

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**Atividade da enzima redutase do nitrato, em arroz cultivado em solo  
proveniente de áreas sob diferentes preparos, água e doses de nitrogênio.**

**JOÃO CLÁUDIO CELESTINO**  
Biólogo

Ilha Solteira  
Estado de São Paulo – Brasil  
Julho de 2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**Atividade da enzima redutase do nitrato, em arroz cultivado em solo  
proveniente de áreas sob diferentes preparos, água e doses de nitrogênio.**

**JOÃO CLÁUDIO CELESTINO**  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Kuniko Iwamoto Haga

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Sistemas de Produção.

Ilha Solteira  
Estado de São Paulo – Brasil  
Julho de 2006



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Atividade da enzima redutase do nitrato, em arroz cultivado em solo proveniente de áreas sob diferentes preparos, água e doses de nitrogênio.

**AUTOR:** JOÃO CLAUDIO CELESTINO  
**ORIENTADORA:** Profa. Dra. KUNIKO IWAMOTO HAGA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. KUNIKO IWAMOTO HAGA  
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. ELIZABETH ORIKA ONO  
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu

Prof. Dr. LEANDRO FERREIRA DE AGUIAR  
Departamento de Ciências Naturais / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Data da realização: 28 de julho de 2006.

---

Presidente da Comissão Examinadora  
Profa. Dra. KUNIKO IWAMOTO HAGA

*À minha esposa ANGELA  
e aos nossos amados filhos  
MATHEUS e GABRIEL,*

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

*À DEUS, por permitir a conclusão deste trabalho, por estar presente em todos os momentos de minha vida.*

*À Professora Dra. Kuniço Iwamoto Haga, pela orientação científica, paciência e amizade.*

*À Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesaquita Filho” (UNESP) Campus de Ilha Solteira, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.*

*Ao Departamento de Biologia e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira.*

*À Circélia dos Santos Pereira de Souza Caetano, por toda ajuda na condução do experimento.*

*À Secretaria de Estado da Educação do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro, concedido através da bolsa de pesquisa.*

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

SUMMARY

1. INTRODUÇÃO.....	11
2- REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultado da análise de fertilidade do solo da área experimental na camada de 0 a 0,2m. Ilha Solteira (SP), 2005..... 26
- Tabela 2 - Quadrados médios das análises de variância e níveis de significância para atividade média da enzima Redutase do Nitrato, em folhas de arroz, cultivar IAC 202, cultivadas em vaso em ambiente sem proteção, no Departamento de Biologia e Zootecnia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira (SP), 2005. .... 29
- Tabela 3 - Atividade média da enzima Redutase do Nitrato ( $\mu\text{moles de NO}_2^{-1}\text{g}^{-1}\text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função dos manejos do solo e água, Departamento de Biologia e Zootecnia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira (SP), 2005..... 30
- Tabela 4 - Atividade média da NR ( $\mu\text{moles de NO}_2^{-1}\text{g}^{-1}\text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função dos manejos do solo e doses de nitrogênio, em quatro períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005. .... 31
- Tabela 5 - Atividade da enzima NR ( $\mu\text{moles de NO}_2^{-1}\text{g}^{-1}\text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e doses de nitrogênio, em quatro avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005..... 32

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Atividade da enzima redutase do nitrato em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de solo e doses de nitrogênio, em quatro períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005. .... 33
- Figura 02 - Atividade da enzima redutase do nitrato em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e doses de nitrogênio, em quatro períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005. .... 35



# **Atividade da enzima redutase do nitrato, em arroz cultivado em solo proveniente de áreas sob diferentes preparos, água e doses de nitrogênio.**

Autor: JOÃO CLÁUDIO CELESTINO

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Kuniko Iwamoto Haga

## **RESUMO**

A assimilação do nitrogênio é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade final das culturas. A rota de assimilação do nitrato em plantas superiores envolve dois estágios seqüenciais, conversão do nitrato a nitrito pela redutase do nitrato (NR) e nitrito a amônio, mediada pela enzima redutase do nitrito (NiR). O presente trabalho teve o objetivo de verificar a atividade da enzima NR em arroz cv. IAC 202 conduzido sob solo proveniente de áreas de sistema de plantio direto e plantio em solo escarificado, aliado a doses crescentes de nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg.ha<sup>-1</sup>) em dois regimes hídricos. As plantas foram cultivadas em vasos a céu aberto e as análises foram realizadas de acordo com método clássico *in vivo*. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro repetições. Foram feitas três análises com intervalo de sete dias entre uma e outra e estas se iniciaram sete dias após a aplicação do N em cobertura. Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a maior atividade da enzima está relacionada com a disponibilidade de água e ao tipo de manejo do solo (plantio direto).

**Palavras-chave:** irrigação, plantio direto, cultivo mínimo

# **Activity of the enzyme nitrate reductase in rice cultivated in ground proceeding from areas under different prepare, water and doses of nitrogen**

Author: JOÃO CLÁUDIO CELESTINO

Adviser: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Kuniko Iwamoto Haga

## **SUMMARY**

The assimilation of the nitrogen is a vital process that it controls the growth and the development of the plants and it has outstanding effects on the biomass and the final productivity of the crops. The pathway of assimilation of the nitrate in plants involves two sequential stage, one is reduction the nitrate to nitrite mediated by the nitrate reductase (NR) and reduction the nitrite to ammonium mediated by the enzyme nitrite reductase (NiR). In the present work objetivated to verify the enzyme NR activity in rice cv. IAC 202 plants cultivated in two conditions of handling of the soil, no-tillage and minimum tillage, and doses of Nitrogen (0, 25, 50, 75, 100 and 125 kg.ha<sup>-1</sup>) on irrigation and without irrigation. The plants were cultivated in vases to open sky and the analyses were accomplished in agreement with method classic alive in. The experimental design was randomized blocks, with four repetitions. It was made three evaluations in the interval of seven days; the analysis began seven days after the N application on covering. The largest activity of the enzyme is related with readiness of water and to the soil cultivation with the better performance was observed in no-tillage system.

**Key words:** irrigation, no-tillage, minimum tillage.

## 1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o elemento mais amplamente distribuído na natureza, circulando facilmente entre a atmosfera e organismos do solo. Mas, apesar dessa intensa quantidade, a principal fonte de N para as plantas não simbióticas é o solo (MENGUEL & KIRKBY 1987).

O N é um dos fatores mais limitantes para o crescimento das plantas, mas estas apresentam vários mecanismos para a máxima eficiência de utilização do nutriente. Sistemas complexos de absorção, assimilação e mobilização evitam a perda do próprio nitrogênio bem como de energia. Em plantas superiores a assimilação de nitrogênio é o segundo maior processo metabólico, sendo superado apenas pela fixação fotossintética do CO<sub>2</sub>. As plantas absorvem o N do solo nas formas de nitrato e amônio, disponíveis a partir da mineralização da matéria orgânica ou pela aplicação de fertilizantes químicos (Coelho et al., 1991). A baixa disponibilidade deste elemento foi associada à redução da divisão celular, da área foliar e fotossíntese (CHAPIN, 1980). A maioria das espécies vegetais é capaz de absorver e assimilar nitrato, amônio, uréia e aminoácidos como fonte de N (CRAWFORD & GLASS, 1998). Mas segundo Menguel & Kirkby (1987), o nitrato é a forma preferencial, sendo que a absorção do amônio se dá melhor em meio com pH neutro e o nitrato é melhor absorvido em meio com pH baixo.

Uma vez absorvido pelas raízes das plantas o nitrato é reduzido a nitrito no citoplasma das células, pela enzima redutase do nitrato (NR) e, em seguida, a amônio, pela redutase do nitrito (NRi). Esse amônio é imediatamente assimilado por meio da ação conjunta das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT). Os

processos de redução e assimilação de N podem ocorrer nas folhas e/ou raízes, de maneira simultânea ou não entre esses órgãos, de acordo com a espécie (Pate, 1980) e com condições ambientais (COSTA, 1986).

A NR é a principal enzima responsável pela assimilação de nitrogênio pelas plantas, a estimativa da atividade da NR tem sido utilizada, com sucesso, como parâmetro indicativo da resposta fisiológica de plantas submetidas a condições adversas (MEGURO & MAGALHÃES, 1982). O nitrato é a principal forma de nitrogênio inorgânico disponível para as plantas e a NR é a primeira enzima da rota de assimilação do N-inorgânico, assumindo portanto, papel de extrema importância no metabolismo vegetal (DELÚ-FILHO et al., 1998).

Para alcançar a sustentabilidade agrícola, procuram-se alternativas tecnológicas de baixa necessidade energética. Estas incluem sistemas apropriados de produção, espécies ou variedades adequadas ao solo e clima, cultivo conservacionista e de baixo custo, uso correto de insumos e maximização da utilização dos processos biológicos (SILVEIRA & MOREIRA, 1996).

Os sistemas de manejo do solo são classificados por Dallmeyer (2001) como intensivo (convencional com arado e grades), mínimo ou reduzido e plantio direto, sendo os dois últimos denominados também de manejos conservacionistas. No sistema de preparo reduzido, utilizam-se equipamentos de hastes, tais como escarificadores. Para Siqueira (1999), a mecanização agrícola é um importante componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural e no aumento da produtividade da mão-de-obra. No entanto, sua introdução maciça, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes tipos de solos pode ocasionar rápida e contínua degradação desse recurso natural.

De acordo com Benez (1972), o principal objetivo do “cultivo mínimo” é a mínima manipulação possível do solo para uma satisfatória semeadura ou plantio, germinação, lotação, crescimento e produção de uma cultura. As mais frequentes tentativas neste campo têm sido eliminar ou reduzir a severidade de algumas operações, assim como diminuir o tráfego do trator no solo cultivado.

O plantio direto é um sistema de manejo da produção agrícola onde a semeadura é realizada com o revolvimento mínimo do solo, preservando-se a cobertura vegetal de culturas anteriores sobre a superfície, sendo o sistema mais apropriado para a produção agrícola em clima tropical (ARAÚJO et al., 2001). Recomenda-se que o sulco seja o menor possível, porém com tamanho suficiente para adequada cobertura, contato das sementes

com o solo e separação destas do fertilizante. Outro aspecto importante no plantio direto relativo ao ambiente das sementes, é a cobertura com palha do sulco de semeadura para evitar a perda de água do solo e o encrostamento superficial. O ideal seria que após a semeadura não fosse possível nenhum vestígio do sulco formado pela semeadora (SIQUEIRA et al., 2001).

Avaliando os benefícios que o plantio direto condiciona, Balbino et al. (1996) verificaram que esse sistema aumentou os níveis de nutrientes, aumentou a atividade de microorganismos, melhorou o aproveitamento do nitrogênio fixado, melhorou a infiltração de água, deu maior estabilidade aos agregados do solo, e principalmente aumentou a produtividade do feijoeiro. Porém a não movimentação do solo neste sistema provoca compactação da camada superficial, traduzida por aumento de densidade do solo e redução de porosidade (SIDIRAS et al., 1982, MARIA et al., 1999, CARVALHO, 2000, ALMEIDA, 2001). As diferenças, no entanto, são mais evidenciadas nas camadas próximas à superfície, diminuindo com a profundidade (CENTURION & DEMATTÊ, 1985).

Segundo Muzilli (1983), as razões para uma maior adoção do sistema de plantio direto são: controle da erosão, ganho de tempo para a semeadura, economia de combustível, melhor estabelecimento da cultura, maior retenção de água no solo, economia de mão de obra e em máquinas e implementos.

Além do manejo físico correto do solo, a adubação mais adequada e o manejo da água podem vir a favorecer a cultura promovendo resultados satisfatórios em termos de produtividade. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade da enzima NR sob diferentes condições de manejo de solo e água e doses crescentes de N.

## 2- REVISÃO DE LITERATURA

O nitrogênio é um dos maiores fatores limitantes para o crescimento das plantas, mas estas apresentam vários mecanismos para máxima eficiência de utilização do nutriente. Sistemas complexos de absorção, assimilação e mobilização evitam a perda do próprio nitrogênio bem como de energia. Estes sistemas complexos resultaram em uma progressiva adaptação para as condições ambientais de baixo suprimento de N. Embora o nitrogênio molecular corresponde a 78% na atmosfera, ele representa para as plantas uma situação de paradoxo, já que sua abundância na atmosfera não reflete em disponibilidade para as plantas pois em contraste a outras moléculas diatômicas como O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, ele não é quimicamente reativo em condições naturais, devido à grande estabilidade da molécula.

O nitrogênio está entre os elementos mais abundantes na natureza, sendo encontrada na litosfera, hidrosfera e na atmosfera, sendo esta última o maior reservatório de N. No solo apenas uma pequena fração de N da litosfera está disponível às plantas. A fonte de N para os vegetais é a atmosfera, onde aproximadamente 78% do gás atmosférico é constituído de gás N<sub>2</sub> mas apesar dessa imensa quantidade de N<sub>2</sub> atmosférico, a principal fonte de N às plantas não simbióticas é o solo. Embora seja pequena a quantidade de nitrogênio encontrada na massa seca das plantas (2-4%) comparadas ao carbono 40%, o N é um dos elementos indispensável, fazendo parte de numerosos compostos orgânicos de vital importância as plantas, tais como aminoácidos e ácidos nucléicos (MENGEL & KIRKBY., 1987).

Na maioria dos solos, cerca de 5% do N-total, está na forma mineral como nitrato e amônio, que são as formas absorvidas pelas plantas. A reserva de N no solo é principalmente orgânica, estando sujeita às transformações que determinarão as relações de equilíbrio entre N-orgânico e mineral, em função do comportamento do  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  como íons no solo e das necessidades de plantas e microorganismos (CERETTA & FRIES, 1998).

Para Caretta (1997), os níveis de N no solo são determinados basicamente pelo balanço entre a quantidade mineralizada, a partir da matéria orgânica e da decomposição de resíduos vegetais, da adição por fertilizantes e pelas perdas por lixiviação, volatilização e denitrificação.

Entre os indicadores de qualidade do solo, destaca-se o nitrogênio total por sua relação com a capacidade produtiva do solo, uma vez que o incremento no rendimento de culturas econômicas, quando cultivadas em sucessão a culturas de cobertura, tem sido principalmente atribuído ao aumento da disponibilidade de nitrogênio (TEIXEIRA et al., 1994).

As principais formas de N utilizadas pelas plantas são a nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) e a amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (PILBEAM & KIRBY, 1990). Nos solos, o amônio livre ou liberado de compostos aminados de materiais em decomposição pode sofrer ação de bactérias nitrificantes, sendo transformado em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Assim, na maioria dos solos, a principal forma de N é a nítrica, seguida da amoniacal. Ambas formas podem ser absorvidas pelas plantas em taxas e proporções dependentes da espécie, idade e disponibilidade de carboidratos (DEANNE-DRUMMOND, 1993). Ao contrário do nitrato, altos níveis de amônio são tóxicos para as plantas. O amônio dispersa o gradiente de prótons na transmembrana, que é necessário para o transporte de elétrons na fotossíntese, respiração, cadeia respiratória e para “captura” de metabólitos no vacúolo (TAIZ, 1991).

Novais & Smith (1999) comentaram sobre a predominância da forma amoniacal sobre a nítrica nos solos tropicais, devido ao bloqueio dos fatores predisponentes à nitrificação (atividade microbiana), como baixo pH e disponibilidade de água principalmente.

Taiz (1991) argumentou que as plantas evitam o efeito tóxico do amônio pela assimilação próximo aos sítios de absorção ou geração (assimilação do nitrato ou fotorrespiração), estocando rapidamente todo o excesso no vacúolo, e portanto, impedindo o efeito tóxico sobre a membrana e citosol.

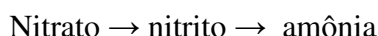
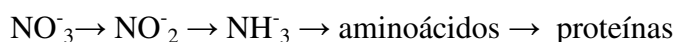
Fisher et al. (1994) propuseram que o principal fator de adaptação de plantas em solos de baixa fertilidade, especialmente de gramíneas tropicais, é o intenso desenvolvimento do sistema radicular, que pode ser observado pela magnitude de incorporação de carbono no solo, muitas vezes superior ao de outras culturas ou mesmo da mata nativa. Porém, para o nitrogênio, esta adaptação torna-se irrelevante, uma vez que o nutriente apresenta alta mobilidade no solo, sendo transportado até a raiz, primordialmente pelo mecanismo de fluxo de massa, onde a taxa de transpiração da planta passa a ser fator preponderante (NOVAIS & SMITH, 1999).

O N é absorvido pelas plantas nas formas de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e/ou de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sendo este último preferencial para grande parte das culturas (CRAWFORD, 1995). A absorção de  $\text{NO}_3^-$  estimula a absorção de cátions, enquanto a absorção de  $\text{NH}_4^+$  pode restringir a absorção de cátions, como por exemplo, o  $\text{Ca}^{2+}$  (HAVLIN et al., 1999).

A absorção de nitrato ocorre por processo ativo, contra um potencial eletroquímico, por meio de um sistema, com transporte simultâneo de  $\text{H}^+$  e  $\text{NO}_3^-$  para dentro das células. O transporte de  $\text{NO}_3^-$  ocorre através de uma força promotora que explica o aumento na velocidade de absorção de  $\text{NO}_3^-$  quando o pH da solução do solo decresce. Uma relação de  $2\text{H}^+ : 1 \text{NO}_3^-$  é observada para a absorção no sistema de membranas, sendo o custo energético para esta absorção de 2 mol de ATP para cada 1 mol de  $\text{NO}_3^-$  “capturado” pelas plantas (FERNANDES & ROSSIELLO, 1998).

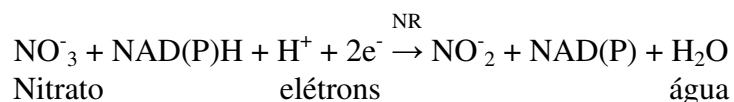
Quando absorvido na forma reduzida ( $\text{NH}_4^+$ ), pode ser incorporado diretamente nos compostos orgânicos. O N no interior das plantas encontra-se combinado ao carbono, hidrogênio e oxigênio e, algumas vezes, ao enxofre, como constituinte de aminoácidos, enzimas, ácidos nucléicos, clorofila, alcalóides e outros.

As plantas assimilam a maioria do nitrato absorvido por suas raízes em compostos orgânicos nitrogenados (OAKS, 1994), como se segue:



A primeira parte do processo consiste na redução do nitrato a nitrito, no citoplasma, pela enzima redutase do nitrato (RN) (Tischiner, 2000), conforme a seguinte reação:





onde NAD(P)H indica NADH ou NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzido). A forma mais comum de NR utiliza somente NADH como doador de elétrons. Outra forma da enzima, encontrada predominantemente em tecidos não-clorofilados, como raízes, pode usar tanto o NADH quanto o NADPH (WARNER & KLEINHOF, 1992).

Entre os fatores que regulam a NR nas plantas estão o nitrato, a luz, os carboidratos, que atuam em nível de transcrição e tradução (TAIZ & ZEIGER, 2004) e recentemente, conforme verificado por Kaiser & Huber (2001), por uma modulação pós-traducional.

A atuação da luz e dos carboidratos se dá pela estimulação da enzima fosfatase, que desfosforila vários resíduos de serina da proteína NR, promovendo a sua ativação.

O nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico (TAIZ & ZEIGER, 2004), desta forma 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. Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito a amônio.

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

Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para muitos outros compostos orgânicos através de diversas reações, incluindo as de transaminação. A interconversão entre a glutamina e a asparagina sintase equilibra o metabolismo do carbono e do nitrogênio em uma planta (CORUZZI & BUSH, 2001).

O local de redução do nitrato varia com a espécie e com sua taxa de absorção, podendo ser armazenado na raiz, transferido para as folhas e armazenado nos vacúolos, para posterior utilização, ou ser diretamente reduzido nas raízes ou folhas. Em espécies tropicais, a redução do nitrato ocorre de preferência na parte aérea, independente da concentração externa desse íon (NAMBIAR et al., 1988). Uma vez absorvido, em plantas C4 (milho), será reduzido a nitrito pela redutase do nitrato, localizada no citosol das células do mesófilo. O nitrito será reduzido a amônio pela redutase do nitrito nos cloroplastos ou

plastídeos de raízes (VAUGHN & CAMPBELL, 1988). Ao contrário da absorção do nitrato, o amônio está prontamente disponível para incorporação, sem necessidade de gastos energéticos para incorporação, fato que constitui uma adaptação já discutida anteriormente.

A redutase do nitrato (NR) catalisa o primeiro passo enzimático da assimilação de nitrogênio pelas plantas superiores por meio da redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (OAKS, 1994; YANEVA et al., 2000).

Essa enzima (NR) é uma flavoproteína formada por duas subunidades idênticas, com três grupos – FAD, heme e um complexo constituído entre o molibdênio (Mo) e uma molécula orgânica a pterina (MENDEL & STALLMEYER, 1995; CAMPBELL, 1999), razão porque é, também, denominada uma molibdopterina .

A seqüência de aminoácidos da NR polipeptídica foi identificada mediante a clonagem dessa enzima. Existem, atualmente, mais de 40 sequencias da NR que constitui as formas da enzima das plantas superiores, algas e fungos. Comparando as seqüências da NR com aquelas das proteínas e enzimas conhecidas, verifica-se que a NR possui, aproximadamente, 917 resíduos de aminoácidos em cada subunidade, cada um deles contendo todos os cofatores, similares à proteína arabisidopsis NIA2, tornando esta última um modelo representativo da NR (CAMPBELL, 1999).

A maioria das formas da enzima NR das plantas utiliza o agente redutor NADH produzido no citosol e não o redutor NADPH formado no cloroplasto (SOLOMONSON & BARBER, 1990). Entretanto, Crawford et al. (2000) afirmam que algumas formas dessa enzima (NR), com dupla especificidade, podem utilizar tanto o redutor NADPH quanto NADH.

A enzima NR está localizada, primariamente, no citossol das células corticais da epiderme da raiz e nas células mesofílicas da parte aérea (RUFTY et al., 1986; VAUGHN & CAMPBELL, 1988).

Segundo Galangau et al. (1988) e Vincentz et al. (1993) a atividade da enzima NR nas folhas e raízes pode ser induzida pela presença do substrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Havendo nitrato ocorre um estímulo à síntese de novo da referida enzima (HEWITT et al., 1976), enquanto que déficite hídrico moderado, da ordem de -0,8 MPa a -2,0 MPa, pode reduzir sua produção em 20%, chegando a 50% quando a planta sofre um estresse intenso (HISAO, 1976). Segundo Crocomo (1985), a menor atividade da redutase do nitrato em plantas sob

estresse hídrico se deve ao decréscimo no fluxo do substrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por falta de umidade, principal fator regulador da síntese dessa enzima.

O fluxo catalítico da NR ou a capacidade total de redução do nitrato pelas plantas depende; (i) da disponibilidade de substrato no citoplasma (concentração em estado de equilíbrio do NADPH e nitrato); (ii) do nível de NR funcional – quantidade de NR polipeptídica e da disponibilidade de cofatores e íons metálicos, FAD, heme, Fe, Mo-MPT (molibdênio-molibdoproteína) e molibdênio; (iii) da intensidade da atividade da NR funcional (CAMPBELL, 1999). Cada processo é regulado direta ou indiretamente e a capacidade de redução do nitrato é controlada em relação ao nível metabólico total da planta, por sensores e rotas de tradução de sinais.

A quantidade da glutamina livre e a sua proporção em relação ao glutamato disponível, assim como os teores de nitrato são, provavelmente, os metabólitos chaves que governam a capacidade de redução do nitrato na planta (SOLOMONSON & BARBER, 1990; CRAWFORD, 1995; SCHEIBLE et al., 1997). Em condições de baixo teor de glutamina e disponibilidade de nitrato, a intensidade da NR e a capacidade de redução do nitrogênio aumentam, enquanto que quantidades elevadas da glutamina diminuem a redução do nitrato e decresce a atividade da NR (feedback).

O teor de equilíbrio da NR é determinado pela taxa de sua degradação, assim como, pela taxa de síntese da mesma. A meia vida de uma proteína NR, recém sintetizada, é de poucas horas na célula e quando a quantidade de nitrato diminui o teor da NR é rapidamente reduzido (TAIZ & ZEIGER, 1998). Portanto, a planta não deve sofrer estresse hídrico nos trabalhos que avaliam a atividade dessa enzima, exceto quando a falta de água é uma das variáveis experimentais, pois afetaria os resultados da pesquisa.

A resposta das plantas à quantidade de nitrato depende de outros fatores, entre os quais o material genético e o ambiente como, por exemplo, a luz, os quais influenciam a NR, bem como outros componentes do metabolismo do nitrato (CAMPBELL, 1999).

Em plantas sob condições ótimas de crescimento, a capacidade de redução do nitrato é, aproximadamente, o dobro das necessidades da planta. A atividade da NR varia durante o dia, apresentando baixa atividade no escuro (STITT, 1987; SCHEIBLE et al., 1997). Para Kaiser & Huber (2001) em condições normais de ativação e na presença de luz a sua ação seria da ordem de 70% a 90%, reduzindo para 10% a 30% no escuro. Estes autores afirmam que a luz não é um sinal direto para a atividade dessa enzima (NR), pois

mesmo sob intensa e contínua luminosidade a NR é inativa quando falta CO<sub>2</sub>, indicando que a fotossíntese é requerida para sua ativação (NR).

Considerando a necessidade desse gás para a ação da enzima pode-se admitir, por hipótese, que as causas que afetam a entrada do CO<sub>2</sub>, como as aberturas estomáticas, variáveis com a capacidade da planta de manter a turgidez, afetaria a eficiência da NR.

Com base em experimentos efetuados com espinafre, excluindo o CO<sub>2</sub> da atmosfera circundante às folhas, verificou-se decréscimo da atividade da NR (KAISER & BRENDLE-BEHNISCH, 1991). Esta constatação indica que a redução do nitrato é sensível à resistência estomática, de maneira que em plantas com estômatos fechados, como acontece sob deficiência hídrica, para impedir a perda de água, sendo prejudicada a taxa fotossintética e a atividade da NR (KAISER & HUBER, 2001), provavelmente, os fotoassimilados exportados para fora do cloroplasto funcionam como sinalizadores capazes de ativar a NR.

Roth et al. (1996) examinando um mutante de milho deficiente em ribulose bifosfato carboxilase, que perdeu a capacidade de processar o ciclo de Calvin, obtiveram menor atividade da NR na presença de luz e também no escuro, dando suporte à hipótese de que a ativação da NR na presença de luz depende dos produtos desse ciclo. Entretanto, não está devidamente esclarecido quais são os componentes que estão envolvidos quando um sinal é transferido dos cloroplastos, onde a fotossíntese está ocorrendo, para dentro do citosol, local de ação da NR. Intermediários ou derivados do ciclo de Calvin como, por exemplo, açúcares ou açúcar fosfatado, são elos importantes (HUBER et al., 1996; PROVAN & LILLO, 1999). De acordo com Bachmann et al. (1995) a NR pode ser ativada no escuro por meio do fornecimento de açúcar às folhas. Além disso, a inativação dessa enzima (NR) no escuro foi atenuada em um mutante de *Nicotiana sylvestris* que não produz amido e acumula altos níveis de açúcar fosfato.

O sistema solo-planta-atmosfera, em condições reais de campo, é definido, classicamente, como um sistema biofísico aberto, onde isoladamente cada um dos três componentes congrega, em condições naturais, complexos fenômenos de modificações. Toda a reação, seja de natureza química, física ou biológica, ocorrem de uma forma dinâmica e equilibrada, quando à mercê da natureza. No entanto, quando sofrem a interferência do homem, verificam-se reações e modificações de alto significado, quer seja benéfico ou maléfico ao sistema (DANIEL, 1981).

Os sistemas de manejo do solo são classificados por Dallmeyer (2001) como intensivo (convencional com arado e grades), mínimo ou reduzido e plantio direto, sendo os dois últimos denominados também de manejos conservacionistas. No sistema de preparo reduzido, utilizam-se equipamentos de hastes, tais como escarificadores. Para Siqueira (1999), a mecanização agrícola é um importante componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural e no aumento da produtividade da mão-de-obra. No entanto, sua introdução maciça, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes tipos de solos pode ocasionar rápida e contínua degradação desse recurso natural.

O preparo do solo representa uma operação básica na agricultura, caracterizado por objetivos complexos e grande número de métodos, sendo que, em muitos casos as práticas de preparo são influenciadas mais pela tradição do que por um critério racional (GAMERO, 1989).

Para Lal (1991), o preparo do solo compreende um conjunto de técnicas que, usadas podem permitir altas produtividades das culturas a baixo custo. Irrracionalmente utilizadas, as técnicas de preparo do solo podem levar à destruição do mesmo.

O termo preparo conservacionista é usado para descrever uma variedade de práticas que promovem melhor proteção do solo (TALLBERG et al., 2001).

Segundo Levien (1999), na conceituação de preparo mínimo ou preparo reduzido no início dos anos 60, levava-se em conta apenas a redução da mobilização do solo e do tráfego de máquinas, mas com o passar dos anos, cada vez mais se deu importância aos resíduos culturais que permaneciam na superfície do solo. Nos anos 80, o preparo conservacionista foi definido como um sistema que proporcionasse, pelo menos, 30% de cobertura da superfície por resíduos culturais após a semeadura. Já nos anos 90, a consideração da declividade do terreno e do tipo de solo passou a definir preparo conservacionista como um sistema que deixava uma quantidade de resíduos sobre a superfície para protegê-lo da erosão durante todo o ano. Lombardi Neto (1994) relatou que a cobertura do solo atua exatamente no ponto inicial do processo erosivo, evitando distúrbios mais sérios na estrutura do solo, ou pela interferência no impacto das gotas de chuva sobre a superfície, ou pela redução da velocidade do escoamento superficial através de aumento da rugosidade do terreno e da presença de pequenos obstáculos formados pela cobertura vegetal.

De acordo com Benez (1972), o principal objetivo do “cultivo mínimo” é a mínima manipulação possível do solo para uma satisfatória semeadura ou plantio, germinação,

lotação, crescimento e produção de uma cultura. As mais freqüentes tentativas neste campo têm sido eliminar ou reduzir a severidade de algumas operações, assim como diminuir o tráfego do trator no solo cultivado.

No Brasil, a primeira referência ao cultivo mínimo, prática que preconizou o plantio direto, foi feita em dezembro de 1961, pelo Prof. Clibas Vieira e pelo pesquisador Russel D. Frazier (Acordo Purdue University – Brasil) (VIEIRA & FRAZIER, 1961). Os autores descreviam sobre o sistema baseado nas experiências norte-americanas, caracterizando-o como uma nova técnica de agricultura com a redução do número de passadas de trator, com a aração e plantio sendo realizadas numa só operação.

O termo plantio direto foi convencionado pela Federação de Associações de Plantio Direto na Palha que, apesar de a operação executada ser uma semeadura, a denominação do sistema como um todo seria Plantio Direto (DALLMEYER, 2001)

O plantio direto é um, sistema de manejo da produção agrícola onde a semeadura é realizada com o revolvimento mínimo do solo, preservando-se a cobertura vegetal de culturas anteriores sobre a superfície, sendo o sistema mais apropriado para a produção agrícola em clima tropical (ARAÚJO et al ., 2001). Recomenda-se que o sulco seja o menor possível, porém com tamanho suficiente para adequada cobertura, contato das sementes com o solo e separação destas do fertilizante. Outro aspecto importante no plantio direto relativo ao ambiente das sementes, é a cobertura com palha do sulco de semeadura para evitar a perda de água do solo e o encrostamento superficial. O ideal seria que após a semeadura não fosse possível nenhum vestígio do sulco formado pela semeadora (SIQUEIRA et al., 2001).

Segundo Hernani & Salton (1997), o sistema de plantio direto baseia-se em sistemas de rotação de culturas e caracteriza-se pelo cultivo em terreno coberto por palha em ausência de preparo do solo, por tempo indeterminado. Nesse sistema, utilizam-se semeadoras específicas para o corte da palha, abertura de pequeno sulco e deposição de sementes e adubos. Realizam-se controle químico das plantas daninhas e um conjunto de outras práticas conservacionistas, que permitem manter uma cobertura vegetal morta sobre o solo em quantidade e qualidade adequada para, enfim, melhorar a sustentabilidade de todo sistema.

Segundo Muzilli (1983), as razões para a acentuada adoção do sistema de plantio direto são: controle da erosão, ganho de tempo para a semeadura, economia de

combustível, melhor estabelecimento da cultura, maior retenção de água no solo, economia de mão de obra e em máquinas e implementos.

Avaliando os benefícios que o plantio direto condiciona, Balbino et al. (1996) verificaram que esse sistema aumentou os níveis de nutrientes, aumentou a atividade de microorganismos, melhorou o aproveitamento do nitrogênio fixado, melhorou a infiltração de água, deu maior estabilidade aos agregados do solo, e principalmente aumentou a produtividade do feijoeiro. Porém a não movimentação do solo neste sistema provoca compactação da camada superficial, traduzida por aumento de densidade do solo e redução de porosidade (SIDIRAS et al., 1982, MARIA et al., 1999, CARVALHO, 2000, ALMEIDA, 2001). As diferenças, no entanto, são mais evidenciadas nas camadas próximas à superfície, diminuindo com a profundidade (CENTURION & DEMATTÊ, 1985).

O aumento na compactação do solo devido ao uso continuado do sistema de plantio direto foi relatado por CASTRO (1989). Na maioria dos casos, estes autores registraram redução na macroporosidade e aumento da microporosidade do solo.

A maioria das pesquisas encontradas na literatura sobre manejo do solo e comportamento das culturas (principalmente, milho, soja, feijão e arroz) apresenta resultados variáveis, faltando informações sobre o sistema plantio direto e preparos do solo na produção de arroz de terras altas.

Kluthcouski et al. (2000) pesquisando manejo do solo com algumas culturas, dentre elas o arroz, constataram que na maioria das culturas, o menos adaptado ao sistema de plantio direto foi o arroz, sendo que as razões destes resultados ainda carecem de informações mais precisas. Os autores acima citados, afirmam que o arroz é uma gramínea bastante sensível à condição de arejamento e, por isso, responde ao aumento da macroporosidade que seria criado pelo tipo de manejo utilizado no preparo do solo.

Avaliando a compactação do solo na cultura do arroz, GUIMARÃES & MOREIRS (2001) obtiveram resultados demonstrando que o sistema radicular do arroz é muito sensível à compactação do solo, diminuindo seu crescimento com o aumento da densidade do solo.

Kluthcouski et al. (2000) relataram que a pouca adaptação do arroz ao sistema de plantio direto é, basicamente, devida ao adensamento do solo e redução na macroporosidade.

Segundo Seguy et al. (1989) a planta de arroz é a mais sensível às condições físicas, químicas e biológicas do perfil do solo em quaisquer que sejam as condições climáticas. Neste sentido, Seguy & Bouzinac (1992) obtiveram menores rendimentos no sistema de plantio direto e os maiores com a aração profunda. Menores rendimentos do arroz no sistema de plantio direto também foram registrados por Stone et al (1980), tais resultados divergem dos encontrados por Silveira et al (1997) onde o rendimento de grãos de arroz foi maior no sistema plantio direto. Associam a hipótese que a maior produtividade no sistema de plantio direto pode ser explicada pela não incorporação da palhada do arroz do cultivo anterior, portanto, diminuindo a autotoxidade. Por outro lado, Stone et al. (1980) obtiveram menores rendimentos de grãos de arroz de terras altas no sistema de plantio direto.

Arf et al. (2001) obtiveram maiores produtividades com preparo por arado de aiveca e escarificador, que pode ser explicado pelo revolvimento mais profundo do solo nesses sistemas de preparo, permitindo que as plantas obtivessem água em camadas mais profundas uma vez que houve veranico durante a fase de florescimento e início de enchimento de grãos.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A planta utilizada no trabalho foi o arroz, *Oryza sativa* L., cultivar IAC 202, cujas sementes foram cedidas pelo Prof. Dr. Orivaldo Arf, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimento e Sócio Economia, FE-UNESP, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP.

A cultivar IAC 202 apresenta como características principais: alturas médias de 87 cm, sendo considerada de porte baixo e intermediário, ótima resistência ao acamamento, ciclo médio de 87 dias, as panículas são do tipo intermediário, baixa incidência de manchas foliares, moderadamente suscetíveis a brusone, menor tolerância à toxidez de  $Al^{3+}$  e  $Fe^{2+}$  que os cultivares tradicionais, apresenta excelentes qualidades culinárias para o padrão do consumidor brasileiro, ótimo rendimento de grãos inteiros no beneficiamento e devido sua arquitetura recomenda-se a semeadura em espaçamentos menores que aqueles usados com os cultivos tradicionais e densidade em torno de 200 sementes/metro quadrado.

O solo utilizado foi retirado da camada superficial (aproximadamente 20 cm) de um Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 1999) na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP, sob dois sistemas de cultivo, Plantio Direto (PD) e Cultivo Mínimo (CM). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizadas análises químicas, segundo metodologia proposta por Raij & Quaggio (1983), cujos resultados estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise de fertilidade do solo da área experimental na camada de 0 a 0,2m. Ilha Solteira (SP), 2005.

	Fósforo P resina	Matéria Orgânica M.O.	Índice de Acidez pH CaCl <sub>2</sub>	Potássio K	Cálcio Ca	Magnésio Mg	Acidez Potencial H+Al	Alumínio Al	Soma de Bases SB	CT C	Saturação por bases
	----mg/dm <sup>3</sup> ----		-----mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----								%
PD	32	29	5,7	5,1	35	2	25	0	42,1	67,1	63
CM	17	18	5,4	3,7	17	14	25	0	34,7	59,7	58

Análise realizada pelo laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP.

As plantas de arroz foram cultivadas em vasos com capacidade de 12 litros, com 25 cm de diâmetro, com área de 490 cm<sup>2</sup>, o que possibilitou o crescimento de cerca de 10 plantas por vaso.

Na semeadura utilizou-se adubação básica NPK, dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula: 08-28-16 e adubação de cobertura 25 dias após a semeadura (DAS) na forma de uréia, nas doses: 0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A combinação entre dois tipos de manejo de solo (PD e CM), dois sistemas de irrigação (Irrigado e Não Irrigado) e seis doses de nitrogênio em cobertura (0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg de N ha<sup>-1</sup>), que resultou em 24 tratamentos, distribuídos em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Plantas submetidas ao tratamento não irrigado, tiveram a irrigação suspensa logo após a emergência das plântulas.

A determinação da atividade da enzima Redutase do Nitrato (NR) foi realizada a partir de 34 dias após a semeadura, em intervalos de sete dias até 48 DAS, sempre na primeira folha expandida, contada a partir do ápice.

Para a determinação da NR coletaram-se folhas, as quais foram cortadas em pedaços de aproximadamente 5x5 mm. Separou-se 0,2 g, que foram colocadas em tubo contendo 3 mL de solução tampão fosfato (0,1 M), pH 7,5, contendo KNO<sub>3</sub> (0,1 M).

As amostras preparadas em tubos foram infiltradas a vácuo por 2 minutos, por três vezes, com a finalidade de aumentar a penetração da solução nos tecidos. Após infiltração a vácuo os tubos contendo as amostras foram incubados em banho-maria a 32°C por 30 minutos, quando foi retirada uma alíquota de 0,2 mL e transferida para o tubo de reação para a determinação de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> formado. O tubo de reação foi preparado com 1,8 mL de água

destilada, e 2,0 mL da solução v:v de sulfanilamida em HCl N e n-naftil, mantidos em temperatura ambiente.

A leitura foi feita em espectrofotômetro a 540 nm, sendo a atividade da enzima determinada pela quantidade de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) produzida por grama de tecido de folha fresca por hora.

Para o cálculo da concentração de  $\text{NO}_2^-$  formado foi utilizada a seguinte equação:

$$\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ ff}^{-1} = [ (\text{DO} \times \text{V}) / \text{alíquota} ] \times 0,1$$

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 2 constam os valores dos quadrados médios referente à atividade da enzima Redutase do Nitrato (NR) nas três avaliações realizadas, 34, 41 e 48 dias após a semeadura (DAS). Para o fator manejo do solo (MS), os resultados foram altamente significativos ( $p > 0,01$ ), em todas as avaliações estudadas. Para o fator doses de nitrogênio foram verificados efeitos significativos a 1% de probabilidade nas avaliações aos 41 e 48 DAS. Entre as interações de fatores estudadas, a interação MS\*MA, resultou em valores significativos nas duas últimas avaliações, 41 e 48 DAS. Tanto a interação MS\*N e MA\*N apresentou significância a 1% de probabilidade para todas as épocas de avaliações. Os valores dos coeficientes de variação dos resultados experimentais foram entre 10,4% e 23,1%, observados nas avaliações aos 41 e 34 DAS, respectivamente.

Tabela 2 - Quadrados médios da análise de variância e níveis de significância para atividade média da enzima Redutase do Nitrato, em folhas de arroz, cultivar IAC 202, cultivadas em vaso em ambiente sem proteção, no Departamento de Biologia e Zootecnia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira (SP), 2005.

Causas de variação	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS		
		34 DAS	41 DAS	48 DAS
<b>Manejo solo (MS)</b>	1	20,2125275 **	37,5625445 **	31,5218785 **
<b>Manejo Água (MA)</b>	1	17,4165860 **	12,8261436 **	34,9812758 **
<b>Doses de Nitrog (N)</b>	5	0,5254339 <sup>NS</sup>	3,0047717 **	3,7010432 **
<b>(MS) * (MA) * (N)</b>	5	-	-	-
<b>(MS) * (MA)</b>	5	0,4746071 <sup>NS</sup>	0,5750348 **	6,1458775 **
<b>(MS) * (N)</b>	5	3,1123686 **	3,0624702 **	1,7443539 **
<b>(MA) * (N)</b>	5	4,3105864 **	0,5074201 **	3,2488481 **
<b>Resíduo</b>	72	0,2675579	0,0454473	0,1197621
<b>TOTAL</b>	95			
<b>Coef. Variação</b>		23,14	10,38	15,37

<sup>NS</sup> - não significativo

\* - significativo (P<0,05)

\*\* - significativo (P<0,01)

Na Tabela 3 são apresentadas as médias da atividade da enzima redutase do nitrato (NRA) em função dos manejos de solo e água. Verificou-se que somente houve interação significativa entre esses dois fatores para as avaliações aos 41 e 48 DAS. Nas avaliações aos 34, 41 e 48 DAS a atividade da NR foi maior em folhas das plantas cultivadas em solo oriundo de plantio direto, tanto nos tratamentos que receberam irrigação periódica como nos tratamentos de sequeiro. Pode-se observar também, que até 41 DAS, os valores de NRA foram maiores no tratamento irrigado, nas duas condições de manejo de solo. Porém aos 48 DAS a atividade da NR mostrou-se maior em plantas sob manejo não irrigado, tanto em condições de cultivo PD como CM (Tabela 3).

Tabela 3 - Atividade média da enzima Redutase do Nitrato ( $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função dos manejos do solo e água, Departamento de Biologia e Zootecnia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira (SP), 2005.

	34 DAS			41 DAS			48 DAS		
	NIR	IR	Média	NIR	IR	Média	NIR	IR	Média
P.Direto	2,34 aA	3,05 aA	2,69 a	2,23 aB	3,12 aA	2,67 a	3,68 aA	1,97 aB	2,82 a
C.Mínimo	1,28 aA	2,27 aA	1,78 b	1,14 bB	1,71 bA	1,13 b	2,03 bA	1,33 bB	1,69 b
Média	1,81 B	2,66 A	-	1,69 B	2,41 A	-	2,85 A	1,65 B	-

NIR = Não irrigado; IR = Irrigado

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas (manejo de água) e minúsculas nas linhas (manejo de solo) não diferem entre si a nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da atividade da redutase do nitrato em função do manejo do solo e doses de nitrogênio.

Aos 34 DAS observa-se maior atividade da enzima NR, independente da dose de N empregada nas plantas em solo oriundo de área em sistema de plantio direto, exceto sob a dose de 125, na qual a maior NRA ocorreu em plantas sob cultivo mínimo. Aos 41 e 48 DAS, independente da dose de N, a maior atividade da NR foi verificada em plantas cultivadas sob plantio direto e a maior atividade na dose 100 aos 41 DAS e na dose 125 aos 48 DAS.

Na Tabela 5 são apresentados a NRA sob diferentes doses de N e manejo de água. Os dados permitem verificar que em condições de irrigação a NRA foram maiores aos 34 e 41 DAS, em todas as doses de N, exceto na dose 50 aos 34 DAS.

Já aos 48 DAS, a atividade da NR verificada foi maior nas plantas não irrigadas, exceto na dose 50, devido a precipitação ocorrida entre os dias 18 e 23 de maio de 2005 (24 mm, conforme registro da Estação Meteorológica da UNESP) provavelmente disponibilizou N no solo, e foi absorvido pelas plantas (Tabela 5).

Tabela 4 - Atividade média da NR ( $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função dos manejos do solo e doses de nitrogênio, em quatro períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005.

Doses de N (kg/ha)	34 DAS		41 DAS		48 DAS	
	PD	CM	PD	CM	PD	CM
<b>0</b>	3,01 a	2,06 b	2,33 a	1,13 b	1,52 a	1,53 a
<b>25</b>	2,77 a	1,56 b	1,86 a	1,27 b	2,82 a	1,90 b
<b>50</b>	3,16 a	1,19 b	2,63 a	1,85 b	2,48 a	1,12 b
<b>75</b>	2,56 a	1,65 b	2,66 a	1,85 b	3,16 a	2,00 b
<b>100</b>	2,65 a	1,48 b	4,20 a	2,33 b	3,29 a	1,74 b
<b>125</b>	2,02 b	2,72 a	2,38 a	1,68 b	3,69 a	1,78 b

PD = Plantio Direto; CM = Cultivo mínimo.

Médias seguidas por letras iguais nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Figura 01 estão apresentadas as curvas e respectivas equações de regressão da atividade da enzima NR em função das doses de nitrogênio utilizadas na adubação. Aos 34 DAS a atividade da NR decresceu linearmente com o aumento das doses de N nas plantas cultivadas em solo sob sistema de plantio direto, sugerindo que neste sistema de cultivo, a adubação nitrogenada tem pouco efeito sobre a atividade da enzima, ao mesmo tempo, mostrando ineficiência de disponibilização do nutriente neste intervalo de tempo. Pode-se observar ainda, aos 34 DAS, que nas plantas sob cultivo mínimo o ajuste da regressão foi quadrática, com ponto de mínimo e máximo nas doses de 50 e 125 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mostrando aumento da eficiência com a dose crescente de N.

Tabela 5 - Atividade da enzima NR ( $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{g}^{-1} \text{ff}^{-1}$ ) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e doses de nitrogênio, em quatro avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005.

Doses de N (kg/ha)	34 DAS		41 DAS		48 DAS	
	NIR	IR	NIR	IR	NIR	IR
0	1,26 b	3,81 a	1,13 b	2,43 a	1,71 a	1,34 b
25	2,08 a	2,25 a	1,27 b	1,74 a	3,07 a	1,64 b
50	2,41 a	1,94 a	1,85 b	2,77 a	1,71 a	1,89 a
75	1,82 b	2,39 a	1,85 b	2,54 a	3,51 a	1,65 b
100	1,42 b	2,70 a	2,33 b	3,08 a	3,38 a	1,65 b
125	1,86 b	2,88 a	1,68 b	1,96 a	3,75 a	1,72 b

NIR = Não irrigado; IR = Irrigado.

Médias seguidas por letras iguais nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Aos 41 DAS os dados da atividade da NR se ajustaram à curva de regressão cúbica para plantas cultivadas sob solo oriundo de plantio direto com ponto de máxima eficiência da enzima na dose de  $100 \text{kg ha}^{-1}$  enquanto que no cultivo mínimo a resposta da enzima avaliada ajustou-se à curva de regressão quadrática, com ponto de máximo também na dose de  $100 \text{kg ha}^{-1}$ .

A análise dos dados obtidos aos 48 DAS, sob condições de plantio direto, mostram que a atividade da NR cresceu linearmente com o aumento das doses de nitrogênio e sob solo do sistema de CM não houve diferença na atividade da enzima nas diferentes doses de N.



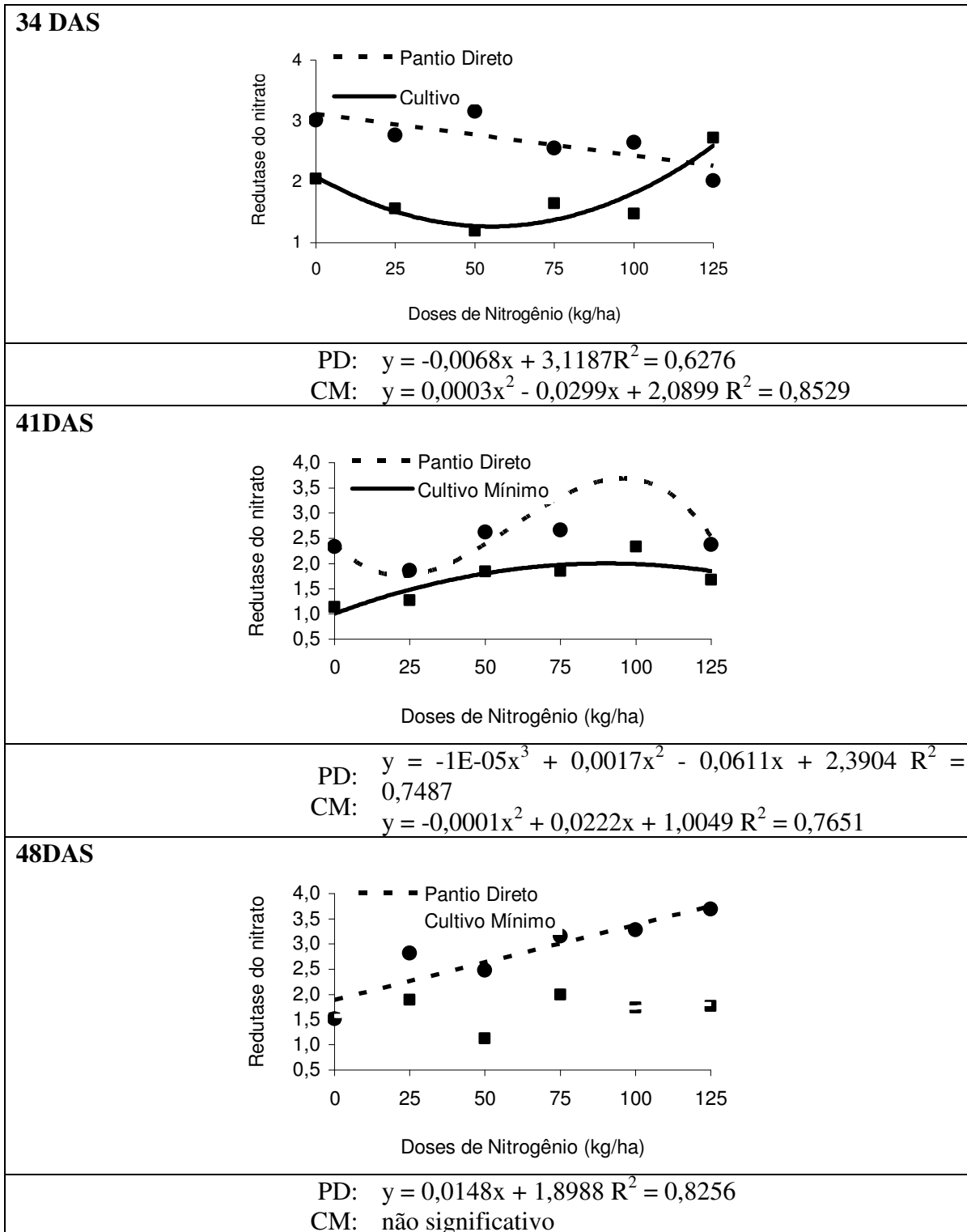


Figura 01 - Atividade da enzima redutase do nitrato em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de solo e doses de nitrogênio, em três períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005.

Na Figura 2 observa-se que aos 34 DAS, sob cultivo não irrigado a resposta da NR não ficou bem definida com o aumento das doses de nitrogênio; entretanto, no cultivo irrigado, os dados se ajustaram em regressão quadrática com ponto de mínimo entre as doses de 50 e 75 kg/ha de N. A atividade da NR, considerando plantas cultivadas sem irrigação aos 41 DAS, ajustou-se a uma regressão quadrática com ponto de máxima entre as doses de 75 e 100kg/ha de N, já para plantas irrigadas a resposta foi cúbica, com ponto de máxima também entre 75 e 100kg/ha de N. Aos 48 DAS a atividade da NR somente se ajustou a uma curva de regressão nas plantas cultivadas sem irrigação, ajuste este linear crescente, ou seja, aumento da atividade da enzima NR com o aumento da dose de N utilizada na adubação.

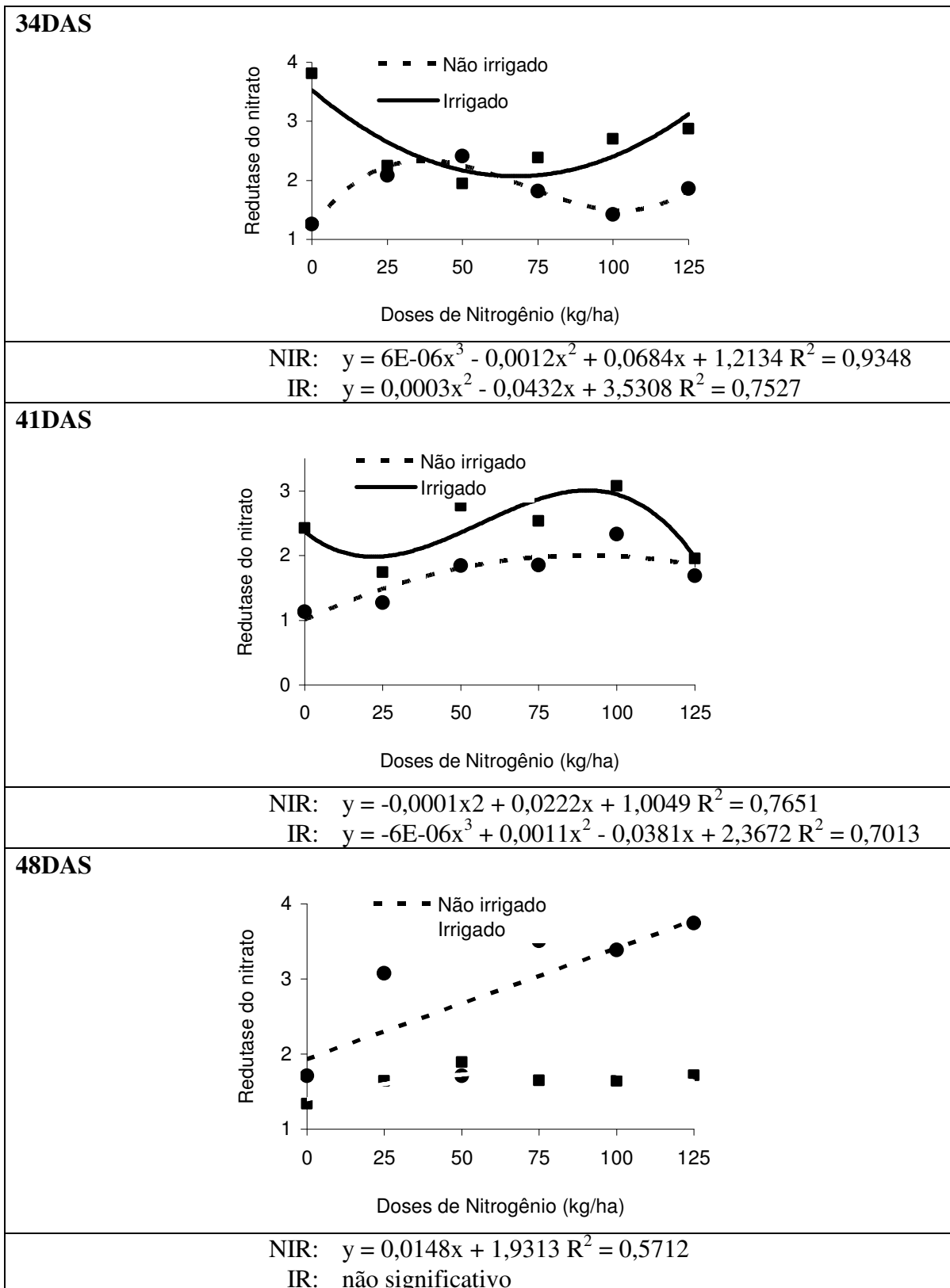


Figura 02 - Atividade da enzima redutase do nitrato em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e doses de nitrogênio, em três períodos de avaliações. Ilha Solteira (SP), 2005.

A análise dos resultados da atividade da enzima NR em função dos manejos de solo e água, permitiu verificar que ocorreu incremento na atividade desta enzima quando o solo é procedente de uma área de plantio direto independente do manejo de água, indicando disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$  no solo do sistema de PD, pois segundo Galangau et al. (1988) e Vicentz et al. (1993) a enzima é ativada pela presença do substrato. De acordo com a Tabela 1 verificou-se que solo procedente de sistema de plantio direto apresenta maior taxa de matéria orgânica favorecendo assim a atividade da enzima e mostrando ainda que a matéria orgânica é o principal componente para melhorar a qualidade do solo.

Resultados de produção de Arf et al. (2001) e de Stone et al. (1980) não mostraram relação com a atividade da NR obtida em plantas cultivadas em condições de PD, porém ao contrário os resultados de produção de Silveira et al. (1997) foram melhores neste sistema de plantio. Estes resultados contraditórios sugerem que a atividade da NR pode não ter relação com a produção de grãos.

Embora outro fator limitante da atividade da NR seja a disponibilidade de água não foi observada diferença com relação ao manejo de água (Tabela 2), mostrando que a disponibilidade do  $\text{NO}_3^-$  não dependeu da disponibilidade de água neste caso, embora os valores da atividade da NR sob irrigação tenham sido sempre maiores que o não irrigado, uma vez que, no período que poderíamos observar a influência deste fator, houve precipitação de aproximadamente 24 mm, o que pode também ter disponibilizado  $\text{NO}_3^-$ , tornando os resultados obtidos muito próximos. Uma vez que a deficiência hídrica pode reduzir a produção da enzima NR (HISAO, 1979) e, ainda, segundo Crocomo (1985), a menor atividade da NR em plantas sob estresse hídrico deve-se ao decréscimo no fluxo do substrato  $\text{NO}_3^-$  por falta de umidade, principal fator regulador da síntese dessa enzima. O que explica o fato de aos 48 DAS a atividade ter sido maior que o sistema irrigado.

Em condições de PD a melhor dose de N para maior valor de atividade da NR foi em torno de 100kg/ha em todas as avaliações, o que sugere que a disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$  influencia na atividade ou síntese da enzima conforme GALANGAU et al. (1980) e VINCENTZ et al. (1993).

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a maior atividade da enzima está relacionada com a disponibilidade de água e ao tipo de manejo de solo (plantio direto).

## 5. CONCLUSÕES

- i. A maior atividade da enzima esta relacionada a disponibilidade de água, nitrato e manejo de solo.
- ii. Em solo proveniente de plantio direto a dose de nitrogênio que favoreceu a maior atividade da NR foi em torno de 100 kg/ha.
- iii. Plantas sob recuperação de estresse hídrico apresentam alta atividade enzimática.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V.P. **Sucessão de culturas em prepare convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado**. Ilha Solteira, 2001. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ARAÚJO, A.G., CASÃO JÚNIOR, R., SIQUEIRA, R. Macanização do plantio direto: problemas e soluções. **Ins. Agron. Paraná**, n.137, 18p, 2001.

ARF, O. et al. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao preparo do solo e á irrigação por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p.871-9, 2001.

BACHMANN, M.; MCMICHAEL, R.N.; HUBER, J.L. ET AL. Partial purification and characterization of a calcium – dependent protein kinase and inhibitor protein required for the activation of spinach leaf nitrate reductase . **Plant Physiology**, v. 108, p.1083-1091, 1995.

BALBINO, L.C.; MOREIRA, J.A.A.; OLIVEIRA, E.F.; OLIVEIRA, I.P. Plantio direto. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.301-352.

BENEZ, S.H. **Estudo do cultivo mínimo na cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo Podzólico Vermelho Amarelo var. Laras**. Piracicaba, 1972. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) - /escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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

CARVALHO, M.A.C. **Adubação verde e sucessão das culturas na semeadura direta e convencional em Selvíria-MS**. Jaboticabal, 2000. 189p. (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

CASTRO, O.M. Compactação do solo em plantio direto. In: Fancelli, A.L. (coord) **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: FEAL/ESALQ, 1989, p.129-139.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.263-66, 1985.

CERETTA, C,A. & FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N,J., (Ed). **Conceitos fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, p.111-20, 1998.



CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D.. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria, RS, UFSM/ Departamento de Solos, p. 47-75, 1997.

CHAPIN, F.S. III. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.11, p.233-260, 1980.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C. & GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.187-193, 1991.

CORUZZI, G.; BUSH, D.R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants. **Plant Physiology**, v.125, p.61-64, 2001.

COSTA, E.M. Efeito do alumínio, nitrato e amônio sobre a nutrição nitrogenada em *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). Viçosa: UFV, 1986, 50p.

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

CRAWFORD, N.M.; GLASS, A.D.M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends in Plant Science Reviews**, v.3, p.389-395, 1998.

CRAWFORD, N.M.; KAHN, M.L.; LEUSTEK, T. ET AL. Nitrogen and sulfur In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R (d). **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. Cap. 16, p. 786-849.

CROCOMO, O.J. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: FERRI, M.G. (Ed). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU, 1985. p. 181-209.

DALLMEYER, A.U. Opções na semeadura. **Cultivar Máquinas**, v.1, n.2, p.6-9, 2001.

DANIEL, L.A. **Análise do comportamento da cultura do milho (*Zea mays* L.) em rotação com soja (*Glycine Max* L. Merrill) cultivadas através de sistema de “plantio direto” e “convencional” em diferentes épocas do ano, com e sem irrigação**. Jaboticabal. 1981. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Produção Vegetal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

DEANNE-DRUMMOND, C.E.; GLASS, A.D.M. Short-term studies of Nitrate Uptake into Barley Plants using Íon-Specific Eletrodes and  $^{36}\text{Cl}_3$ . II. Regulation of  $\text{NO}_3^-$  Efflux by  $\text{NH}_4^+$ . **Plant Physiol.**, 73:105-110, 1993.

DELÚ-FILHO, D.N. et al. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira ( *Hevea brasiliensis* Muell. Arg): Otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. **Revista Árvore**, Voçosa. V.21, p.519-570, 1998.

FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. **Mineral Nitrogen in Plant Physiology and Plant Nutrition**. In: Critical Reviews in Plant Sciences, v.14, p. 835-841, 1998.

FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; LASCANO, C.E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. & VERA, R.R. Carbon Storage by Introduced Deep-Rooted Grasses in the South American Savannas, *Nature*, 371:236-238, 1994.

GALANGAU, F.; DANIEL-VEDELE, F.; MOUREAUX, T. ET AL. Expression of leaf nitrate reductase gene from tomato and tobacco in relation to light/dark regimes and nitrate supply. **Plant Physiology**, v. 88, p. 383-388, 1988.

GAMERO, C.A. Desagregação do solo em diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18, 1989, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989. v.1, p. 254-67.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.703-7, 2001.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499p.

HERNANI, L.C., SALTON, J.C. Manejo e conservação do solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Milho: Informações técnicas. Dourados, 1997. Cap.2. p.39-67, (**Circular técnica,5**).

HEWITT, E.J.; HUCKLESBY, D.P.; NORTON, B. A. Nitrate metabolism. In: BONNER, J.; VARNER, J.E., (Ed). **Plant Biochemistry**. New York: Academic Press, 1976. v.20, p.633-681.

HISAO, T. C. Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p. 59-84. 1979.

HUBER, S.C.; BACHMANN, M.; HUBER, J.L. Post-translational regulation of nitrate reductase activity: a role for  $Ca^{2+}$  and 14-3-3 proteins. **Trends in Plant Science**, v.1, p. 432-438, 1996.

KAISER, W.M.; BRENDLE-BEHNISCH, E. Rapid modulation in vivo by  $CO_2$  availability. **Plant Physiology**, v.96, p.363-367, 1991.

KAISER, W.M.; HUBER, S.C. Pos-translation regulation of nitrate reductase: mechanism, physiological relevance and environmental triggers. **Journal of Experimental Botany**, v.52, p. 1981-1989, 2001.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1 p.97-104, 2000.

LAL, R. Tillage and agricultural sustainability. **Soil & Tillage Res.**, v.20, p.133-46, 1991.

LEVIEN, R., MARQUES, J.P., BENEZ, S.H. Desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em semeadura de milho (*Zea mays* L.), sob diferentes formas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. **Trabalhos publicados...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. (Arquivo MAA 099, editado em CD-ROM).

LOMBARDI NETO, F. In; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.111-9.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS. H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.703-709, 1999.

MEGURO, N.E.; MAGALHÃES, A.C. Atividade da reductase do nitrato em cultivares de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, São Paulo, Brasília, v.17, p.249-257, 1982.

MENDEL, R.R.; STALLMEYER, B. Molybdenum cofactor (nitrate reductase) biosynthesis in plants: First molecular analysis. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON

PLANT TISSUE AND CELL CULTURE, 8., Florence, 1994. **Current plant science and biotechnology:proceedings**. Kluwer, Dordrecht: Netherlands, 1995. p.577-582.

MENGEL, K & KIRKBY, A.E. **Principles of plant nutrition**. International potash Institute Bern, Switzerland, cap 7, 1987.

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**. v.7, n.1, p.95-102, 1983.

NAMBIAR, P.T.C.; REGO,T.J.; RAO, B.S. Nitrate Concentration and Nitrate Reductase Activity in the Leaves of Three Legumes and Three Cereals. *Ann. Appl. Biol.*, 112:547-553, 1988.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Aplicação Localizada de Fertilizante Fosfatado: In Fósforo em Solo e Planta em Condições Tropicais, 1999. p.272-285.

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

PATE, T.S. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology**, v.31, p. 313-340, 1980.

PROVAN, F.; LILLO, C. Photosynthetic post translational activation of nitrate reductase. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, p. 605-609, 1999.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise do solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

ROTH, R., HALL, L.N.; BRUTNELL, T. P. et al. Bundle sheath defective, a mutation that disrupts the coordinated development of bundle sheath and mesophyll cells in maize leaf.

**The Plant Cell**, v. 8, p. 915-927, 1996.

RUFTY, B.; THOMAS, J.E.; REMMLER, J.L. et al. Intracellular localization of nitrate reductase in roots. **Plant Physiology**, v. 82, p. 675-680, 1986.

SCHEIBLE, W.R.; GONZÁLES-FONTES, A.; LAUERER, M. et al. Nitrate acts as a signal to introduce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. **The Plant Cell**, v.9, p. 783-798, 1997.

SEGUY et al. Perspectiva de fixação da agricultura na região Centro-Norte do Mato Grosso. **Mato Grosso: EMPA – MT/EMBRAPA,CNPAF/CIRARD-IRAT**, 1989, 52p.

SEGUY, L.; BOUZINAC, S. Arroz de sequeiro na fazenda Progresso 4550Kg/ha. Piracicaba:Potafós, 1992. 3p. (**Informações Agronômicas**, 58).

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and water conservation and the yields of soybean and wheat on na oxisol. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 9, 1982, Osijek. **Conference...**Osijek: S.I., 1982. p.537-544.

SILVEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S. Microbiologia do solo e a sustentabilidade agrícola: enfoque em fertilidade do solo e nutrição vegetal. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 12, 1996, Manaus. **Palestras...** Manaus: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1996. p.1-43.

SIQUEIRA, R., ARAÚJO, A.G., CASÃO JUNIOR, R., RALISCH, R. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. (Arquivo CONBEA 233, editado em CD-ROM).

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

SOUZA, Z. M. **Propriedades Físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria-MS., solos diferentes: usos e manejos.** Ilha Solteira, 2000. 127 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

STITT, M. Fructose-2, 6-biphosphate and carbohydrate metabolism. **Plant Physiology**, v,84, p. 202-204, 1987.

STONE et al. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água do solo e no rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p.63-8, 1980.

TAIZ, L & ZEIGER, E. **Plant Physiology**, Redwood City, California. The Benjamin/Cummiings Publising Company, 1991. 559p.

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

TALLBERG, J.N., ZIEBARTH, P.J., LI, Y. Tillage and traffic effects on runoff. **Aust. J. Soil Res.**, v.39, p.249-57, 2001.

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

VAUGHN, K.C.; CAMPBELL, W.H. Immunogold localization of nitrate reductase in maize leaves. **Plant Physiology**, v. 88, p. 1354-1357, 1988.

VIEIRA, C., FRAZIER, R.D. **Cultivo mínimo**: nova técnica de agricultura tratorizada. *Rev. Ceres*, v.11, n.65, p.240-6, 1961.

VINCENTZ, M.; MOUREAUX, T.; LEYDECKER, M.T. et al. Regulation of nitrate and nitrite reductase expression in *Nicotiana plumbaginifolia* leaves by nitrogen and carbon metabolites. **The Plant Journal**, v.3, p.313-324, 1993.

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

YANEVA, I. A.; BAYDANOVA, V. D.; VUNKOVA-RADEVA, R. V. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, v.157, p. 495-501, 2000.