. p. 583-624.

COCHRAN, W. G. Estimation of bacterial densities by means of the "most probable number". **Biometrics**, Washington, v. 6, p. 105-116, 1950.

CRAWFORD, N. M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell,** Rockville, v. 7, p. 859-868, 1995.

CREGAN, P. B., BERKUM, P. Genetics of nitrogen metabolism and physiological-biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 67, p. 97-111, 1984.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Componentes de produção e produtividade de grãos de arroz de sequeiro em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 53-62, 1999a.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Matéria seca e absorção de nutrientes em função do espaçamento e da densidade de semeadura em arroz de terra alta. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 56, n. 1, p. 63-70, 1999b.

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

DI, H. J.; CAMERON, K. C. The use of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), to decrease nitrate leaching and nitrous oxide emissions in a simulated grazed and irrigated grassland. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 18, p. 395-403, 2002a.

DI, H. J.; CAMERON, K. C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems,** Dordrecht, v. 64, p. 237-256, 2002b.

DI, H. J.; CAMERON, K. C. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 42, p. 927-932, 2004.

DICK, W. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 102-107, 1983.

DINNES, D. L. et al. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leachin in tile drained Midwestern soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 153-171, 2002.

ENGELS, C.; MARSCHNER, H. Plant uptake and utilization of nitrogen. In: BACON, P. E. (Ed.). **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.41-81.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSO, 1999. 41 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas:** princípios e perspectivas. Londrina: Planta, 2006. 86 p.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, nov., 2000.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 656 p.

FAGERIA, N. K.; GUIMARÃES, C. M.; PORTES, T. A. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 416, p.1-5, 1994.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop plants in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 17/18, p. 2675-2682, 1998.

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

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 1999. 294 p.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

FARINELLI, R. et al. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 447-454, 2004.

FENN, L. B.; HOSNER, L. R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. In: STEWART, B. A. **Advances in soil science.** New York: Springer-Verlag, 1985. p. 123-169.

FERNANDES, M. S.; ROSSIELO, R. O. P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; YAMADA, T. et al. (Ed.). **Calagem e adubação de pastagens.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 93-123.

FILLERY, I. R. P. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? **Plant and Soil**, The Hague, v. 294, p. 1-4, 2007.

FINZI, A. C. et al. Increases in nitrogen uptake rather than nitrogen-use efficiency support higher rates of temperate forest productivity under elevated CO_2. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 104, p. 14014-14019, 2007.

FISHER, M. J. et al. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature**, London, v. 371, p. 236-238, 1994.

FLOWERS, T. H.; O'CALLAGHAN, J. R. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 15, p. 337-342, 1983.

FRYE, W. W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS**, 2005..Frankfurt. **Proceedings**… Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. 8p. 1 CR-ROM.

FRYE, W. W. et al. Dicyandiamide as a nitrification inhibitor in crop production in the southeasterns USA. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1969-1999, 1989.

GLASS, A. D. M. Nitrogen use efficiency of crop plants: physiological constraints upon nitrogen absorption. **Critical Reviews in Plant Sciences,** Philadelphia, v. 22, p. 453-470, 2003.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 153-159, 2000.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Arroz de terras altas em rotação com soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, p. 127-132, 2004.

HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrados soils (Brazil). **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 39, p. 367-371, 1993.

HEINRICHS, R. et al. Forma preferencial de absorção de nitrogênio ($^{15}NH_4^+$ ou $^{15}NO_3^-$) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 25-30, 2006.

IIZUMI, T.; MIZUMOTO, M.; NAKAMURA, K. A bioluminescence assay using *Nitrosomonas europaea* for rapid and sensitive detection of nitrification inhibitors. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 64, p. 3656-3662, 1998.

IMSANDE, J.; TOURAINE, B. N. Demand and regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, Lancaster, v.105, p.3-7, 1994.

ISHIKAWA, T. et al. Suppression of nitrification and nitrous oxide emission by the tropical grass *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 255, p. 413-419, 2003.

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications,** Orlando, v. 43, p. 1274-1279, 1971.

JUSTINO, G. C. et al. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 1285-1290, 2006.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen: inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part 2, p. 625-642.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Encarte Técnico. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, n. 118, p. 1-24, 2007.

KLUTHCOUSKI, J.; PINHEIRO, B. S. Cultivo do arroz de terras altas. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, N.º 1 (Versão eletrônica Jul 2003). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/importancia.htm>. Acesso em: 08 jan. 2010.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 501-522.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 97-104, jan/mar., 2000.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo e sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M. et al. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1991. p. 43-52 (Documento 1).

KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 623-629, 1999.

LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.

LATA, J. C. et. al. Grass populations control nitrification in savanna soils. **Functional Ecology**, Oxford, v. 18, p. 605-611, 2004.

LAVERMAN, A. M. et al. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v. 32, p. 1661-1670, 2000.

LEA, P. J. Primary nitrogen metabolism. In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B. **Plant Biochemistry.** San Diego: Academic Press, 1997. p. 273-313.

LIAO, M. T.; FILLERY, I. R. P.; PALTA, J. A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, p. 121-129, 2004.

LEYSHON, A. J.; CAMPBELL, C. A.; WARDER, F. G. Comparison of the effect of NO_3^- and NH_4^+-N on growth and yield components of manitou spring wheat and conquest barley. **Canadian Journal of Plant Science,** Ottawa, v. 60, n. 4, p. 1063-1070, 1980.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v. 2, 1994, 168p.

MALAVOLTA, E. O enxofre na agricultura, situação atual, perspectivas e sugestões. In: SIMPÓSIO: P, Ca, Mg, S, MICRONUTRIENTES: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA. 1984. São Paulo. **Anais**... São Paulo: Manah, 1986, p. 101-108.

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

MARCELINO, R. **Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho.** 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais)-Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, n.1, p. 71-82, 1996.

MATSUO, T. Origin and differentiation of cultivated rice, **Science of Rice Plant,** Tokyo, v. 3, p. 105-110, 1997.

McCARTY, G. W. Modes of action of nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 29, p. 1-9, 1999.

McLAREN, R. G.; CAMERON, K. C. **Soil science**: sustainable production and environmental protection. 2. ed. Auckland: Oxford University Press, 1996. 304 p.

MELO, F. A. F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 655 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

MOURA NETO, F. P. M.; SOARES, A. A.; AIDAR, H. Desempenho de cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 904-910, 2002.

OKA, H. T. Intervarietal variation and classification of cultivated rice. **Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, New Delhi, v. 18 , p. 79-89, 1958.

OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Implantação e condução do sistema barreirão. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 267-302.

OUKO, M. O. **Nitrate reductase activity in rice as a screening tool for weed competitiveness**. 2003. 73 f. Tese (Dissertação em Agronomia/Agricultura)-Faculty of agriculture, University of Bonn, Bonn, 2003.

PARIZ, C. M. et al. Massa seca e composição bromatológica de quatro espécies de braquiárias semeadas na linha ou a lanço, em consórcio com milho no sistema plantio direto na palha. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 147-154, 2010.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry.** San Diego: Academic Press, 1989. 273 p.

PETERS, G. A.; CALVERT, H. F. The Azzola – Anabaena symbiosis. In: RAOS, N. S. S. (Eds.). **Advances in agricultural microbiology**. New Delhi: Oxford & Igh, 1982. p. 191-218.

PHILIPS, S.; VERSTRAETE, W. Effect of repeated addition of nitrite to semi-continuous activated sludge reactors. **Bioresource Technology**, Gent, v. 80, n. 1. p. 73-82, 2001.

POUDEL, D. D.; HORWATH, W. R.; LANINI, W. T. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 90, p. 125-137, 2002.

PRIMAVESI, A. C. et al. Adubação nitrogenada em capim coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicosa, v. 33, p. 68-78, 2004.

PURCINO, A. A. C. et al. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de N. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 6, n. 1, p. 41-46, 1994.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. Adaptation to low fertility acid soils and nutritional requirements of *Brachiaria*. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L; DO VALLE, C. B. (eds.). **The biology, agronomy and improvement of** *Brachiaria*. Cali: CIAT, 1996. p 53-71.

RICE, C. W.; PANCHOLY, S. K. Inhibition of nitrification by climax ecosystem. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 59, p. 1033-1040, 1972.

ROSECRANCE, R. C. et al. Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereale* L.) cover crop monocultures and bicultures. **Plant and Soil**, The Hague, v. 227, p. 283-290, 2000.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 301- 309, 2003.

RUBINIGG, M. et al. Spatial patterns of radial oxygen loss and nitrate net flux along adventitious roots of rice raised in aerated or stagnant solution. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 29, p. 1475-1481, 2002.

RYDEN, J. C.; BALL, P. R.; GARWOOD, E. A. Nitrate leaching from grassland. **Nature**, London, v. 311, p. 50-53, 1984.

SANTOS, A. M. **Absorção, assimilação e remobilização de nitrogênio em arroz, sob nutrição nítrica. Avaliação da expressão gênica diferencial.** 2007. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo)-Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2007.

SARATHCHANDRA, S. V. Nitrification activities and the changes in the populations of nitrifying bacteria in soil perused at two different H-ion concentration. **Plant and Soil**, The Hague, v. 50, p. 99-111, 1978.

SCIVITTARO, W. B. et al. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 1427-1433, 2003.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. **Petit guide de gestion des couvertures pour lês systemes de culture macanisés em semis direct dans lês regions tropicales chaudes et humides de basse altitide du Centreouest brésilien.** Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 80 p.

SILVA, C. A.; VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G. Nitrificação em latossolos da região sul de Minas Gerais: efeito da acidez do solo. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, p. 388-394, 1994.

SILVA, F. C. (ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 370 p.

SOLOMONSON, L. P.; BARBER, M. J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 41, p. 225-253, 1990.

STONE, L. F. et al. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 6, p. 927-932, 1999.

SUBBARAO, G. V. et al. A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: a case study with *Brachiaria humidicola.* **Plant and Soil**, The Hague, v. 288, p. 101-112, 2006a.

SUBBARAO, G. V. et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems-challenges and opportunities. **Critical Reviews Plant Sciences**, Philadelphia, v. 25, p. 303-335, 2006b.

SUBBARAO, G. V. et al. NH_4^+ triggers the synthesis and release of biological nitrification inhibition compounds in *Brachiaria humidicola* roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 290, p. 245-257, 2007a.

SUBBARAO, G. V. et al. Can biological nitrification inhibition (BNI) genes from perennial Leymus racemosus (Triticeae) combat nitrification in wheat farming? **Plant and Soil**, The Hague, v. 299, p. 55-64, 2007b.

SUBBARAO, G. V. et al. Biological nitrification inhibition (BNI) - is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, The Hague, v. 294, p. 5-18, 2007c.

SUBBARAO, G. V. et al. Characterization of biological nitrification inhibition (BNI) capacity in *Brachiaria humidicola*. **JIRCAS Working Report**, Tsukuba, v. 51, p. 99-106. 2007d.

SUBBARAO, G. V. et al. Free fatty acids from the pasture grass *Brachiaria humidicola* and one of their methyl esters as inhibitors of nitrification. **Plant and Soil**, The Hague, v. 313, p. 89-99, 2008.

SUBBARAO, G. V. et al. Biological nitrification inhibition (BNI) - Is there potential for genetic interventions in the Triticeae? **Breeding Science**, Tokyo, v. 59, p. 529-545, 2009a.

SUBBARAO, G. V. et al. Evidence for biological nitrification inhibition in Brachiaria pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 106, p. 17302-17307, 2009b.

TA, T. C.; OHIRA, K. Effects of various environmental and medium conditions on the response of Indica and Japonica rice plants to ammonium and nitrate nitrogen. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v. 27, p. 347 355, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M., (Eds.) **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.105-135.

TISDALE, S. I.; NELSON, W. I.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TORO, E. A. T. **Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais**. 2006. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de são Paulo, Piracicaba, 2006.

TRENKEL, M. E. **Improving fertilizer use efficiency:** controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151p.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO_2 e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-42. 2000.

VIEIRA, C.; NOGUEIRA, A. O.; ARAÚJO, G. A. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijão. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 67, p. 117-124, 1992.

ZOTARELLI, L. **Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR**. 2000. 134 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

WANG, F. L.; ALVA, A. K. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1454-1458, 1996.

WANG, Y. M.; PENG, G. H. Advance in molecular biology of heterotrophic nitrifier. **Soils,** Beijing, v. 36, p. 378-386. 2003.

WARNER, R. L.; KLEINHOFS, E. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.85, p. 245-252, 1992.

WEBER, D. F.; GAINEY, P. L. Relative sensitivity of nitrifying organisms to hydrogen ions in soils and solutions. **Soil Science**, Baltimore, v. 94, p. 138-148, 1962.

WILD, M. A. **An evaluation of the use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) to reduce nitrogen losses from intensive sheep winter grazing systems**. 2009. 56 f. Dissertation (Bachelor of Agricultural Science)-Lincoln University, New Zealand, 2009.

ANEXOS
TABELAS DE CORRELAÇÃO - EXPERIMENTO 2

Coeficientes de correlação entre nitrogênio no solo (NO e NH)/Micronutrientes na planta e componentes de produção/produtividade

Tabela 44. Coleta realizada aos 7 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,08ns	-0,14ns	-0,23ns	-0,27ns	-0,36*	0,22ns	-0,33*	-0,36*	-0,39**	-0,20ns	-0,25ns	-0,38**	-0,49**
Cu		0,51**	0,36ns	-0,08ns	0,40**	-0,56**	0,38**	0,38**	0,29*	0,23ns	0,40**	0,35*	0,38**
Zn			0,59**	-0,09ns	-0,03ns	-0,37**	0,47**	0,52**	0,29*	0,08ns	0,33*	0,45**	0,38**
Mn				-0,29*	-0,11ns	-0,17ns	0,31*	0,30*	0,13ns	0,06ns	0,23ns	0,45**	0,26ns
Fe					0,51**	-0,14ns	0,65**	0,62**	0,77**	0,04ns	0,06ns	0,19ns	0,64**
NH						-0,59**	0,47**	0,45**	0,55**	-0,03ns	0,20ns	0,28*	0,47**
NO							-0,38**	-0,42**	-0,26ns	-0,04ns	-0,26ns	-0,35*	-0,28*

Tabela 45. Coleta realizada aos 14 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,32*	-0,51**	-0,69**	-0,21NS	-0,28NS	0,31*	-0,58**	-0,61**	-0,44**	-0,11NS	-0,14ns	-0,45**	-0,51**
Cu		0,22ns	0,26ns	0,39**	-0,06ns	-0,16ns	0,17ns	0,17ns	0,00ns	0,03ns	-0,20ns	-0,02ns	-0,02ns
Zn			0,86**	0,22ns	-0,23ns	-0,11ns	0,23ns	0,25ns	-0,01ns	0,17ns	0,20ns	0,40**	0,16ns
Mn				0,21ns	-0,07ns	-0,23ns	0,32*	0,31*	0,15ns	0,06ns	0,22ns	0,45**	0,28*
Fe					-0,26ns	0,24ns	-0,01ns	-0,02ns	-0,08ns	-0,19ns	-0,36*	-0,10ns	-0,15ns
NH						-0,19ns	0,62**	0,56**	0,70**	0,08ns	0,22ns	0,31*	0,63**
NO							-0,16ns	-0,16ns	-0,03ns	0,15ns	-0,07ns	-0,13ns	0,01ns

Tabela 46. Coleta realizada aos 21dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,12ns	-0,58**	-0,61**	0,02ns	0,32*	0,35*	-0,39**	-0,38**	-0,26ns	-0,09ns	-0,15ns	-0,30*	-0,29*
Cu		0,06ns	0,11ns	-0,13ns	0,25ns	-0,21ns	0,03ns	0,07ns	0,05ns	-0,15ns	-0,12ns	0,08ns	-0,00ns
Zn			0,89**	-0,24ns	0,21ns	-0,11ns	0,46**	0,43**	0,34*	0,17ns	0,38**	0,56**	0,49**
Mn				-0,18ns	0,10ns	-0,09ns	0,36*	0,33*	0,23ns	0,08ns	0,25ns	0,47**	0,36*
Fe					0,16ns	0,30*	-0,35*	-0,39*	-0,24ns	-0,15ns	-0,22ns	-0,27ns	-0,30*
NH						-0,11ns	0,55**	0,50**	0,61**	0,17ns	0,22ns	0,31*	0,58**
NO							-0,16ns	-0,03ns	0,05ns	0,19ns	-0,14ns	-0,14ns	0,06ns

Tabela 47. Coleta realizada aos 28 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,15ns	-0,56**	-0,62**	0,13ns	-0,16ns	0,44**	-0,31*	-0,29*	-0,18ns	0,01ns	-0,29*	-0,41**	-0,25ns
Cu		0,41**	0,19ns	-0,02ns	0,37**	-0,15ns	0,41**	0,48**	0,38**	0,19ns	0,09ns	0,34*	0,40**
Zn			0,78**	-0,06ns	0,31*	-0,12ns	0,65**	0,64**	0,52**	0,08ns	0,22ns	0,46**	0,55**
Mn				-0,21ns	-0,10ns	0,02ns	0,35*	0,34*	0,17ns	0,08ns	0,25ns	0,46**	0,31*
Fe					0,31*	0,42**	-0,13ns	-0,17ns	0,10ns	0,08ns	0,27ns	0,12ns	0,13ns
NH						-0,19ns	0,51**	0,47**	0,50**	0,07ns	0,16ns	0,21ns	0,45**
NO							-0,06ns	-0,10ns	0,11ns	0,19ns	0,14ns	0,03ns	0,19ns

Tabela 48. Coeficientes de correlação entre matéria seca e componentes de produção.

	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
MS	0,95**	0,87**	0,22ns	0,24ns	0,48**	0,86**
PERF		0,85**	0,22ns	0,24ns	0,52**	0,84**
PAN			0,07ns	0,31*	0,46**	0,91**
ESP				0,24ns	0,20ns	0,37*
ESPF					0,78**	0,56**
P100						0,68**

MS-matéria seca; PERF-perfilhos; PAN-panículas; ESP-espiguetas; ESPF-espiguetas férteis; P100- peso de 100 grãos.

ANEXOS
TABELAS DE CORRELAÇÃO - EXPERIMENTO 3

Coeficientes de correlação entre nitrogênio no solo (NO e NH)/Micronutrientes na planta e componentes de produção/produtividade

Tabela 49. Coleta realizada aos 7 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,16ns	0,35*	0,30*	-0,26ns	0,10ns	0,06ns	0,44**	0,49**	0,50**	-0,17ns	-0,47**	-0,05ns	0,11ns
Cu		-0,16ns	-0,17ns	0,06ns	-0,14ns	-0,21ns	0,06ns	0,09ns	0,04ns	0,16ns	0,13ns	-0,25ns	0,11ns
Zn			0,71**	0,02ns	-0,04ns	-0,05ns	0,50**	0,60**	0,65**	-0,38**	-0,63**	0,02ns	0,01ns
Mn				0,23ns	-0,15ns	-0,20ns	0,12ns	0,33*	0,28ns	-0,38*	-0,37*	0,18ns	-0,03ns
Fe					-0,19ns	-0,57**	-0,22ns	-0,08ns	-0,09ns	0,20ns	0,03ns	-0,11ns	-0,01ns
NH						0,68**	0,20ns	0,18ns	-0,06ns	0,18ns	0,08ns	-0,07ns	-0,09ns
NO							0,03ns	0,04ns	-0,16ns	-0,14ns	0,24ns	0,01ns	-0,15ns

Tabela 50. Coleta realizada aos 14 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	0,17ns	-0,23ns	-0,65**	0,33*	-0,35ns	0,22ns	0,17ns	0,01ns	0,03ns	0,10ns	0,09ns	-0,13ns	0,08ns
Cu		-0,44**	-0,34*	0,26ns	-0,11ns	0,08ns	-0,11ns	0,20ns	0,16ns	0,24ns	0,40**	-0,17ns	0,29*
Zn			0,61**	-0,54**	0,45**	-0,50**	0,50**	0,50**	0,71**	-0,44**	-0,72**	0,11ns	0,12ns
Mn				-0,61**	0,36*	-0,63**	0,20ns	0,41**	0,39**	-0,44**	-0,43**	0,16ns	0,02ns
Fe					-0,43**	0,38*	-0,15ns	-0,31*	-0,43**	0,47**	0,38*	0,05ns	0,10ns
NH						-0,12ns	0,38*	0,45**	0,54**	0,30*	-0,41**	0,02ns	0,04ns
NO							-0,46**	-0,47**	-0,58**	0,35*	0,50**	0,08ns	-0,14ns

Tabela 51. Coleta realizada aos 21 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	0,22ns	-0,34*	-0,82**	0,11ns	-0,33*	0,25ns	-0,16ns	-0,28*	-0,32*	0,30*	0,43**	-0,13ns	-0,04ns
Cu		-0,33*	-0,31*	0,22ns	-0,18ns	0,08ns	0,19ns	0,04ns	0,02ns	0,11ns	-0,02ns	-0,30*	-0,11ns
Zn			0,38*	-0,30*	0,20ns	-0,37*	0,49**	0,44**	0,67**	-0,30*	-0,62**	0,10ns	0,17ns
Mn				-0,23ns	0,43**	-0,24ns	0,21ns	0,42**	0,34*	-0,41**	-0,44**	0,17ns	-0,05ns
Fe					0,14ns	0,26ns	0,07ns	-0,14ns	-0,27ns	0,28ns	0,20ns	0,06ns	0,10ns
NH						0,00ns	0,12ns	0,16ns	0,11ns	0,03ns	-0,31*	-0,05ns	-0,18ns

Tabela 52. Coleta realizada aos 28 dias após a emergência.

	Cu	Zn	Mn	Fe	NH	NO	MS	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
NR	-0,38*	-0,43**	-0,68**	-0,02ns	-0,51**	0,16ns	0,01ns	-0,12ns	-0,18ns	0,34*	0,28ns	-0,15ns	0,15ns
Cu		0,25ns	0,59**	0,07ns	0,56**	0,13ns	0,01ns	0,20ns	0,10ns	-0,15ns	-0,08ns	0,01ns	0,01ns
Zn			0,31*	0,53**	0,14ns	-0,36*	0,34*	0,27ns	0,46**	-0,22ns	-0,56**	0,17ns	0,06ns
Mn				-0,13ns	0,67**	-0,27ns	0,19ns	0,41**	0,31*	-0,34*	-0,35*	0,15ns	0,07ns
Fe					0,51ns	0,06ns	0,12ns	0,05ns	0,07ns	0,06ns	-0,05ns	-0,08ns	-0,02ns
NH						0,25ns	-0,03ns	0,14ns	-0,08ns	-0,13ns	-0,02ns	-0,01ns	-0,19ns

Tabela 53. Coeficientes de correlação entre matéria seca e componentes de produção.

	PERF	PAN	ESP	ESPF	P100	PROD
MS	0,82**	0,76**	-0,17ns	-0,64**	-0,11ns	0,25ns
PERF		0,78**	-0,15ns	-0,56**	-0,06ns	0,42**
PAN			-0,21ns	-0,76**	-0,13ns	0,41**
ESP				0,20ns	-0,46**	0,24ns
ESPF					-0,11ns	-0,03ns
P100						0,14ns

MS-matéria seca; PERF-perfilhos; PAN-panículas; ESP-espiguetas; ESPF-espiguetas férteis; P100- peso de 100 grãos.