

GUSTAVO DE MELO OLIVEIRA GONÇALVES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE VÁRZEA TROPICAL
CULTIVADO COM ARROZ IRRIGADO EM RAZÃO DO MANEJO
DO NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador (a):
Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil

Co-orientador (a):
Dr^a. Mellissa Ananias Soler da Silva

Goiânia, GO – Brasil
2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

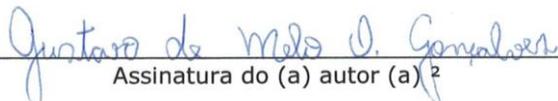
Nome completo do autor: Gustavo de Melo Oliveira Gonçalves

Título do trabalho: Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo do nitrogênio

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a)²

Data: 20 / 01 / 2017

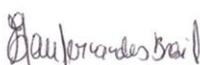
¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

GUSTAVO DE MELO OLIVEIRA GONÇALVES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE VÁRZEA TROPICAL
CULTIVADO COM ARROZ IRRIGADO EM RAZÃO DO MANEJO
DO NITROGÊNIO**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 29 de julho de 2016, pela Banca Examinadora constituída pelos membros.


Prof.^a Dr.^a Eliana Paula Fernandes Brasil
Presidente da Banca – EA/UFMG


Dr.^a Mellissa Ananias Soler da Silva
Membro – Embrapa


Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Membro - EA/UFMG


Dr. Alberto Baêta dos Santos
Membro - Embrapa

Goiânia, Goiás
Brasil

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

de Melo Oliveira Gonçalves, Gustavo

Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo de nitrogênio [manuscrito] / Gustavo de Melo Oliveira Gonçalves. - 2016.

62 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Eliana Paula Fernandes Brasil; co orientadora Dra. Mellissa Ananias Soler da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2016.

Bibliografia.

Inclui siglas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Potencial redox. 2. Oryza sativa. 3. Alterações químicas. 4. Química do solo. 5. Uso eficiente de nitrogênio.. I. Paula Fernandes Brasil, Eliana , orient. II. Título.

CDU 631.4



ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE GUSTAVO DE MELO OLIVEIRA GONÇALVES - Aos vinte e nove dias do mês de julho do ano de dois mil e dezesseis (29.07.2016), às 08h30min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof.^a Dr.^a Eliana Paula Fernandes Brasil - Orientadora/Presidente, Dr.^a Mellissa Ananias Soler da Silva, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro e Dr. Alberto Baêta dos Santos, para, em sessão pública realizada no Auditório do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da EA/UFV, procederem à avaliação da defesa de Dissertação intitulada: **“Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo de nitrogênio”**, de autoria de **Gustavo de Melo Oliveira Gonçalves**, discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na Área de Concentração **Solo e Água**, em nível de **Mestrado**, da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof.^a Dr.^a Eliana Paula Fernandes Brasil, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 40 minutos, apresentou o seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o candidato, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com o art. 60 da Resolução nº 1403/2016, do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta os Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás, a Dissertação foi considerada Aprovada pela Banca Examinadora, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM AGRONOMIA**, na área de concentração **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. O mestrando terá até trinta (30) dias para entregar uma versão finalizada da dissertação, incorporando as sugestões feitas pelos examinadores durante a defesa, para os devidos fins. A Coordenação do Programa solicitará à PRPG a emissão do diploma de Mestre, em um prazo máximo de quarenta e cinco (45) dias após a defesa (art. 62). Cumpridas as formalidades de pauta, às 11 h 35 min, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação e, para constar, eu, Marcos Linhares Goes, lavrei a presente Ata que, depois de lida e aprovada, segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

Prof.^a Dr.^a Eliana Paula Fernandes Brasil
Presidente da Banca – EA/UFV

Dr.^a Mellissa Ananias Soler da Silva
Membro – Embrapa

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Membro - EA/UFV

Dr. Alberto Baêta dos Santos
Membro - Embrapa

Ao meu Deus pelo amor inesgotável em todos os momentos da minha vida...

Aos meus pais, Ailton e Lívia, e minha irmã Gabriela pelo amor incondicional e cotidiano, e por serem exemplos em minha vida...

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre guiar meus passos e me conceder a vida, saúde, sabedoria, dignidade, humildade e coragem para enfrentar e superar todas as dificuldades ao longo dessa caminhada para a realização deste sonho.

A Meus pais Ailton Gonçalves e Lívia de Melo Oliveira Gonçalves pelo lar, a criação, apoio e pelo fato de terem depositado total confiança em mim, contribuindo em tudo que fosse preciso e sempre torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus familiares pelo incentivo e motivação, em especial minha amada irmã Gabriela de Melo Oliveira Gonçalves.

A todos os meus amigos que contribuíram muito para a minha formação, em especial a Yoná, Fenelon e o Marcos Paulo, que sempre mostraram disponibilidade, interesse e prontidão em me ajudar quando precisei.

A Universidade Federal de Goiás, seus funcionários e todos os seus professores pela contribuição, ensinamentos e a oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Embrapa Arroz e Feijão e seus funcionários pelo suporte e apoio para a execução e desenvolvimento desta pesquisa.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil e minha co-orientadora Dr^a. Mellissa Ananias Soler da Silva, duas pessoas maravilhosas que não pouparam esforços para me ajudar durante esse período, orientando, transmitindo conhecimentos, e assim me ensinando e me fazendo crescer.

A empresa Agrícola Ceres e meus companheiros de trabalho pela compreensão nos momentos que precisei estar ausente e por confiar e apostar em mim como profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão deste mestrado, meu muito OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 CULTURA DO ARROZ.....	13
2.2 NITROGÊNIO ARROZ.....	14
2.3 CICLO DO NITROGÊNIO.....	15
2.5 ALTERAÇÕES COM A INUNDAÇÃO	18
2.6 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	21
3. VARIAÇÃO DE ÍONS NA SOLUÇÃO DO SOLO EM RAZÃO DE DOSES E FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM VÁRZEAS TROPICAIS CULTIVADAS COM ARROZ IRRIGADO	22
RESUMO.....	22
ABSTRACT	23
3.1 INTRODUÇÃO.....	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.4 CONCLUSÕES	33
4. EFEITOS DE DOSES E FONTES NITROGENADAS NA FERTILIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM PLANÍCIES INUNDAVEIS TROPICAIS	34
RESUMO.....	31
ABSTRACT	34
4.1 INTRODUÇÃO.....	35
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.4 CONCLUSÕES	51
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	52
6 REFERÊNCIAS	53

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** Resumo da análise de variância dos dados médios de pH, Eh (potencial de oxirredução), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), matéria orgânica (MOS), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) em solução do solo, coletada em um Gleissolo Háplico após a inundação, durante o período de cultivo de arroz na safra 2014/2015.....28
- Tabela 3.2** Efeitos de dias após a inundação (dai) e doses de nitrogênio aplicadas (dos), nos atributos químicos do solo de um Gleissolo Háplico. Goianira - Goiás, 2015 30
- Tabela 4.1.** Resumo do quadro de análise de variância com as variáveis alumínio (Al), cálcio (Ca), carbono total (CT), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), nitrogênio total (NT) fósforo (P), pH e zinco (Zn) de um Gleissolo Háplico amostrado 0, 175 e 290 dias após o cultivo de arroz irrigado na safra 2014/2015, em Goianira - GO 39
- Tabela 4.2.** Médias, equações de regressão e coeficiente de variação (CV) da dinâmica dos atributos químicos ao longo do tempo de Gleissolo Háplico um cultivado com arroz irrigado na safra 2014/2015, Goianira - GO..... 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Extratores de Solução do solo instalados no campo.....	26
Figura 4.1.	Influência de fontes e doses de nitrogênio na concentração de CT ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias	40
Figura 4.2.	Influência de fontes e doses de nitrogênio na concentração de NT no solo ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa o tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias	42
Figura 4.3.	Influência de fontes e doses de nitrogênio na dinâmica de Fe ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa o tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias.....	44
Figura 4.4.	Dinâmica de Al ao longo do tempo	46
Figura 4.5.	Dinâmica de Mn ao longo do tempo	47
Figura 4.6.	Dinâmica de K ao longo do tempo	48
Figura 4.7.	Dinâmica de Zn ao longo do tempo	49
Figura 4.8.	Produtividade de grãos em função de doses e fontes nitrogenadas	50

1 INTRODUÇÃO GERAL

A planta de arroz, por ser uma cultura anual de ciclo curto e nutricionalmente bastante exigente, precisa que nutrientes estejam prontamente disponíveis nos momentos de maior demanda, de forma a não limitar a produtividade (Lopes, 2013). Depois do potássio, o nitrogênio (N) é o nutriente que a planta de arroz mais acumula, além de ser componente da clorofila, com expressiva participação no aumento da área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência na interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (Fageria & Stone, 2003). No entanto, o N apresenta uma dinâmica extremamente complexa no cultivo do arroz irrigado, com grande variabilidade nas suas formas químicas em função da umidade do solo (condições aeróbias ou anaeróbias), refletindo diretamente sobre a eficiência do aproveitamento do nutriente pela cultura (Fillery et al., 1984).

Apesar dos efeitos benéficos da inundação do solo em sistemas de produção irrigados, a biodisponibilidade dos nutrientes é alterada pelas reações de oxirredução (Ponnamperuma, 1972). Dentre as principais alterações eletroquímicas que ocorrem no solo após o alagamento estão a diminuição do potencial redox (Eh), as alterações nos valores do pH e o aumento da condutividade elétrica (Sousa et al., 2000). Ocorre ainda, o empobrecimento em N do solo, pela redução do nitrato a nitrito (desnitrificação), resultando em deficiências desse nutriente para as plantas, mesmo após o período de inundação. Outros macronutrientes, como K, Ca e Mg, têm suas disponibilidades aumentadas pela inundação, atribuídas ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ . Os micronutrientes – Cu, Zn, Mn, Mo, Fe e B – podem apresentar problemas de excesso ou deficiência no solo, em razão, principalmente, das mudanças de pH, acarretando dificuldades para o desenvolvimento dos vegetais (Ponnamperuma, 1977).

A ureia é a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, principalmente, devido ao seu elevado teor de nitrogênio facilmente hidrolisável em amônio logo após a aplicação no solo (Ji et al., 2014), e ao seu valor acessível, com menor preço por unidade de N (Civardi et al., 2011). Um dos aspectos desfavoráveis do uso desse fertilizante, no entanto, é a elevada perda por volatilização de amônia, quando aplicado em superfície.

A utilização de fertilizantes nitrogenados em arroz irrigado tem sido comumente adotada com a finalidade de melhorar a disponibilidade de N e atingir,

desse modo, elevadas produtividades (Ji et al., 2014). Para realização de adubações racionais e aumento na eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz, é indispensável o entendimento da dinâmica do nutriente nesse tipo de solo.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi determinar os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio em solos inundáveis tropicais, sobre o pH, potencial redox, disponibilidade de íons e produtividade de grãos, visando a obtenção da fonte e dose de fertilizante ambientalmente sustentável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO ARROZ

Com o aumento da população mundial, torna-se necessário o aumento na produção de alimentos para suprir a maior demanda. O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma cultura de grande importância socioeconômica, principalmente por ser constituinte básico da dieta da maior parte da população mundial, sendo fonte de energia, proteínas, vitaminas e minerais (Walter et al., 2008). O grão destaca-se como um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, ao fornecer 20% da energia e 15% da proteína per capita necessárias ao homem (Embrapa, 2005). Também se revela como fonte de tiamina, riboflavina, niacina e fibras alimentares FAO (2004), sendo uma excelente alternativa alimentar para as pessoas que não toleram a presença de glúten na sua alimentação (Ormenese & Chang, 2002). Devido ao aumento crescente de seu consumo, técnicas mais eficientes de cultivo devem ser estudadas de modo a aumentar a produtividade e qualidade do produto colhido Embrapa (2008), com redução de custos econômicos e ambientais.

“O arroz cultivado é uma planta herbácea incluída na classe Liliopsida (Monocotiledônea), ordem Poales, família Poaceae, gênero *Oryza*. O arroz é uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C-3, adaptada ao ambiente aquático. Esta adaptação é devida à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera. É a terceira maior cultura cerealífera do mundo, apenas ultrapassado pelo milho e trigo. Para expressão de seu potencial produtivo, a cultura requer temperatura ao redor de 24 a 30°C e radiação solar elevada, considerando que a disponibilidade hídrica não é um fator limitante quando cultivada em condição de solo inundado” (Agrolink, 2010).

O arroz (*OryzasativaL.*) é cultivado em, aproximadamente, 157 milhões de hectares em todo o mundo, sendo a base da alimentação de muitos povos (Irri, 2007). Segundo o Ministério da Agricultura (Brasil, 2010), o Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a produção brasileira de arroz atingiu 12,3 milhões de toneladas em 2014/2015, alta de 1,2% em relação à safra anterior (IBGE, 2015).

No Brasil o arroz é cultivado em dois ambientes distintos: em condição de planícies inundáveis e em condição de sequeiro ou “terras altas”, e que pelas particularidades edafoclimáticas de cada um dos ambientes possuem sistemas de

produção diferentes. A maior parcela da produção de arroz no Brasil é proveniente de planícies inundáveis, onde a orizicultura irrigada é responsável por 68% da produção nacional Fageria et al. (2007), sendo considerada uma estabilizadora da safra nacional, uma vez que não é tão dependente das condições climáticas como no caso dos cultivos de sequeiro.

A região Sul é a principal produtora de arroz do Brasil (Wander, 2015). Dados do IBGE (2015) confirmam que esta região foi responsável por 77,9% da produção nacional de arroz na safra 2013/2014 e por 80,5% na safra 2014/2015. Contudo, a produção de arroz irrigado por inundação na região tropical, isto é, nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, tem apresentado crescimento, ano após ano (IBGE, 2015). Dados da Conab (2016), indicam que a produção estimada de arroz nessas regiões representa cerca de 25,5% da produção da região Sul, no entanto, as perspectivas de aumento de produção são grandes, especialmente através do incentivo do governo através do Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Tocantins (Prodoeste), que pretende aumentar em 25,6 mil ha a área irrigada e, além disso, o uso de cultivares mais adaptadas tem proporcionado ganhos em produtividade (Conab, 2016).

2.2 NITROGÊNIO ARROZ

O nitrogênio (N) é de extrema importância na cultura de arroz irrigado. Com exceção do potássio (K), é o nutriente que a planta de arroz acumula em maior quantidade (Fageria et al., 2003b). Por ser componente da clorofila, o nitrogênio reflete no aumento de produtividade, aumentando a eficiência fotossintética. Este nutriente é relatado como um dos principais fatores limitantes à produtividade, e o custo do fertilizante nitrogenado constitui relevante fração do custo total de produção (De Datta et al., 1991).

A deficiência de N nesta cultura, nos solos de várzeas do Brasil Central, é frequentemente observada, e entre as principais razões para sua ocorrência estão às perdas por vários processos (volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão), e diminuição do teor de matéria orgânica em consequência dos cultivos sucessivos (Fageria et al., 2007). A cultura de arroz geralmente responde à aplicação de nitrogênio se outros fatores da produção não forem limitantes (“Lei do mínimo” de Liebig, (Van Raij, 1981)). O N apresenta uma dinâmica extremamente complexa no cultivo do arroz irrigado, com grande variabilidade nas suas formas químicas em função do teor de

aguado solo (condições aeróbias ou anaeróbias), refletindo diretamente sobre a eficiência do aproveitamento do nutriente pela cultura (Fillery et al., 1984).

A decomposição da matéria orgânica do solo mineraliza o N orgânico do solo em diferentes velocidades, em razão da sua recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Camargo et al., 1997). Portanto, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da matéria orgânica em quantidades e taxas diferentes, que dependem do tipo de solo (especialmente pH, condições redox, temperatura e textura), da atividade microbiana e das condições ambientais, além da entrada de N no sistema via adubação nitrogenada. Somando-se a isto, a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada é muito dependente do clima, principalmente com relação à temperatura e a radiação solar Vahl (1999), e das práticas de cultivo nos diferentes sistemas de produção de arroz irrigado.

2.3 CICLO DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é um componente vital em biomoléculas essenciais como proteínas e ácidos nucleicos, pigmentos e outros metabólitos secundários Van Oijen & Levy (2004), sendo assim, fundamental para a manutenção da vida. Na biosfera, o ciclo do nitrogênio ocorre entre os estados de oxidação $+5$ e -3 produtos de muitas espécies que constituem o ciclo biogeoquímico do nitrogênio. Este ciclo envolve uma série de reações de oxirredução nas quais os procariotos desempenham o papel principal (Richardson & Watmough, 1999).

Alguns procariontes são capazes de fixar nitrogênio atmosférico, como as cianobactérias, que habitam os solos e as águas salgadas e doces, outras espécies de bactérias de vida livre no solo e bactérias simbiontes, que vivem nos nódulos de raízes de plantas leguminosas. Para que ocorra a conversão do nitrogênio atmosférico em formas químicas úteis para os organismos vivos, os processos metabólicos dos organismos devem funcionar de forma interdependente e de maneira a recuperar e reempregar o nitrogênio biologicamente disponível. Esse conjunto de processos constitui o vasto ciclo do nitrogênio (Nelson & Cox, 2002). A capacidade de um microrganismo fixar nitrogênio, em associação ou não com as plantas, está ligada à presença e atividade do complexo enzimático conhecido como nitrogenase (Raymond et al., 2004).

O primeiro passo no ciclo do nitrogênio é a fixação (redução) do N atmosférico por bactérias fixadoras, que produzem amônia (NH_3) ou amônio (NH_4^+) na solução do solo. A amônia pode ser empregada pela maioria dos organismos vivos, como por exemplo, as bactérias do solo que obtém energia para seu metabolismo por meio da oxidação da amônia em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), esse processo é conhecido por nitrificação; assim, praticamente, quase toda amônia que atinge o solo é transformada em nitrato por oxidação, podendo ser absorvido pelos vegetais ou voltar para a atmosfera como N_2 (desnitrificação). Com a morte dos organismos, a degradação microbiológica de suas proteínas devolve a amônia ao solo, no processo chamado de amonificação (Nelson & Cox, 2002; Guerreiro et al., 1981). E, novamente, o N-inorgânico, sob a forma de amônio (NH_4^+) ou amônia (NH_3) a nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Esse processo consiste na oxidação do íon amônio (NH_4^+) ou amônia (NH_3) a nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-), sendo um processo estritamente aeróbio realizado por bactérias quimiolitotróficas gram-negativas da família Nitrobacteriaceae (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*), sendo dividida em duas fases: a nitratação, que consiste na passagem de amônio a nitrito, realizada pelas bactérias *Nitrossomonas*, e a nitratação, conversão de nitrito a nitrato, realizadas pelas bactérias *Nitrobacter* (Moreira & Siqueira, 2006).

O processo de desnitrificação consiste na redução do nitrato (NO_3^-) para nitrogênio molecular (N_2). Esta reação está associada com a liberação de óxido nítrico (NO) e de óxido nitroso (N_2O). O NO é produzido por procariontes, como um intermediário durante a desnitrificação, quando compostos de nitrogênio oxidados são usados como aceptores de elétrons em condições limitadas de oxigênio (Zumft, 1997). Já o N_2O é um poderoso gás de efeito estufa, com potencial de aquecimento global, aproximadamente, 300 vezes superior ao do CO_2 (Stern, 2006). Outro processo que tem como produto final o N_2 é a oxidação anaeróbica do amônio, em que algumas bactérias podem oxidar amônia e utilizar nitrito como acceptor de elétrons, tendo como produto final gás nitrogênio (Kuypers et al., 2006). Para Dalsgaard et al. (2005), este ocorre no mesmo estrato da desnitrificação, já que as condições de ocorrência são praticamente as mesmas para ambos os processos, e logo abaixo da zona óxica de ocorrência da nitrificação.

2.4 SOLUÇÃO DO SOLO

O conhecimento da composição química da solução do solo é muito importante no manejo de fertilidade dos solos de várzea, podendo auxiliar na determinação de adubações eficientes e racionais. Contudo, informações da literatura sobre níveis adequados de nutrientes na solução do solo, para a cultura de arroz irrigado em várzeas tropicais ainda são escassas. Segundo Raij (1991), embora se reconheça a importância da solução do solo para a nutrição vegetal, seu estudo é difícil, em razão da complexidade da fase de extração. Wolt (1994) comenta que há diversos métodos de extração da solução do solo: deslocamento de solução em coluna, pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos; centrifugação à alta e à baixa pressão; câmara de pressão; vácuo no extrato saturado e soluções aquosas; métodos de adsorção molecular; e uso de extratores providos de cápsulas porosas.

A utilização de extratores de cápsulas porosas, para extrair a solução do solo, é bastante difundida, principalmente por seu manejo fácil, custo relativamente baixo e pelo fato de o extrato obtido não requerer tratamentos prévios às determinações físico-químicas (Moraes & Dynia, 1990). Para Silva (2002), o monitoramento da solução com o uso de extratores providos de cápsulas de cerâmica porosa auxilia na tomada de decisão da quantidade de fertilizantes.

A disponibilidade dos íons para as raízes das plantas é controlada por várias reações, a saber: equilíbrio entre ácido e base, complexação iônica, precipitação e dissolução de sólidos, oxidação, redução e trocas iônicas (Miranda et al., 2006). A cinética dessas reações e a taxa de absorção biológica controlam a concentração do íon na solução de solo (Chaves et al., 1991). A absorção de elementos químicos pelas raízes das plantas dá-se a partir da solução do solo (Raij, 1991). O conhecimento da composição química da solução de solo fornece subsídios para auxiliar nas estimativas da taxa de intemperismo, na taxa de ciclagem dos elementos químicos e no influxo e lixiviação de nutrientes no campo (Miranda et al., 2006).

Em solos de várzea a dinâmica de íons na solução do solo ocorre de maneira diferenciada. Dentre as principais alterações eletroquímicas que ocorrem no solo após o alagamento estão a diminuição do potencial redox (Eh), as alterações nos valores do pH e o aumento da condutividade elétrica (Sousa et al., 2000). Apesar dos efeitos benéficos da inundação, a biodisponibilidade dos nutrientes na solução é alterada pelas reações de oxirreduções (Ponnamperuma, 1972).

Ocorre empobrecimento em N do solo, pela redução do nitrato a nitrito (desnitrificação), resultando em deficiências desse nutriente para as plantas, mesmo

após o período de inundação. A dinâmica do P está intimamente ligada à redução de compostos de Fe e ao aumento do pH, verificando-se, geralmente, aumento em sua disponibilidade com a inundação. Outros macronutrientes, como K, Ca e Mg, têm suas disponibilidades aumentadas pela inundação, atribuídas ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ . Os micronutrientes – Cu, Zn, Mn, Mo, Fe e B – podem apresentar problemas de excesso ou deficiência no solo, em razão principalmente das mudanças de pH, acarretando dificuldades para o desenvolvimento dos vegetais (Ponnamperuma, 1977).

2.5 ALTERAÇÕES COM A INUNDAÇÃO

Quando um solo é sujeito a inundação, as transformações químicas neste solo ocorrem de maneira diferenciada. A substituição de ar pela água nos espaços porosos e o estabelecimento de uma lâmina de água sobre o solo restringem as trocas gasosas com a atmosfera, e o oxigênio remanescente é rapidamente consumido e praticamente desaparece do solo, pois a difusão de gases através da água é muito baixa (Camargo, 1999).

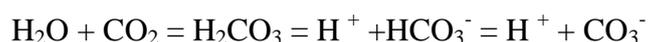
A redução do solo (Eh) é a mais importante diferença química entre os solos alagados e os solos drenados. A redução do solo é uma consequência da respiração anaeróbia por bactérias (Ponnamperuma, 1972). O potencial redox é uma medida da redução do solo. Antes do alagamento, o solo apresenta características de oxidação, com a presença de oxigênio e valores de Eh positivos. À medida que se processa o alagamento, os compostos oxidados vão sendo consumidos pelos microrganismos aeróbios e, posteriormente, pelos microrganismos anaeróbios, com isso o solo apresenta característica de redução, com o Eh atingindo valores negativos (Camargo et al., 1999). Quando o Eh apresenta valores entre 0,2 e -0,4 V, caracteriza solos submersos, o que reflete um estado de redução, já para valores entre 0,3 e 0,8 V, o ambiente é aeróbio, caracterizando um ambiente oxidado (Ponnamperuma, 1972). Segundo Kirk (2004), o Eh representa o parâmetro físico-químico mais importante na caracterização do grau de oxidação ou redução de um solo submerso, indicando o grau de anaerobiose do ambiente.

A ordem de redução dos compostos oxidados do solo é nitrato, óxido de manganês, óxidos de ferro, sulfatos, etc, então, para que a redução dos óxidos de manganês comece é necessário que boa parte do nitrato já esteja na forma reduzida, e assim sucessivamente. O nitrato é o primeiro receptor de elétrons a ser reduzido após a

exaustão do oxigênio, seguido pelo Mn (IV), Fe (III), SO_4^{-2} e CO_2 (Liesack et al., 2000). Rhoden et al. (2000) estudando diferentes manejos da água de irrigação para a cultura do arroz irrigado encontrou valores de Eh de -214 mV para o manejo da água com lâmina estagnada, sem perdas por drenagem ou fluxo superficial, enquanto que para o manejo com drenagem e fluxo de superfície os valores de Eh chegaram a -159 e -149 mV, respectivamente. Os autores sugerem que os menores valores de Eh para o manejo da água de irrigação com lâmina estagnada foram devido ao acúmulo de substâncias reduzidas provenientes do metabolismo microbiano.

O alagamento do solo causa alteração no pH, havendo um decréscimo no primeiro ou segundo dia, seguido por um aumento até atingir pH máximo e constante de 6,5 a 7,5, em duas a três semanas. A redução do solo consome elétrons e íons H^+ , estando diretamente relacionada ao pH do solo e influenciando nas formas disponíveis dos nutrientes. Solos ácidos tem o pH aumentado devido ao ambiente reduzido e consumo de H^+ criado após o alagamento - fenômeno conhecido como “autocalagem” -, já os solos alcalinos têm o pH diminuído pelo acúmulo de gás carbônico (Ponnamperuma, 1972).

Com a entrada da água no solo e formação de lamina, tem-se um decréscimo no pH do solo durante os primeiros dias de alagamento, devido ao acúmulo de CO_2 , que sofre dissolução na água, conforme a seguinte reação (Camargo et al., 1999):



Após, o pH começa a aumentar devido a redução do solo, consumindo íons H^+ , até o momento em que o metabolismo presente no solo seja, exclusivamente, anaeróbio. A produção de CO_2 no ambiente anaeróbio é menor do que antes do alagamento Aita et al. (2003), deste modo, ocorre uma estabilização na produção de CO_2 . A sua redução a CH_4 também estabiliza e a redução dos compostos oxidados do solo diminui de intensidade, pois os compostos facilmente oxidáveis são rapidamente consumidos; neste momento, o pH do solo se estabiliza próximo a 6,5 a 7,0, pois estes três processos entram em equilíbrio (Vahl, 1999).

O aumento do pH do solo após o alagamento beneficia a dinâmica dos nutrientes em favor das plantas. O pH, estabilizando-se próximo a 6,5 a 7,0 favorece a liberação e absorção de nutrientes, bem como diminui a concentração de elementos potencialmente tóxicos para a cultura do arroz irrigado.

Rhoden et al. (2000), avaliando o pH do solo em função de diferentes manejos da água de irrigação do arroz e quantidades de palha de azevém, observaram que na quantidade de 6,86 Mg ha⁻¹ de palha, o pH foi de 5,38, para a quantidade 3,43 Mg ha⁻¹ foi de 5,99 e para o tratamento sem palha, o pH foi de 6,6, e concluíram que o pH do solo estava relacionado à quantidade de palha em condições anaeróbias e que os menores valores de pH, no tratamento com lâmina estagnada, deve-se ao acúmulo de produtos do metabolismo microbiano fermentativo, possivelmente ácidos orgânicos.

Comparando os valores de Eh e pH, Camargo et al. (1999) observaram que conforme diminuiu o Eh, o pH aumentou até a segunda semana de alagamento. O pH do solo também tem um papel importante no controle do equilíbrio químico de silicatos, carbonatos, fosfatos, hidróxidos, sulfatos, e esse equilíbrio regula as reações de precipitação, dissolução, adsorção e dessorção de íons e moléculas envolvidas no processo de redução do solo (Sousa et al., 2000).

Em solos alagados, o sistema redox e o sistema de carbonatos controlam o curso do pH. O aumento do pH em solos ácidos é um dos maiores benefícios para a cultura do arroz irrigado, pelo fato de que elimina a toxidez por Al, minimiza a toxidez por Fe e aumenta a disponibilidade de fósforo (Ponnamperuma, 1972). À medida que se processa a redução do solo e o aumento do pH, ocorre liberação de Fe²⁺ e Mn²⁺ para a solução do solo e os nutrientes catiônicos são deslocados da CTC do solo para a solução, o que aumenta a disponibilidade para as plantas, principalmente do fósforo que, apesar de ser um nutriente aniônico, tem sua dinâmica inter-relacionada à dinâmica do Fe. Este, ao tornar-se solúvel, faz com que aquele seja dissolvido e deslocado para a solução do solo. O aumento do pH promove a precipitação do Al trocável e a dissociação dos íons H⁺ dos grupos funcionais dos minerais do solo, o que contribui para um aumento nas cargas negativas do solo (Vahl, 1999).

No início do alagamento ocorre ainda, aumento na condutividade elétrica (CE), devido a redução do solo, observada pela diminuição do Eh, que afeta diretamente a mobilidade do Fe²⁺ e do Mn²⁺, aumentando suas concentrações, ocorrendo também um acúmulo de NH₄⁺, HCO₃⁻, além de íons orgânicos, ao mesmo tempo que ocorre um deslocamento dos cátions dos sítios de troca para a solução do solo.

Em seguida, ocorre diminuição e estabilização da CE a valores, no entanto, mais altos que o inicial. Os nutrientes adsorvidos aos argilominerais, matéria orgânica e oxihidróxidos de Fe, Mn e Al, são N, P, S, Si, B, Cu, Zn e Mo (Ponnamperuma, 1977), sendo que esta adsorção ocorre por via eletrostática ou ligação covalente (Camargo et

al., 1999). Sposito (1989) comenta que, quando o solo é submerso, esses íons adsorvidos podem ser liberados à solução do solo, aumentando com isso a CE.

2.6 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica (MOS) é promotora da qualidade do solo, visto que está intimamente relacionada a vários parâmetros físicos, químicos e biológicos, destacando-se a estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência a erosão, atividade biológica, capacidade de troca de cátions (CTC), disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera (Santos et al., 2008). Sendo assim, ela é um importante constituinte do ecossistema e é fundamental para o seu adequado funcionamento (Melo & Alleoni, 2009). A quantidade de matéria orgânica é influenciada pelo tipo de vegetação, textura do solo e umidade (Santos, 2006).

A matéria orgânica é um reservatório de carbono e nitrogênio no solo, e vários compostos dela derivados tem a capacidade de promover a solubilidade de cálcio, magnésio, fósforo e ferro, além de possuir como uma de suas principais qualidade edáficas, a capacidade de reter água, podendo até mudar a aptidão do solo (Tibau, 1978). Também desempenha papel importante na qualidade ambiental, já que participa do ciclo do carbono do planeta, atraindo atenções devido ao fenômeno de aquecimento global (Cerri, 2007). A MOS é composta por material heterogêneo constituído, principalmente, por carbono e nitrogênio acumulado pela biomassa e detritos orgânicos (troncos, folhas, frutos, raízes, entre outros) (Silveira et al., 2007).

A MOS é importante no desenvolvimento da fertilidade do solo visto que, por meio da sua mineralização, os nutrientes tornam-se disponíveis às plantas. Funciona, ainda, como fonte de CO₂, quando é oxidada durante a conversão de florestas e pastagens naturais em áreas cultivadas e, como sequestrador do CO₂ gerado pelas atividades antrópicas (Balesdent et al., 2000).

Em ambientes alagados, as alterações químicas e eletroquímicas sofridas são reflexos das mudanças do metabolismo microbiano aeróbio para anaeróbio, as quais modificam a dinâmica da MOS. Em condições anaeróbias, a degradação de compostos orgânicos é mais lenta e menos eficiente, e apresenta produtos finais diferentes dos produzidos pela degradação aeróbia, como os ácidos orgânicos e o metano (CH₄), em que as quantidades produzidas e ou emitidas afetam o desenvolvimento das plantas e contribuem para o aquecimento global, respectivamente (Santos et al., 2008).

3. VARIAÇÃO DE ÍONS NA SOLUÇÃO DO SOLO EM RAZÃO DE DOSES E FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM VÁRZEAS TROPICAIS CULTIVADAS COM ARROZ IRRIGADO

RESUMO

Nos últimos anos, devido incentivos do governo, especialmente no Estado do Tocantins, houve significativo aumento em áreas de produção de arroz irrigado. No entanto, existem poucos estudos sobre fontes de nitrogênio e doses naquela região, o que poderia melhorar a eficiência de uso de nitrogênio e proporcionar maiores rendimentos para os produtores rurais. O presente trabalho teve como objetivo determinar os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio em solos de várzea inundados no pH, potencial redox e na concentração de íons da solução do solo, visando a obtenção da fonte e dose de fertilizante economicamente viável e ambientalmente sustentável. As amostras foram coletadas na safra 2014/2015 no Campo Experimental da Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, em Gleissolo Háplico. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo duas fontes de nitrogênio (ureia comum e ureia de liberação lenta), três doses de N aplicadas em cobertura (30, 70, 150 kg ha⁻¹), e a testemunha absoluta, sem aplicação alguma de N. Foram coletadas amostras de solução do solo, semanalmente, durante o período de inundação no cultivo do arroz, cultivar BRS Catiana. As análises de pH e Eh (potencial de oxirredução) foram feitas logo após a coleta da solução do solo no campo, e então, acidificadas com HCl (2M), e imediatamente congeladas para posterior análise dos seguintes elementos: Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mn, MOS, NO₃⁻ e NH₄⁺. As fontes utilizadas não interferiram na dinâmica de liberação dos nutrientes para solução do solo. A condição de anaerobiose causou modificações no estado de oxirredução e alterou a solubilidade dos nutrientes na solução do solo. As doses aplicadas alteraram as concentrações de Ca e MOS na solução, sendo a dose de 150 kg ha⁻¹ de N a dose que apresentou os maiores valores para ambos.

Palavras-chave: potencial redox, *Oryza sativa*, alterações químicas.

ABSTRACT

In the last years, due to the government effort, especially in the Tocantins State, there have been significant increase on flooded rice production areas. However, there are few studies about nitrogen sources and doses in that region, which could improve the nitrogen efficiency use and provide higher incomes for farmers. This study aimed to determine the effects of different sources and doses of nitrogen in flooded lowland soils in the pH, redox potential and the concentration of ions in the soil solution in order to obtain the economically and environmentally best mineral nitrogen source and dose. The samples were collected in the 2014/2015 season at the Embrapa Rice and Beans Experimental Field - Palmital Farm-, in a Dystric Gleysol. The design was a complete randomized blocks, with four replications, two sources of nitrogen (common urea and slow release urea), three nitrogen rates (30, 70, 150 kg ha⁻¹), and a control, without any N application. Soil solution samples were collected weekly, during the flooded period in rice cultivation, BRS Catiana genotype. The pH analysis and Eh (redox potential) were immediately read, just after the soil solution sampling, in the field, and then HCl (2M) acidified, and immediately frozen for later analysis of the following ions: Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mn, MOS, NO₃⁻ and NH₄⁺. The sources used did not affect the release of nutrients dynamics to the soil solution. The anaerobic condition caused changes in the Eh and ions solubility in the soil solution. The doses applied changed Ca and MOS concentrations in solution, and the dose of 150 kg ha⁻¹ N showed the highest values for both.

Key words: redox potential, *Oryza sativa*, chemical changes.

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o arroz é cultivado em solos de terras baixas – irrigadas por inundação - e de terras altas ou sequeiro. Nas planícies irrigadas por inundação, comumente chamadas de “várzeas”, os solos apresentam como principal característica a drenagem natural deficiente (hidromorfismo), ocasionada pelo relevo predominantemente plano, frequentemente associado a uma camada subsuperficial

impermeável e uma camada superficial rasa, com fertilidade natural média a baixa (Pinto et al., 1999).

Em solos inundados, as reações eletroquímicas e a dinâmica dos nutrientes ocorrem de forma diferenciada em relação aos solos bem drenados. Os compostos existentes no sistema solo-solução são utilizados pelos microrganismos anaeróbicos, obedecendo a sequência de redução: nitrato, óxidos de manganês, óxidos de ferro e sulfato (Sousa, Camargo e Vahl, 2010). De acordo com Camargo et al. (1999), as alterações que acompanham a inundação do solo afetam significativamente a produtividade das culturas

Devido   sua característica de doador de elétrons, o nitrogênio ($N-NO_3^-$)   um dos elementos mais influenciados pelas condi c es de anaerobiose. A deficiência de N nos solos de inundáveis da região Centro-Oeste, parte do Norte e Nordeste do Brasil,   frequentemente observada Fageria et al. (2003), e entre as principais razões para sua ocorrência estão as perdas por vários processos, tais como volatiliza o de amônia pelo solo e pelas folhas, lixivia o, desnitrifica o, erosão, métodos de aplica o de fertilizante nitrogenado, fonte e tamanho de partícula de fertilizante e diminui o do teor de matéria orgânica em consequência dos cultivos sucessivos e, ainda, precipita o, temperatura, pH do solo, água do solo e aera o. (Fageria, 2014). Fageria e Stone (2003) citam ainda que o arroz inundado apresenta eficiência de recupera o de N em torno de 40%, e que essa eficiência de utiliza o pode ser melhorada com o uso de dose adequada, tipo de fonte e época de aplica o apropriada.

A aplica o de fertilizantes nitrogenados em arroz irrigado tem sido comumente adotada com a finalidade de melhorar a disponibilidade de N e atingir, desse modo, elevadas produtividades (Ji et al., 2014).

A ureia   a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, principalmente, devido ao seu elevado teor de nitrogênio facilmente hidrolisável em amônio logo após a aplica o no solo (Ji et al., 2014), e ao seu valor acessível, com menor preço por unidade de N (Civardi et al., 2011). Atualmente, existem disponíveis no mercado, fertilizantes conhecidos como “slow-release”, que liberam o nitrogênio mais lentamente, e que segundo Civardi et al. (2011), permitiriam reduzir as perdas de N através de uma barreira física (no caso dos fertilizantes recobertos), contra a exposi o do nutriente para o meio, além de, conforme Shoji et al. (2001) poderem ser utilizados para controlar os impactos ambientais do uso de fertilizantes nitrogenados comuns.

Fageria et al. (2007) trabalhando com 12 genótipos de arroz em um Gleissolo Háplico em região de cerrado, relataram que dose de N necessária para obtenção de 90% da produtividade máxima, considerada como dose econômica, foi atendida com 136 kg ha^{-1} de N, que possibilitaria rendimento médio de 5.077 kg ha^{-1} . Berge & Riethovem (1997), ao relatar resultados obtidos na China sobre a dose adequada de N, na produção de arroz irrigado, concluíram que, para cultivares de ciclo médio (135 dias), a dose adequada é de 100 a 150 kg ha^{-1} . Dobermann et al. (2000) relataram que a cultivar de arroz irrigado IR72 aumentou significativamente a produtividade até a dose de 150 kg ha^{-1} de N, em trabalho conduzido em condições de campo, no Instituto Internacional de Pesquisa de Arroz, nas Filipinas.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi determinar os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio em solos de planícies irrigadas por inundação, sobre o pH, potencial redox e na disponibilidade de íons da solução do solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campo, na Fazenda Palmital, Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Goianira, GO, entre as coordenadas $16^{\circ} 26' 14''$ latitude S, $49^{\circ} 23' 50''$ longitude W e altitude de 720 m. O clima predominante na região é o tropical sub-quente, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (outubro - abril) e outra seca (maio - setembro), de acordo com IBGE (1978). A temperatura média anual é de $22,6^{\circ}\text{C}$, com menor média de temperaturas mínimas ocorrendo em junho ($14,2^{\circ}\text{C}$) e a maior média de temperaturas máximas ($31,7^{\circ}\text{C}$), no mês de setembro Oliveira e Rodrigues (2012) e precipitação média anual de 1485 mm. O estudo foi conduzido em um Gleissolo Háplico textura média – média/arenosa (Oliveira e Rodrigues, 2012).

As amostras foram coletadas na safra 2014/15, em cultivo de arroz irrigado por inundação em sistema convencional de manejo do solo há, aproximadamente, 40 anos.. A cultivar utilizada foi a BRS Catiana, de ciclo médio, classe longo fina, altura média de 102 cm e, produtividade média de 7000 kg ha^{-1} . Avaliaram-se duas fontes de nitrogênio (ureia comum (UC) e ureia com inibidor de urease contendo B e Cu (UI)), três doses de N ($30, 70, 150 \text{ kg ha}^{-1}$), considerou-se ainda uma testemunha absoluta (controle), sem aplicação alguma de N, sendo que 30 kg ha^{-1} de N, 39 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} K_2O foram aplicados em linha na semeadura e o restante da dose de N em

duas coberturas, à lanço, no estádio V3-4 de diferenciação de panículas. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

No dia 10/10/2014 foi realizada incorporação de adubo verde (milheto+crotalária) nas parcelas, inclusive na testemunha absoluta, em um volume de matéria seca de 5579,2 kg ha⁻¹ no bloco 5893,4 kg ha⁻¹ no bloco 5149,4 kg ha⁻¹ no bloco 3 e 6497,1 kg ha⁻¹ no bloco 4.

A semeadura foi realizada em 23/10/2014, a data de emergência foi 04/11/2014, as parcelas foram inundadas em 30/11/2014, e a data de emissão de panículas 27/01/2015. As doses de P e K foram calculadas conforme análise prévia de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros médios na camada de 0-20 cm dos blocos 1 e 2: pH: 5,7; Ca: 3,31 cmol_c/dm³; Mg: 0,88 cmol_c/dm³; Al: 0,10 cmol_c/dm³; P: 0,33 cmol_c/dm³; K: 0,11 cmol_c/dm³ e M.O: 5,68 %. Nos blocos 3 e 4 : pH: 5,4; Ca: 2,35 cmol_c/dm³; Mg: 0,74 cmol_c/dm³; Al: 0,25 cmol_c/dm³; P: 0,47 cmol_c/dm³; K: 0,097 cmol_c/dm³ e M.O: 3,45 %.

Foram coletadas amostras de solução do solo, semanalmente, durante o período de inundação no cultivo do arroz, totalizando 20 amostragens no período de 115 dias. A extração da solução foi realizada através de extratores constituídos de tubos de polivinil clorado (PVC) com 60 cm de comprimento, contendo cápsulas de porcelana porosa em uma das extremidades e, internamente, mangueiras de silicone ligando as cápsulas ao exterior dos tubos. Esse sistema é vedado com rolha de borracha que permite a passagem das mangueiras, que são ainda, fechadas com uso de válvulas de três vias, usadas para acoplamento de seringas com capacidade de 60 mL, na sucção da solução, instalados a 15 cm de profundidade no solo (Figura 1).



Figura 3.1 Extratores de Solução do solo instalados no campo.

As análises de pH e Eh foram realizadas usando o método do eletrodo Thomas (1996), dentro de frascos com gás N₂ insuflado, a fim de evitar o contato com o O₂ atmosférico, logo após a coleta da solução do solo no campo. Em seguida, as amostras foram acidificadas com HCl (2M), e imediatamente congeladas, para posterior análise dos seguintes elementos: cálcio e magnésio foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica Embrapa (2009), o potássio foi extraído com uso de solução diluída de ácidos fortes (0.05 M HCl + 0.0125 M H₂SO₄; Mehlich I) conforme Kuo (1996) e, determinado por espectroscopia por emissão de chama Wright and Stuczynski (1996), ferro, manganês e zinco foram extraídos com o uso de solução Mehlich I e determinados por espectroscopia de absorção atômica Embrapa (2009) e, finalmente nitrato e amônio foram determinados com o uso do método de análise automatizada por injeção de fluxo (FIA) (Keeney e Nelson, 1982).

Os resultados foram avaliados com o uso de análises de regressão com medidas repetidas no tempo, para os fatores significativos (P<0,05), com o uso do software R (Team, 2013).

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes nitrogenadas avaliadas influenciaram de maneira significativa a concentração de MOS na solução do solo. Para as doses estudadas observou-se efeito significativo nos teores de Ca e MOS (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Resumo da análise de variância dos dados médios de pH, Eh (potencial de oxirredução), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), matéria orgânica (MOS), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) em solução do solo, coletada em um Gleissolo Háplico após a inundação, durante o período de cultivo de arroz na safra 2014/2015

Fontes de Variação	Pr(>F)										
	pH	Eh	Ca	Mg	K	MOS	Zn	Fe	Mn	NH ₄	NO ₃
Bloco	0,511	0,026 [*]	0,205	0,132	0,015 [*]	0,002 ^{**}	0,786	0,014 [*]	0,046 [*]	0,188	0,032 [*]
Fonte	0,73	0,421	0,129	0,657	0,294	0,0008 ^{***}	0,604	0,672	0,505	0,275	0,746
Dose	0,965	0,136	0,009 ^{**}	0,135	0,081	0,456 [*]	0,758	0,494	0,241	0,112	0,265
Fonte/Dose	0,71	0,465	0,713	0,945	0,088	0,123	0,206	0,799	0,904	0,147	0,604
Tempo	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	2 ^{-16***}	0,0499 [*]
Tempo/Bloco	0,008 ^{***}	0,109	0,012 [*]	4,89 ^{-9***}	0,242	0,011 [*]	0,528	6,26 ^{-5***}	0,0007 ^{***}	0,18	0,467
Tempo/Fonte	0,788	0,514	0,389	0,808	0,552	0,189	1	0,016 [*]	0,603	0,33	0,359
Tempo/Dose	0,722	0,001 ^{**}	0,064	0,0002 ^{***}	0,942	0,725	0,998	0,994	0,589	0,313	0,497
Tempo/Dos/Fon	0,633	0,577	0,895	0,987	0,998	0,695	0,761	0,013 [*]	0,993	0,807	0,659

Tempo: Dias após inundação; Dos: doses de nitrogênio; Fon: fonte. ‘***’ P<0,001 ‘**’ P<0,01 ‘*’ P<0,05

Todas as variáveis analisadas apresentaram diferença significativa com relação ao tempo de inundação. Entre os blocos foi observada diferença estatística para os valores de Eh, K, MOS, Fe, Mn e NO₃. A interação entre fontes e doses não influenciou significativamente as variáveis estudadas. Os elementos Ca, Mg, MOS, Fe, Mn e o pH apresentaram efeito significativo com relação a interação entre dias após a inundação e os blocos (Tabela 3.1).

A concentração de Fe na solução do solo apresentou diferença estatística para a interação entre dias após inundação *versus* fonte, e na interação tripla entre dias após a inundação, doses e fontes (Tabela 3.1). A interação entre dias após a inundação e as doses influenciou, significativamente, os valores do Eh e os teores de magnésio na solução do solo.

O alagamento do solo causou um aumento no pH da solução até valores próximos a 7,0 permanecendo estável a partir de, aproximadamente, 40 dias após a inundação (Tabela 3.2). Esse aumento de pH em solos ácidos, após ser alagado, ocorre devido aos processos de redução dos compostos oxidados, e é tão mais rápido quanto maior for a oferta de elétrons para o meio (Ponnamperuma, 1972). O comportamento do pH coincidiu com os apresentados por De-Campos (2006), que trabalhou com solos cultivados e inundados do centro-oeste dos Estados Unidos e, com Carvalho (2011), para áreas inundadas tropicais sobre Gleissolo Háptico, cultivadas com arroz. Conforme Patrick & Reddy (1978) e Sousa et al. (2000), solos ácidos tem um aumento de pH devido ao consumo de íons H⁺ pelos microrganismos durante a inundação, estabilizando-se entre 6,5 e 7,0. Para o cultivo de arroz irrigado, o aumento do pH dos solos mantendo-os próximos a 6,6 é importante para o bom desenvolvimento desta cultura, visto que tal mudança favorece as reações de liberação de N e de P, além de diminuir os efeitos de elementos e compostos tóxicos que podem estar disponíveis mais facilmente nesses sistemas como o Al, Fe, Mn, CO₂, os óxidos orgânicos e o H₂S (Sousa et al., 2000).

Tabela 3.2 Efeitos do tempo após a inundação (dai) e doses de nitrogênio aplicadas (dos), nos atributos químicos de um Gleissolo Háplico. Goianira - Goiás, 2015.

Variáveis	Equações	R ²
Ph	$y = 7,14 - 0,017dai^{***} + 0,00014dai^{2***}$	0,24
Eh	$y = 320,13 - 2,906dai^{***} + 0,017dai^{2***} + 1,926dos^{***} - 0,009dos^{2***} - 0,004dai.dos$	0,20
Ca	$y = 32,91 - 0,79dai^{***} + 0,006dai^{2***} + 0,008dos + 0,0001dos^2 + 0,0003dai.dos$	0,31
Mg	$y = 4,43 - 0,073dai + 0,00082das^{2***} - 0,012dos + 0,00006dos^2 + 0,0002dai.dos^{**}$	0,29
K	$y = 36,34 - 0,633dai^{***} - 0,005dai^{2***} - 0,120dos + 0,0008dos^2 - 0,0006dai.dos$	0,16
MOS	$y = 3,85 + 0,12dai^{***} - 0,001dai^{2***} - 0,009dos + 0,00009dos^2 - 0,00004dai.dos$	0,05
Zn	$y = 0,096 - 0,0019dai^{***} + 0,00001dai^{2***} + 0,0005dos - 0,000002dos^2 - 0,000001dai.dose$	0,17
Fe	$y = 2,68 - 0,059dai^{***} + 0,0004dai^{2***} - 0,015dos + 0,00006dos^2 + 0,00003dai.dos$	0,10
Mn	$y = -0,260 + 0,049dai^{***} - 0,0002dai^{2***} + 0,014dos - 0,00005dos^2$	0,17
NH ₄	$y = 1,13 + 0,002dai + 0,0001dai^{2***} - 0,0012dos + 0,000001dos^2 + 0,00004dai.dos$	0,44
NO ₃	$y = 0,47 - 0,011dai^{***} + 0,0001dai^{2***} + 0,0008dos - 0,000003dos^2 - 0,000002dai.dos$	0,21

potencial de hidrogênio (pH); potencial de oxirredução (Eh); cálcio (Ca); magnésio (Mg); potássio (K); matéria orgânica (MOS); zinco (Zn); ferro (Fe); manganês (Mn); amônio (NH₄); nitrato (NO₃); dias após inundação (dai); doses de nitrogênio (dos); '***' P<0,001 '**' P<0,01 '*' P<0,05.

As mudanças do Eh são muito importantes para a cultura do arroz, pois a fertilidade do solo é profundamente afetada por essas alterações, principalmente, as formas estáveis do nitrogênio no solo e a sua disponibilidade para a cultura, além disso baixos valores de Eh aumentam a disponibilidade de ferro e manganês, e diminuem a de enxofre, segundo (Sousa et al., 2000). Como já era esperado, houve uma queda no potencial de oxirredução na solução do solo com o tempo de inundação (Tabela 3.2). No presente trabalho os valores encontrados variaram entre 400 e 200 mV. De-Campos (2006), estudando o potencial de oxirredução na solução de solo saturado, observou decréscimo nos valores de Eh a partir do primeiro dia de incubação anaeróbica, sendo de 397 para -74 mV.

A queda do potencial redox, provavelmente, esta relacionada com o consumo do estoque de oxigênio do solo saturado pela respiração microbiana, indicando um ambiente redutor. Com isso, para proceder com a respiração anaeróbica os microorganismos passam a utilizar outros compostos como receptores de elétrons no processo de respiração e fermentação, tais como NO₃⁻, Mn₄⁺ e Fe³⁺ (Ponnamperuma, 1972).

A concentração de Ca, Mg e K na solução do solo decresceu até, aproximadamente, os 40 dias de alagamento (Tabela 3.2), após esse período ocorreu um aumento na concentração desses elementos em solução. Esse decréscimo inicial pode estar relacionado aos altos teores de nitrato no solo, retardando o processo de redução e, conseqüentemente, favorecendo uma menor liberação desses cátions para a solução dentro do período avaliado. Segundo Sousa (2000), com o alagamento, o Eh tende a diminuir desde que o solo não apresente altas concentrações de nitrato e/ou óxidos de manganês. A diminuição do Eh provoca uma maior solubilidade desses cátions, pois são deslocados para a solução do solo pelo manganês e pelo ferro, uma vez que esses ocupam proporções consideráveis dos sítios de troca em função de sua concentração. Esses teores de nitrato podem ser decorrentes das adubações nitrogenadas feitas no plantio e na cobertura, 28 dias após o alagamento.

Os resultados obtidos (Tabela 3.2) discordam daqueles observados por Silva & Ranno (2005), que, trabalhando com Gleissolo cultivado com arroz sob inundação, em regiões subtropicais, verificaram um aumento inicial na concentração do cálcio na solução, seguido de um decréscimo e uma estabilidade na concentração com o decorrer dos dias da inundação. No entanto, concordam com os resultados observados por e Carvalho (2011) que, trabalhou com Gleissolo Háplico em condições tropicais e Sousa e al. (2002) que trabalharam com Plintossolo, Planossolo e Vertissolo.

O potássio (Tabela 3.2), apesar de comportamento semelhante ao cálcio e magnésio, apresentou concentração final bastante inferior a registrada no início do período experimental, o que, provavelmente está relacionado com a absorção da planta. Segundo Fageria et al. (2003), esse elemento é um dos mais requeridos pela cultura do arroz. Silva et al. (2003) também observaram variações nos teores de K na solução do solo com a presença de plantas de arroz, havendo decréscimo de íons K nessa condição.

Observou-se um decréscimo na concentração do elemento Zn na solução do solo, no decorrer dos dias alagados, para todos os tratamentos (Tabela 3.2). O zinco tem facilidade de formar compostos de baixa solubilidade, como hidróxidos, carbonatos e sulfetos, o que pode explicar, em parte, a diminuição na concentração desse elemento na solução em solos alagados (Sousa et al., 2000). Outro fator que pode alterar a solubilidade do zinco é o aumento do pH do meio. A cada unidade de aumento desse fator, a solubilidade do zinco decresce 100 vezes, e à medida que o pH se eleva acima de 6,0, aumentam as chances de ocorrer a formação de zincato de

cálcio e de adsorção nas superfícies dos carbonatos (Camargo et al., 1999 e Souza & Ferreira, 1995).

As concentrações de Mn e Fe na solução do solo aumentaram durante o alagamento (Tabela 3.2). Este aumento na concentração pode ter acontecido devido à redução dos óxidos mangânicos e férricos, conforme (Ponnamperuma, 1972). O aumento da concentração de ferro e manganês na solução do solo, embora benéfico para o arroz pode, sob determinadas situações, atingir níveis tóxicos prejudicando as plantas, além disso, essa toxidez por ferro já foi constatada em lavouras de praticamente todos os estados produtores de arroz irrigado no Brasil (Sousa et al., 2000).

Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho (2011), que relatou o incremento de Fe e Mn na solução do solo, em um Gleissolo Háptico com relação ao tempo de inundação, e por Schmidt et al. (2013), trabalhando em Planossolo Háptico Eutrofico, na região Sul do Brasil. Sousa et al. (2002) descreveram comportamento semelhante na composição da solução de um Planossolo alagado. Bem como Silva & Ranno (2005), em amostras de três solos (Planossolos e Gleissolo) representativos de áreas de produção de arroz. As reações de Fe e Mn nos processos de redução são consideradas as mais importantes, devido a maior concentração desses em solos inundados (Fageria et al., 2002).

O conteúdo de MOS na solução do solo foi crescente em todos os tratamentos, após o início do alagamento, atingindo maior valor por volta dos 40 dias após inundação, diminuindo gradativamente para valores que se mantiveram constantes até o final do experimento (Tabela 3.2). Essa curva de incremento de MOS na solução pode ser explicada pela decomposição da matéria orgânica que, em condições anaeróbias é mais lenta do que em condições aeróbias (Kirk, 2004). Sendo assim, o aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo é, também, resultado da diminuição da atividade de enzimas microbianas decorrente do decréscimo de biomassa microbiana (McIntyre & Reddy, 1998). A granulometria mais argilosa do solo, também, contribui para o aumento da MOS, uma vez que auxilia na redução da taxa de decomposição da matéria orgânica promovendo menor aeração do solo (Chapin et al., 2002).

Os teores de NH_4 aumentaram com o transcorrer do tempo de inundação (Tabela 3.2). Esse aumento ocorre em solos alagados devido à ausência de oxigênio, que leva a interrupção da mineralização do nitrogênio na forma amoniacal Sousa et al.

(2000), não permitindo ou diminuindo drasticamente a formação de nitrato. A aplicação de adubações nitrogenadas durante o ciclo da cultura permite um aumento na concentração desse íon. Pereira et al. (2013), trabalhando com um Gleissolo Háplico encontrou teores mais altos de NH_4 aos 5 e 21 dias após a inundação, sendo verificada redução na concentração de NH_4 com os dias após inundação. Outro fator que pode influenciar este aumento é a liberação do amônio fixado no solo. Moore (1965) demonstrou a presença de amônio fixado, em alguns solos superficiais, em quantidades que variavam entre 158 e 300 ppm. Allison et al. (1953) verificaram que a secagem do solo aumenta a fixação do amônio e que, o umedecimento causa a liberação do N-NH_4^+ para a solução.

Verificou-se um decréscimo inicial de NO_3^- e um aumento após os 50 dias de inundação (Tabela 3.3). Carvalho (2011), estudando mudanças químicas na solução do solo de várzea sob cultivo de arroz irrigado, em um Gleissolo Háplico, encontrou uma redução na concentração de nitrato na solução do solo nos primeiros dias após a inundação. Apesar, de se esperar uma redução do teor de NO_3^- ao longo do período alagado, o aumento na concentração desse elemento em solução observado no presente estudo, pode estar ligado as adubações nitrogenadas de cobertura e possíveis condições de anaerobiose não bem estabelecidas (Tabela 3.2), as quais, segundo Ponnampertuma (1972) levam as perdas do nitrato para atmosfera por desnitrificação, não permitindo sua estabilização sob a forma de NH_4^+ .

3.4 CONCLUSÕES

As fontes nitrogenadas utilizadas não interferem na dinâmica de liberação dos nutrientes para solução do solo.

A condição de anaerobiose causa modificações no estado de oxirredução e altera a solubilidade dos nutrientes estudados na solução do solo.

As doses aplicadas alteraram as concentrações de Ca e MOS na solução, sendo a dose de 150 kg ha^{-1} de N a que apresentou os maiores valores para ambos.

4. EFEITOS DE DOSES E FONTES NITROGENADAS NA FERTILIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM PLANÍCIES INUNDAVEISTROPICAIS

RESUMO

As plantas de arroz precisam que nutrientes estejam prontamente disponíveis nos momentos de maior demanda, de forma a não limitar a produtividade (Lopes, 2013). O objetivo do presente trabalho foi determinar os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio em solos planícies inundáveis tropicais, sobre a fertilidade do solo e produtividade de grãos. As amostras foram coletadas na safra 2014/2015 no Campo Experimental da Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, em Gleissolo Háplico. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo duas fontes de nitrogênio (ureia comum e ureia de liberação lenta), três doses de N aplicadas em cobertura (30, 70, 150 kg ha⁻¹), e a testemunha absoluta, sem aplicação alguma de N mineral. Foram realizadas três coletas nas parcelas experimentais: 1) antes de aplicar os tratamentos e incorporar adubação verde, para caracterização; 2) após a colheita do arroz ao final do período experimental e 3) após a incorporação dos restos culturais de arroz. As seguintes variáveis foram avaliadas no estudo da fertilidade do solo: pH em água, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn e Zn, teor de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT). Também foi determinada a produtividade de grãos. Os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, alumínio, manganês e zinco no solo não foram afetados pelas fontes e doses nitrogenadas aplicadas. O tempo influenciou na disponibilidade dos elementos alumínio, manganês, nitrogênio, potássio e zinco no solo. Observou-se incremento na produtividade de grãos aos tratamentos testados.

Palavras-chaves: química do solo, *Oryza sativa*, uso eficiente de nitrogênio.

ABSTRACT

The rice plants need readily available nutrients when high demand is required, without limitation over productivity. The objective of this study was to determine the effects of different sources and doses of nitrogen in tropical lowland soils, on soil

fertility and grain yield. The samples were collected in the 2014/2015 season at the Embrapa Rice and Beans Experimental Field - Palmital Farm -, in a Dystric Gleysol. The experimental design was a completely randomized design with four replications, two sources of nitrogen (common urea and urea slow release), three nitrogen rates broadcast applied (30, 70, 150 kg ha⁻¹), and control without any N application. Three samples were collected in experimental plots: 1) before treatments apply and incorporate green manures for characterization, 2) after the rice harvest and, 3) after the incorporation of rice crop residues. The following variables were evaluated in soil fertility study: pH, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn and Zn, total carbon and total nitrogen. Also was determined the yield. The contents of calcium, magnesium, phosphorus, potassium, aluminum, manganese and zinc in the soil were not affected by sources and doses applied, however the time influenced the availability of aluminum elements, manganese, potassium and zinc in the soil. The grain yield increase.

Keywords: soil chemistry, *Oryza sativa*, nitrogen use efficiency.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz pode ser considerada extremamente versátil, pois se adapta a diferentes condições de solo e clima, possuindo grande potencial para o combate à fome no mundo (Magalhães Júnior et al., 2008). Por proporcionar menor risco de produção, o cultivo em áreas inundáveis tem apresentado crescimento e altas produtividades, ano após ano. As “várzeas” brasileiras apresentam alto potencial de produção agrícola Fageria et al. (1994), porém, devido a dinâmica de nutrientes desse ambiente de produção ser diferenciada, necessita de manejo de fertilidade e adubação, bem estabelecido para assegurar altas produtividades e baixo impacto ambiental (Sousa et al., 2000). Yoshida (1981) relatou que a eficiência agrônômica nas regiões tropicais, geralmente, situa-se na faixa de 15 a 25 kg de arroz produzido por quilograma de N aplicado.

A maioria dos solos de várzeas presentes no Cerrado são ácidos e de baixa fertilidade reduzindo, significativamente, os teores de nutrientes disponíveis após dois ou três cultivos (Vahl, 1999). A adubação mineral é vista como uma das melhores opções para correção química desses solos. No entanto, a utilização da adubação

mineral dever ser feita de forma criteriosa, com doses, fontes e épocas de aplicação ajustadas, a fim de proporcionar produtividade economicamente viável e menores riscos ambientais de contaminação de solo e água. Tem Berge & Riethovem (1997), ao relatarem resultados obtidos na China sobre a dose adequada de N, na produção de arroz irrigado, concluíram que para cultivares de ciclo médio (135 dias), a dose adequada é de 100 a 150 kg ha⁻¹.

No manejo da fertilidade do solo, um dos elementos mais influenciados nos sistemas de produção de arroz irrigado é o nitrogênio (N), o qual é requerido pela cultura em grandes quantidades e proporciona maior resposta em termos de produtividade de grãos (Duarte et al., 2007). A deficiência de N na cultura de arroz irrigado, nos solos de várzeas do Brasil Central, é frequentemente observada (Fageria et al., 2003). Para realização de adubações racionais e aumento na eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz, é indispensável o entendimento da dinâmica do nutriente nesse tipo de solo. Porém, o N apresenta uma dinâmica extremamente complexa no cultivo do arroz irrigado por inundação, com grande variabilidade em suas formas químicas em função da umidade do solo (condições aeróbias ou anaeróbias), refletindo diretamente sobre a eficiência do aproveitamento do nutriente pela cultura (Fillery et al., 1984).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, devido a sua alta concentração de N e o seu menor custo por unidade de N em relação aos demais adubos que contêm esse nutriente (Tasca et al., 2011). Um dos aspectos desfavoráveis do uso desse fertilizante são as grandes perdas por volatilização de amônia, quando aplicado em superfície. Os inibidores inorgânicos de maior interesse e que têm mostrado capacidade de inibir a urease são o cobre e o ácido bórico, pela possibilidade de também serem utilizados para nutrição das plantas, porém, não há certeza sobre a eficiência e a dose necessárias desses inibidores para reduzir a perda de NH₃ (Soares, 2011). Há no mercado alguns fertilizantes que têm como base a ureia coberta por Cu e ácido bórico, porém não há resultados mostrando a eficiência desses fertilizantes (Soares, 2011).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi determinar os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio em solos de planícies inundáveis tropicais, sobre a fertilidade do solo e produtividade de grãos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campo, na Fazenda Palmital, Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Goianira, GO, entre as coordenadas 16° 26' 14" latitude S, 49° 23' 50" longitude W e altitude de 720 m. O clima predominante na região é o tropical sub-quente, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (outubro - abril) e outra seca (maio - setembro), de acordo com IBGE (1978). A temperatura média anual é de 22,6°C, com menor média de temperaturas mínimas ocorrendo em junho (14,2°C) e a maior média de temperaturas máximas (31,7°C), no mês de setembro (Oliveira e Rodrigues, 2012) e precipitação média anual de 1.485 mm.

O estudo foi conduzido em um Gleissolo Háptico textura média – média/arenosa (Oliveira & Rodrigues, 2012), sob cultivo de arroz irrigado por inundação em sistema convencional há, aproximadamente, 40 anos. As amostras foram coletadas na safra 2014/15. A cultivar utilizada foi a BRS Catiana, de ciclo médio, classe longo fino, altura média de 102 cm e, produtividade média de 7000 kg ha⁻¹.

Avaliaram-se duas fontes de nitrogênio (ureia comum (UC) e ureia com inibidor de urease (UI)), três doses de N (30, 70, 150 kg ha⁻¹), sendo que 30 kg ha⁻¹ de N, 39 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ K₂O foram aplicados em linha na semeadura e o restante da dose de N em cobertura, à lanço, no estágio de diferenciação de panículas. Considerou-se ainda uma testemunha absoluta (controle), sem aplicação alguma de N mineral. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

No dia 10/10/2014 foi realizada incorporação de adubo verde (milheto+crotalária) nas parcelas, inclusive na testemunha absoluta, em um volume de matéria seca de 5579,2 kg ha⁻¹ no bloco 5892,9 kg ha⁻¹ no bloco 5140,7 kg ha⁻¹ no bloco 3 e 6497,1 kg ha⁻¹ no bloco 4.

A semeadura foi realizada em 23/10/2014, a data de emergência foi 04/11/2014, as parcelas foram inundadas em 30/11/2014, e a data de emissão de panículas 27/01/2015. As doses de P e K foram calculadas conforme análise prévia de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros na camada de 0-20 cm na área 48 (Blocos 1 e 2): pH: 5,7; Ca: 3,31 cmol/dm³; Mg: 0,88 cmol/dm³; Al: 0,10 cmol/dm³; P: 0,33 cmol/dm³; K: 0,11 cmol/dm³ e M.O: 5,68 %. Na área 49 (Blocos 3 e 4): pH: 5,4; Ca: 2,35 cmol/dm³; Mg: 0,74 cmol/dm³; Al: 0,25 cmol/dm³; P: 0,47 cmol/dm³; K: 0,097 cmol/dm³ e M.O: 3,45 %.

Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, com auxílio de um trado holandês, sendo cada amostra composta por três sub-amostras retiradas aleatoriamente dentro de cada parcela. As amostras de solo foram colocadas em sacos plástico limpos e encaminhadas ao laboratório para análise. Ao chegarem do campo, as amostras foram secas em estufa a 70 °C e tamisadas em peneira de malha de 2mm. Foram realizadas três coletas nas parcelas experimentais, 1) antes de aplicar os tratamentos e incorporar adubação verde, para caracterização, 2) após a colheita do arroz ao final do período experimental e, 3) após a incorporação dos restos culturais do cultivo de arroz.

As seguintes variáveis foram avaliadas no estudo da fertilidade do solo: pH em água determinado usando o método do eletrodo (Thomas, 1996); P e K extraídos com uso de solução diluída de ácidos fortes (0.05 M HCl + 0.0125 M H₂SO₄; Mehlich I) conforme (Kuo, 1996). Fósforo determinado pelo método colorimétrico Embrapa (2009) e o K por espectroscopia por emissão de chama (Wright and Stuczynski, 1996). Cálcio e Magnésio foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica (Embrapa, 2009). Os elementos, Fe, Mn e Zn foram extraídos com o uso de solução Mehlich I e determinados por espectroscopia de absorção atômica (Embrapa, 2009). O teor total de carbono e nitrogênio total no solo foi determinado pelo método Dumas, após peneiramento das amostras em peneira de malha 0,2 mm. Amostras de, aproximadamente, 2mg foram analisadas em analisador elementar PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O (Nelson and Sommers, 1996). Para determinar a produção de grãos, foram coletadas quatro fileiras centrais de 2,5 m cada, tendo-se deixado 2 linhas nos dois lados, como bordadura. Os resultados foram avaliados através de análises de regressão para os fatores significativos (P<0,05), com o uso do software R (Team, 2013).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos aplicados, combinando fontes e doses nitrogenadas, influenciaram significativamente apenas os teores de Carbono Total (CT), Nitrogênio Total (NT) e de ferro (Fe) do solo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Resumo do quadro de análise de variância com as variáveis alumínio (Al), cálcio (Ca), carbono total (CT), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), nitrogênio total (NT) fósforo (P), pH e zinco (Zn) de um Gleissolo Háplico amostrado 0, 175 e 290 dias após o cultivo de arroz irrigado na safra 2014/2015, em Goianira – GO

F.V	Pr(>F)										
	Al	Ca	CT	Fe	K	Mg	Mn	NT	P	pH	Zn
Antes da Semeadura (0 dias)											
Bloco	3,23 ^{-06***}	3,49 ^{-11***}	1,49 ^{-08***}	8,13 ^{-08***}	0,07	1,19 ^{-11***}	0,001 ^{***}	8,24 ^{-08***}	0,0004 ^{***}	3,1 ^{-07***}	0,0398 [*]
Fonte	0,30	0,26	0,88	0,04 [*]	0,11	0,45	0,20	0,92	0,06	0,07	0,68
Dose	0,59	0,89	0,18	0,94	0,94	0,34	0,89	0,19	0,25	0,68	0,65
Fonte x Dose	0,91	0,96	0,57	0,49	0,93	0,60	0,44	0,63	0,26	0,74	0,06
175 dias após a semeadura											
Bloco	1,98 ^{-07***}	4,02 ^{-13***}	8,86 ^{-08***}	2,36 ^{-08***}	0,0016 ^{**}	3,6 ^{-11***}	2,58 ^{-06***}	8,03 ^{-08***}	0,0036 ^{**}	0,00016 ^{***}	0,0078 ^{**}
Fonte	0,86	0,36	0,44	0,84	0,22	0,21	0,50	0,48	0,48	0,74	0,24
Dose	0,97	0,06	0,04 [*]	0,56	0,38	0,07	0,19	0,05 [*]	0,58	0,68	0,34
Fonte x Dose	0,19	0,63	0,66	0,29	0,76	0,52	0,70	0,69	0,32	0,46	0,15
290 dias após a semeadura											
Bloco	1,74 ^{-07***}	1,27 ^{-15***}	8,38 ^{-12***}	2,46 ^{-07***}	0,0158 [*]	8,15 ^{-12***}	7,4 ^{-08***}	3,79 ^{-12***}	0,010 [*]	9,31 ^{-13***}	2,75 ^{-06***}
Fonte	0,08	0,77	0,59	0,06	0,17	0,59	0,22	0,46	0,72	0,06	0,32
Dose	0,98	0,32	0,22	0,85	0,56	0,13	0,89	0,18	0,10	0,24	0,98
Fonte x Dose	0,60	0,24	0,53	0,13	0,75	0,61	0,07	0,58	0,15	0,11	0,46

(***), (**), (*) Significativo a 0,001; 0,01; 0,05 % de probabilidade, respectivamente.

Na avaliação realizada antes da implantação do experimento, o teor de carbono total não apresentou diferença entre as parcelas que iriam receber as diferentes fontes de N, atestando a homogeneidade do solo a ser avaliado (Figura 4.1A).

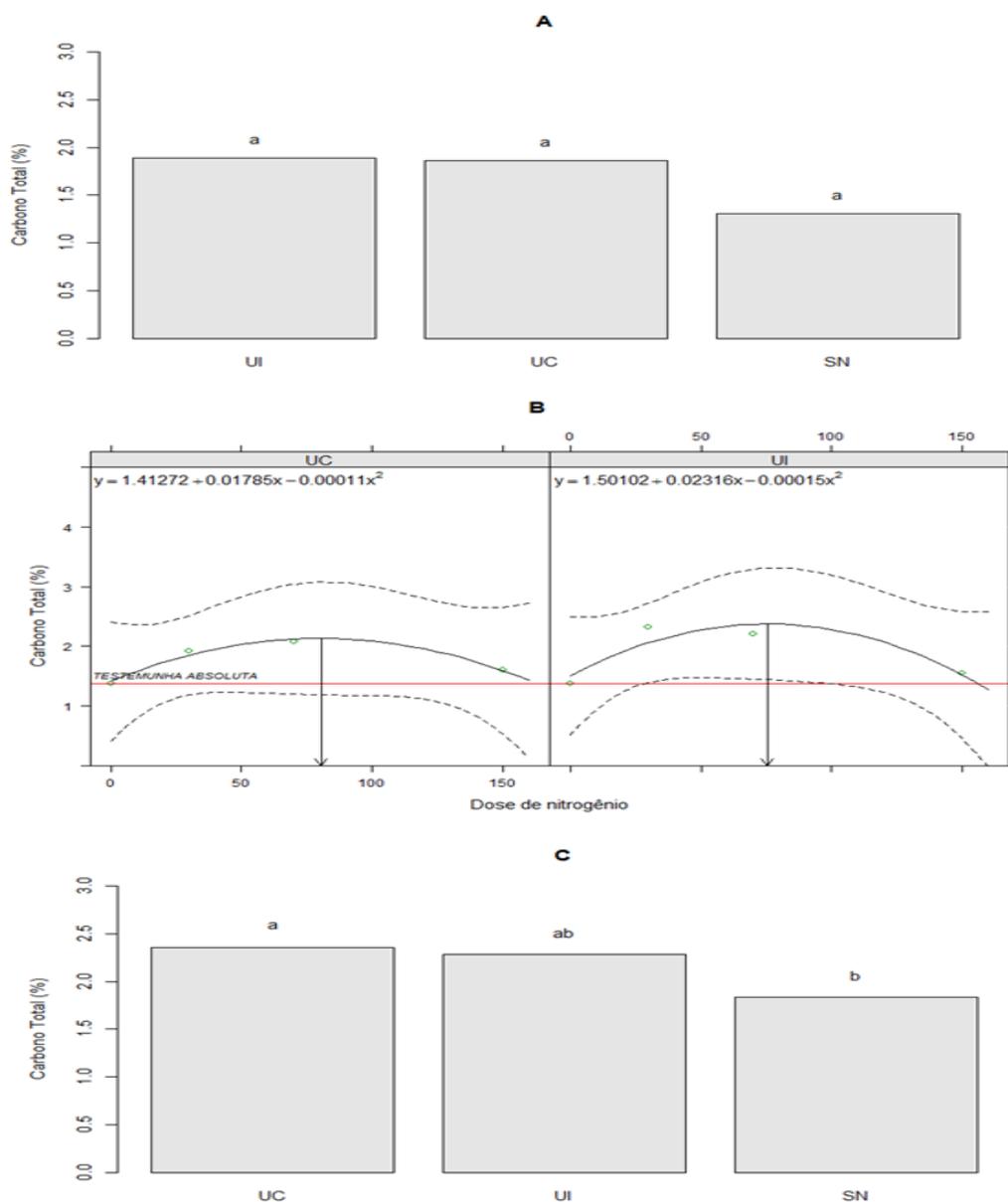


Figura 4.1. Influência de fontes e doses de nitrogênio na concentração de CT ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias.

Após a colheita da cultura do arroz, o teor de carbono total diferiu em função das fontes e doses de nitrogênio avaliadas. Para a ureia comum, a maior concentração de CT (2,14%) foi observada com a utilização de 81,74 kg ha⁻¹. Nas parcelas que foram adubadas com ureia com inibidor de urease a maior concentração de CT (2,39%) foi obtida com a aplicação de 77,2 kg ha⁻¹ de N (Figura 4.1B), em ambos os casos foram superiores aos valores obtidos na testemunha. Esses valores estão dentro da faixa encontrados por Rhoden et al. (2006) que trabalhando com quinze solos diferentes, em dois cultivos sucessivos de arroz irrigado, encontraram valores de CT variando de 0,44 até 3,72 %, Possivelmente, o maior estoque de CT nas parcelas adubadas com nitrogênio se deve ao maior aporte de resíduos vegetais pela cultura durante seu ciclo, em decorrência do maior desenvolvimento vegetativo do arroz.

A maior proporção do C orgânico em solo de várzea, comparado a solos aerados, deve se provavelmente ao efeito de excesso hídrico, o que limita a atividade microbiana do solo e contribui para a manutenção de maiores estoques de C em frações lábeis da MOS no solo (Olk et al., 2000). Por ocasião da incorporação dos restos culturais aos 290 dias após a primeira coleta, observou-se um incremento nos teores de CT. As fontes nitrogenadas não diferiram entre si, todavia, a testemunha apresentou menor estoque de carbono total (Figura 4.1C).

Trabalhos conduzidos por Nascimento et al. (2009) relatam que sistemas que priorizam o acúmulo de resíduo vegetal sobre o solo, favorecem o aumento do estoque de C no solo. Essa afirmação, possivelmente justifica o fato da testemunha não apresentar diferença significativa em relação às áreas que receberam adubação protegida (Figura 4.1C), pois mesmo as parcelas testemunha tiveram restos culturais incorporados, portanto, tiveram aporte de material orgânico para a elevação do teor de CT dessas áreas.

Com relação à dinâmica do nitrogênio nas áreas cultivadas na coleta antes da implantação do experimento não foi observada diferença nas concentrações de nitrogênio no solo (Figuras 4.2 A) demonstrando a uniformidade das áreas avaliadas.

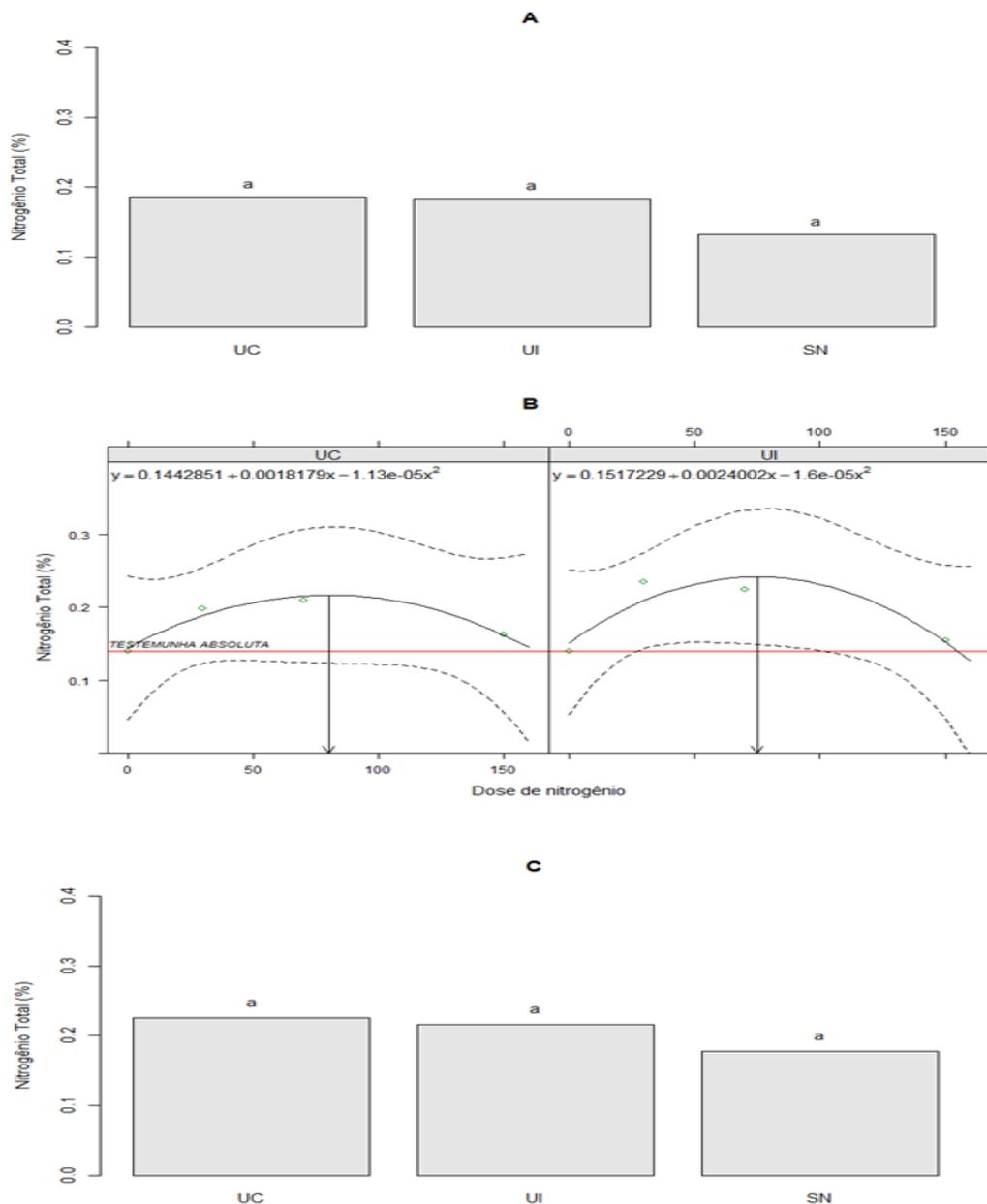


Figura 4.2. Influência de fontes e doses de nitrogênio na concentração de NT no solo ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa o tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias.

Nas amostras coletadas aos 175 dias, se observou interação significativa entre as fontes de nitrogênio e as doses avaliadas (Figura 4.2B). Para a ureia comum, a maior porcentagem de nitrogênio total (0,22%) observada com a aplicação da dose estimada de (80,44 kg ha⁻¹). Já com o uso da ureia com inibidor de uréase, a maior concentração de nitrogênio (0,24%) foi obtida com a utilização da dose estimada de 75 kg ha⁻¹. Em ambas as situações, os valores obtidos são superiores aos observados

na testemunha, devido ao suprimento de N nas áreas através das adubações aplicadas via fertilizante.

Na avaliação realizada após a incorporação dos restos culturais, não foram observadas diferenças significativas entre áreas que receberam adubação nitrogenada e a testemunha absoluta (Figura 4.2C). Possivelmente esse comportamento é justificado pela absorção pelas plantas já que, depois do potássio o nitrogênio é o nutriente mais requerido pelo arroz e as perdas de nitrogênio ocorrem com facilidade. A lixiviação de nitrato, a volatilização do NH_3 , e as desnitrificações são consideradas as principais formas de perda do N disponível às plantas, e são influenciadas diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo, temperatura, aumento do pH do solo e teor de matéria orgânica (Fageria & Stone, 2003). Nos solos de várzea, a entrada de água para o cultivo do arroz irrigado por alagamento promove alterações químicas, físicas, físico-químicas e biológicas Scivittaro & Machado (2004) e, a decomposição da MOS torna-se mais lenta do que em solo bem drenado (ambiente aeróbico). Entretanto, como as bactérias que realizam a decomposição da MOS em ambientes anaeróbicos exigem menos N para suas funções vitais, a liberação do elemento no solo é mais rápida em condições alagadas e, após a mineralização, a maior parte do N permanece na forma amoniacal (Vahl, 1999).

Outro fator que pode ter colaborado para a não diferença entre os tratamentos e a testemunha, fornecendo um maior aporte de N para o solo, foi a incorporação de adubação verde (crotalária+milheto) antes do cultivo do arroz. A crotalária é frequentemente recomendada em sistemas agroecológicos para a utilização como adubo verde (Risso et al., 2009). Trabalhos conduzidos por Teodoro et al. (2011), evidenciam que a utilização de leguminosas como plantas de cobertura propiciam maior aporte de N para o solo, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho. O milheto é uma gramínea que apresenta maior relação C/N do que a crotalária, o que aumenta a permanência dos resíduos vegetais no solo, devido a menor velocidade de decomposição do material (Torres et al., 2008).

Apesar de o ferro ser nutriente essencial para as plantas, esse nutriente em excesso pode atingir níveis tóxicos para determinadas culturas, sobretudo, o arroz (Silva & Ranno, 2005). Segundo Sousa et al. (2000), os teores críticos desse nutriente para essa cultura variam entre 30 e 500 mg L^{-1} , dependendo das características intrínsecas a cada cultivar.

Apenas a primeira análise apresentou diferença entre as fontes utilizadas (Figura 4.3A), no entanto, essa coleta foi realizada antes da implantação do experimento e da aplicação dos tratamentos, portanto essa diferença é decorrente das condições pré-existentes das áreas. Nas demais avaliações, não foram observadas diferenças entre as fontes e ou entre as doses de N aplicadas.

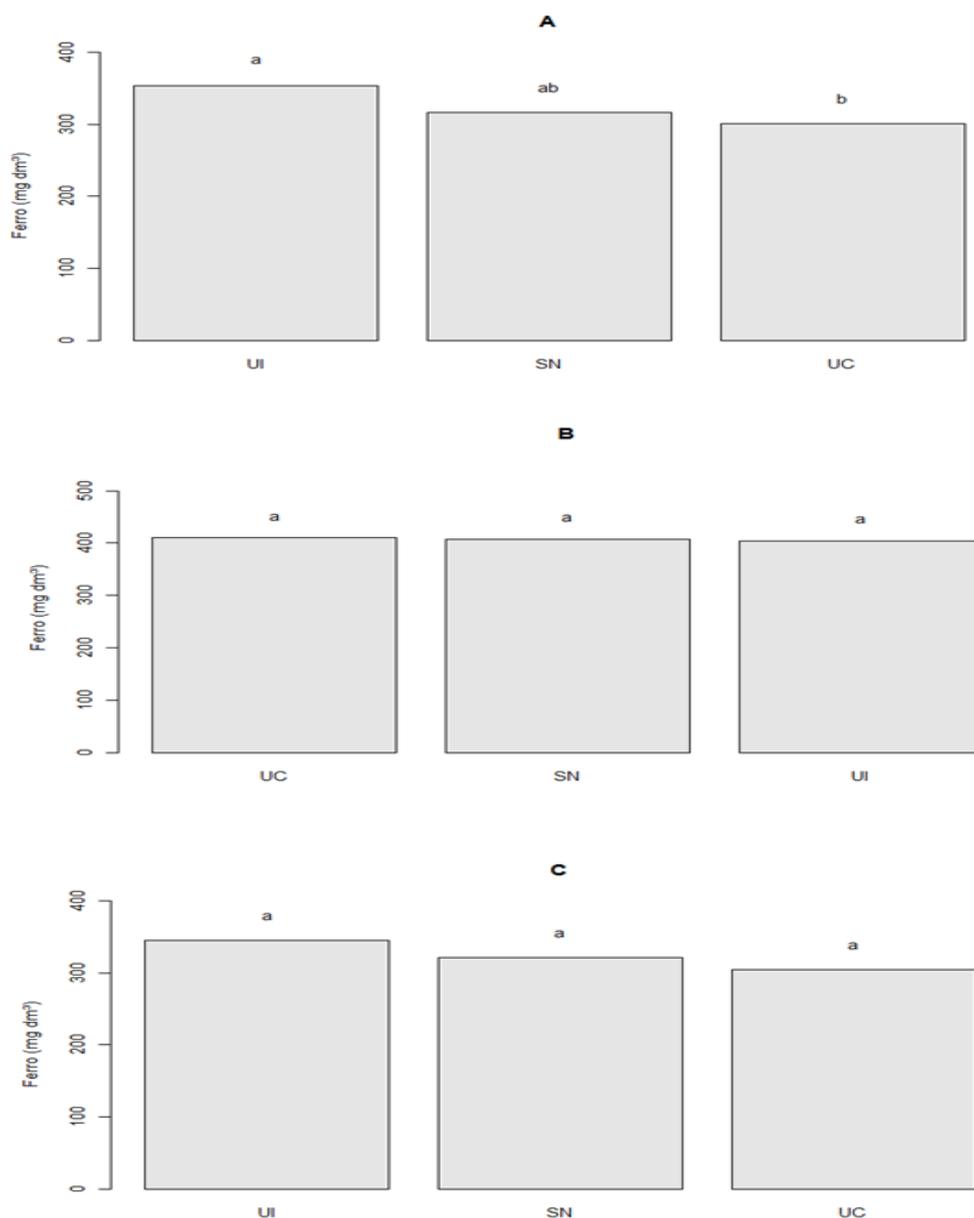


Figura 4.3. Influência de fontes e doses de nitrogênio na dinâmica de Fe ao longo do tempo, A representa o tempo 0 dias, B representa o tempo 175 dias e C representa o tempo de 290 dias.

Embora os valores de ferro observados possam estar próximos aos relatados na literatura como sendo níveis críticos para a cultura do arroz, não foi observado nenhum efeito tóxico durante a condução do experimento. Os valores observados nesse experimento estão próximos aos relatados por Silva & Ranno (2005) que conduzindo trabalhos investigativos do efeito da calagem num Gleissolo com relação a disponibilidade de nutrientes na solução do solo observaram valores médios de ferro de 392 mg L⁻¹. Segundo os autores o alagamento do solo, além de aumentar o pH eleva a solubilização de óxidos de ferro, liberando Fe⁺², o que aumenta sua concentração.

O tempo influenciou significativamente a dinâmica de alumínio, manganês, potássio e zinco. Estes elementos tiveram uma resposta linear com relação ao tempo transcorrido entre as coletas de solo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Médias, equações de regressão e coeficiente de variação (CV) da dinâmica dos atributos químicos ao longo do tempo de Gleissolo Háplico um cultivado com arroz irrigado na safra 2014/2015, Goianira - GO.

Variáveis	Tempo			Equação de Regressão; R ²	CV (%)
	0 dias (n=28)	175 dias (n=28)	290 dias (n=28)		
Alumínio	4,62	7,00	6,85	Y = 4,838+0,008X; 0,113	34.72
Cálcio	22,67	19,62	19,86	Y= 20,71; ns ⁽¹⁾	14.19
Carbono Total	1,80	1,86	2,25	Y= 1,97; ns	34.74
Ferro	326,11	407,64	324,25	Y= 352,66; ns	23.46
Fósforo	44,70	48,03	43,18	Y=45,30 ;ns	22.81
Magnésio	6,62	6,35	6,18	Y= 6,38; ns	19.21
Manganês	26,97	31,59	41,10	Y= 25,955+0,047X ;0,138	37.83
Nitrogênio Total	0,18	0,19	0,21	Y= 0,19; ns	36.63
Ph	5,22	5,27	5,15	Y= 5,21; ns	3.47
Potássio	163,50	28,29	59,43	Y= 144,626-0,393X; 0,502	51.78
Zinco	15,35	4,50	3,90	Y= 14,325-0,041X ;0,777	28.35

¹ns = P>0,05.

Os níveis de alumínio no solo tiveram um acréscimo contínuo durante o período estudado, registrando os maiores níveis aos 290 dias (Figura 4.4). Já que, após a drenagem do solo, por se tratar de um solo ácido o pH tende a diminuir e isso implica no aumento da concentração de alumínio trocável. Segundo Lopes e Guilherme (2004), em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável, em valor absoluto, e menores os teores de Ca, Mg e K. De acordo com Olivie-Lauquet et al. (2001), o aumento do Al em solução estaria relacionado com o aumento dos teores de Fe e Mn. Isto é, com a solubilização dos compostos de Fe e Mn, o Al associado a esses óxidos também seria liberado em solução, aumentando sua

mobilização. De acordo com Mendonça et al. (1991), nos solos de regiões tropicais, o complexo matéria orgânica-Al é muito importante no controle da toxidez por Al. A mineralização da matéria orgânica pode acarretar grande liberação de Al^{3+} para a solução de solo.

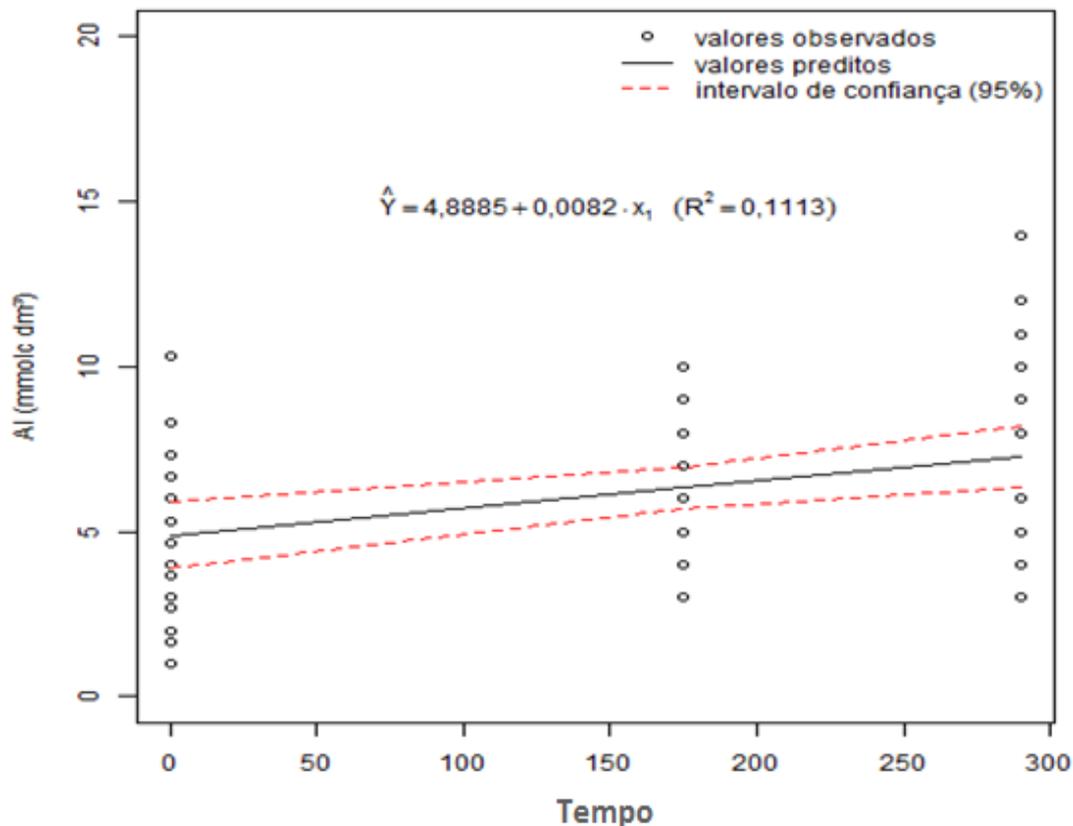


Figura 4.4. Dinâmica de Al ao longo do tempo.

Assim como o alumínio, o manganês teve um acréscimo em suas concentrações ao longo do período estudado. O aumento na concentração deste elemento possivelmente deveu-se à redução dos óxidos mangânicos Ponnampuruma (1972), no período em que o solo ficou inundado, porém mesmo depois da drenagem devido à frequentes chuvas, o solo ficou bastante encharcado. As reações de Fe e Mn nos processos de redução são consideradas as mais importantes, devido sua maior concentração em solos inundados (Fageria et al., 2002). O aumento da concentração de manganês na solução do solo, embora benéfico para o arroz, pode, sob determinadas situações, atingir níveis tóxicos prejudicando as plantas. Essa toxidez dificilmente é constatada, diferentemente da toxidez por ferro, que já foi constatada

em lavouras de praticamente todos os estados produtores de arroz irrigado no Brasil (Sousa et al., 2000).

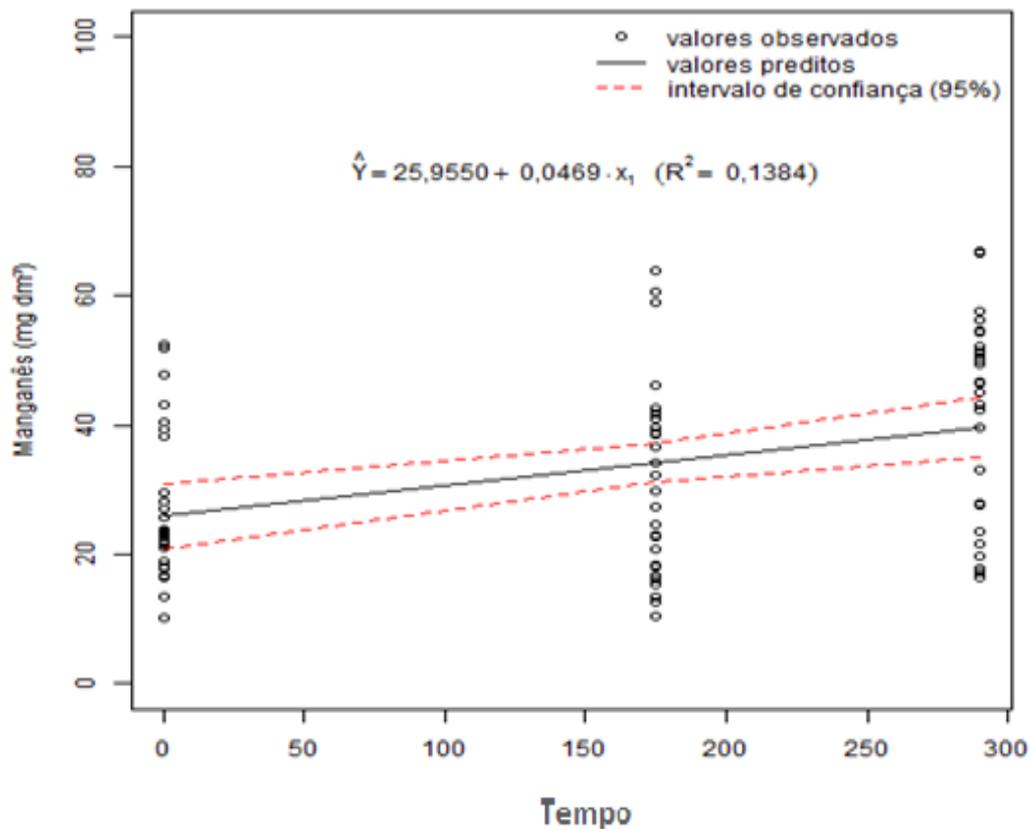


Figura 4.5. Dinâmica de Mn ao longo do tempo.

Os níveis de potássio no solo decresceram no decorrer das avaliações, sendo que aos 175 dias foram registradas as menores medias (Figura 4.6). Esse decréscimo, possivelmente, ocorreu devido à absorção da planta que é bastante exigente nesse nutriente, e as perdas por lixiviação. O potássio é um nutriente essencial para vários processos fisiológicos e bioquímicos na planta, sendo extraído em maior quantidade em cultivares modernas de arroz irrigado (Fageria e Santos, 2003). Empregando o sistema de irrigação por inundação contínua corrente no arroz irrigado Beltrame et al. (1992) determinaram que a quantidade lixiviada de íon potássio correspondeu a 98,4% do potássio aplicado. Moraes & Freire (1974) relataram que, devido à submersão, o aumento da concentração de Mn^{2+} e Fe^{2+} solúveis causa deslocamento dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ para a solução do solo e aumenta as perdas desses por lixiviação.

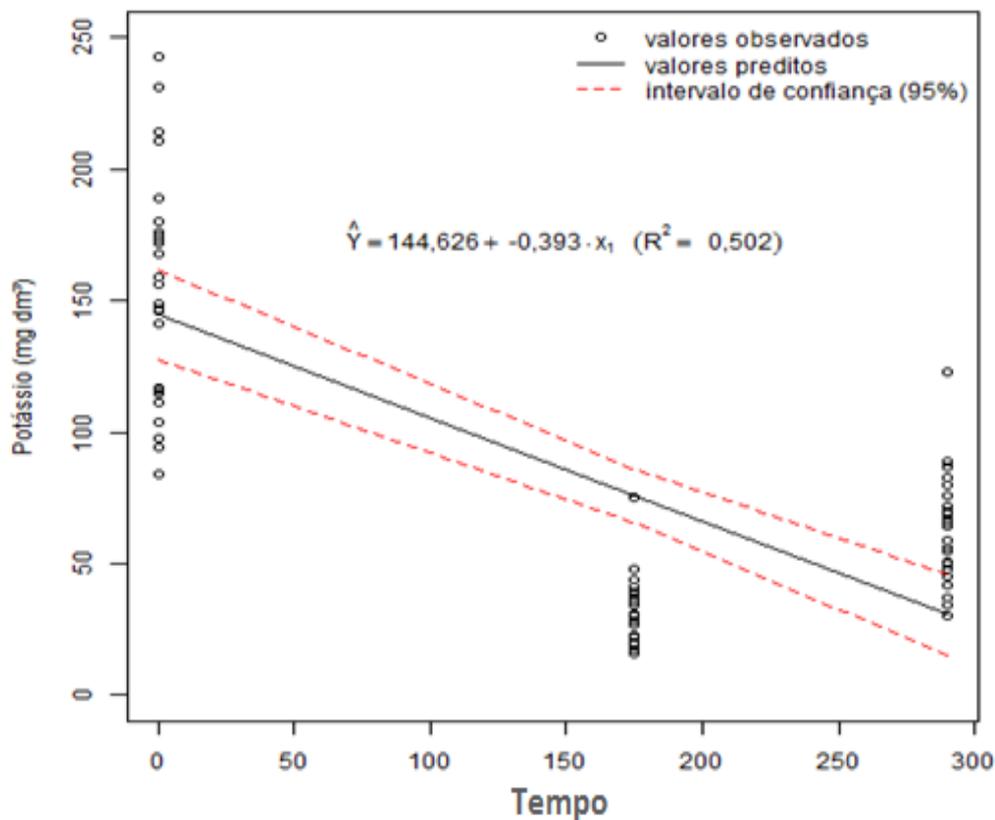


Figura 4.6. Dinâmica de K ao longo do tempo.

Em comparação com a análise aos 175 dias, aos 290 dias houve um aumento nos teores de potássio, que pode estar relacionado com a incorporação dos restos culturais, já que grande quantidade do nutriente se acumula na planta, sendo uma pequena parte exportada nos grãos. Fornasieri Filho e Fornasieri (2006) relataram que apenas 10% do potássio aplicado encontram-se nos grãos e é exportado. Cardoso et al. (2015) estudando a exportação de nutrientes pela cultura do arroz encontraram que o potássio, dentre os nutrientes estudados foi o menos exportado.

Houve um decréscimo na concentração de zinco ao longo do período estudado (Figura 4.7). A coleta de solo após a colheita aos 175 dias foi a época que registrou os menores teores, na última coleta observou-se um pequeno incremento em relação à coleta dos 175 dias. Esse decréscimo na sua concentração após o alagamento, pode ser devido à precipitação e ao do aumento do pH, com relação a primeira coleta. Com pH elevado, o Zn forma compostos insolúveis, como $Zn(OH)_2$ e $ZnCO_3$ (Lindsay, 1991). Depois da incorporação, já com o solo revolvido e a palha incorporada esses compostos formados, podem ter sido mais facilmente carregados pelo fluxo de água no

perfil. Dynia e Barbosa Filho (1993) constataram que a adição de palha de arroz reduziu ligeiramente os teores de Zn extraíveis.

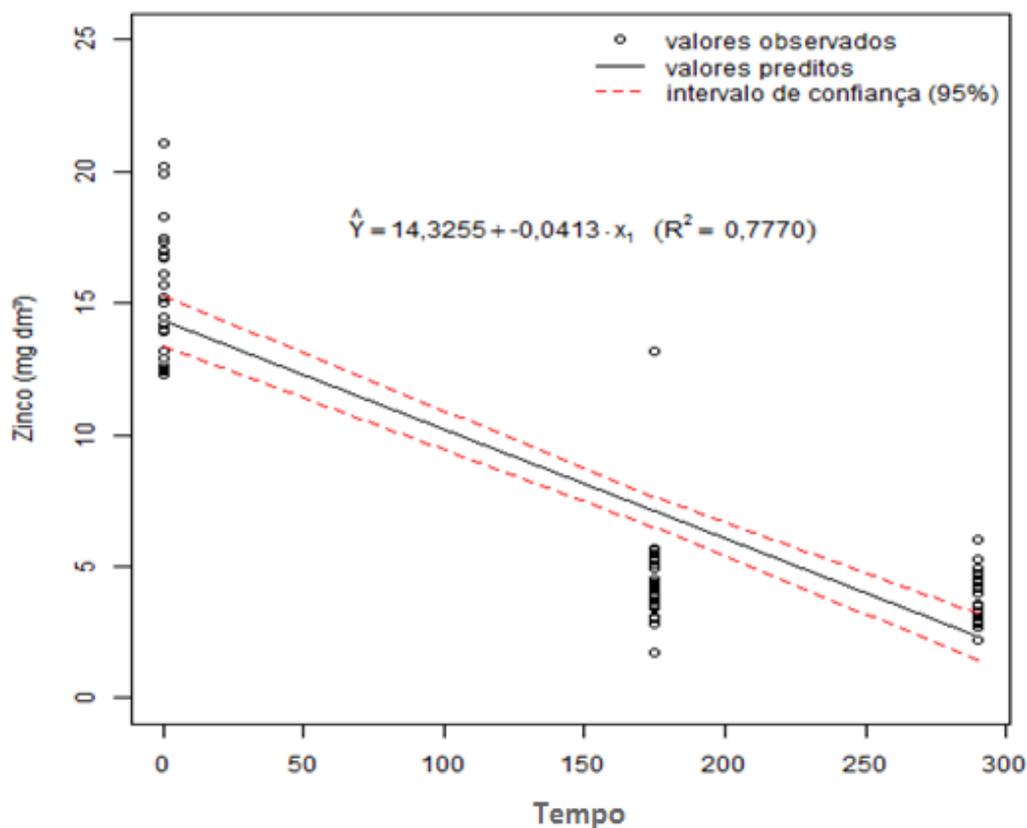


Figura 4.7. Dinâmica de Zn ao longo do tempo.

Não houve diferença estatística na produtividade de grãos com relação às fontes e as doses aplicadas, porém em todos os tratamentos as produtividades foram superiores estatisticamente do que a testemunha (Figura 4.8). Freitas et al. (2008) trabalhando em um Gleissolo Háptico com uma cultivar de ciclo médio relatou que o rendimento de grãos respondeu de forma quadrática ao incremento da dose de N. E ainda, indicou que a dose de máxima eficiência técnica foi de 132 kg ha^{-1} para obtenção do rendimento de 8.900 kg ha^{-1} de grãos. Mariot et al. (2003) relataram que a resposta da cultivar IRGA 417, no Rio Grande do Sul, foi linear, na faixa de 0 a 120 kg ha^{-1} de N, mas com a cultivar BR-IRGA 410, a resposta foi quadrática, na mesma faixa de adubação.

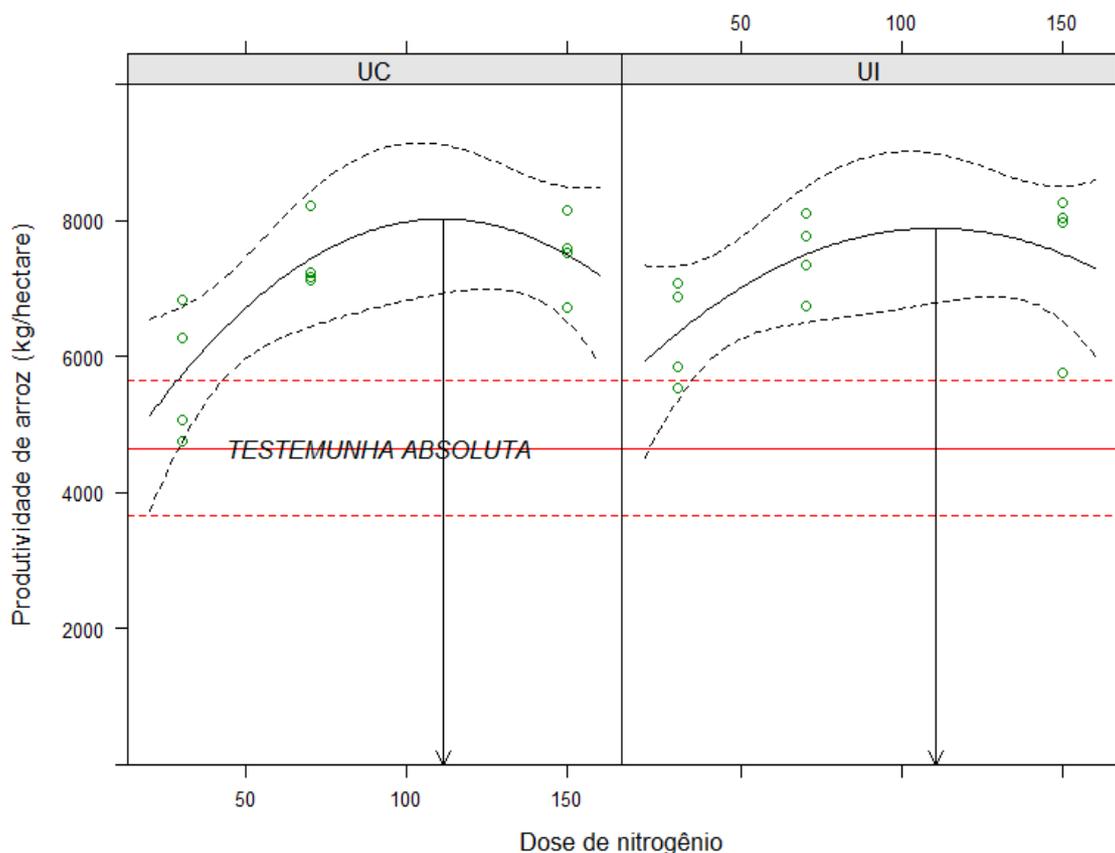


Figura 4.8. Produtividade de grãos em função de doses e fontes nitrogenadas

As produtividades deste estudo, independentemente dos tratamentos, variaram entre 4150 e 8000 kg/ha (Figura 4.8), ficando dentro da média nacional que segundo a CONAB (2016) na safra 2015/2016, foi em torno de 7100 kg/ha. Fageria et al. (2007), trabalhando com cinco genótipos num Gleissolo Háplico, em várzeas tropicais, registrou produtividade de grãos variando de 3.778 a 5.557 kg ha⁻¹, no primeiro ano, e de 3.252 a 4.578 kg ha⁻¹, no segundo ano de cultivo.

Para determinação de uma dose adequada que confere uma máxima eficiência agrônômica, vários fatores devem ser analisados, como a eficiência de absorção da cultivar, tipo de solo, mineralização de matéria orgânica, fontes utilizadas, entre outros. Para ambas as fontes as doses que conferiram máxima produtividade ficaram em torno de 115 kg ha de N (Figura 4.9). Vahl (1999) relatou que a produtividade máxima de cultivares modernas, no Rio Grande do Sul, foi obtida com a aplicação de 114 a 126 kg ha⁻¹ de N, dependendo da região e do solo. Tem Berge & Riethovem (1997), ao relatar resultados obtidos na China sobre a dose adequada de N, na produção de arroz irrigado, concluíram que, para cultivares de ciclo médio (135 dias), a dose adequada é de 100 a 150 kg ha⁻¹.

4.4 CONCLUSÕES

Os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, alumínio, manganês e zinco no solo não são afetados pelas fontes e doses nitrogenadas aplicadas.

O tempo influencia na disponibilidade dos elementos: alumínio, manganês, potássio e zinco no solo.

A produtividade de grãos responde com aumento a todos os tratamentos, independentemente da fonte e da dose nitrogenada aplicada.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram verificar que, as alterações das propriedades químicas que acompanham a inundação do solo são determinantes para o manejo e sustentabilidade destes ambientes de várzeas tropicais. A maioria das alterações foi consequência das novas condições de óxido-redução que ocorreram nos solos depois da inundação. O pH da solução foi superior ao do solo, independentemente do tratamento. Durante a inundação, o pH aumentou até valores próximos de 7,0 permanecendo estável até, aproximadamente, 40 dias após a inundação.

Em termos de nutrição de plantas, a inundação proporcionou efeitos benéficos, tais como, aumento na disponibilidade da maioria dos nutrientes e também efeitos prejudiciais como a diminuição da disponibilidade de zinco e aumento excessivo de ferro. Em geral, não houve diferença entre as fontes nitrogenadas (ureia comum e nitromais) na dinâmica dos nutrientes. Há efeito significativo da aplicação de nitrogênio na produtividade de grãos.

6 REFERÊNCIAS

AGEITEC – Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. **Cultivo de Arroz em Terras Altas**. Autores: Carlos Magri Ferreira e Patrício Mendez Del Villar. EMBRAPA, Brasil, 2003, Disponível no Site: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/importancia.htm> Acesso em 10 out 2015.

AGROLINK. **Características do Arroz (Oryza sativa)**. Autor: José Luis da Silva Nunes. 2010. Disponível em: www.agrolink.com.br/culturas/arroz/caracteristicas.aspx. Acesso em 12 nov 2015.

AITA, C; HUBNER, A. P.; ANTONIOLLI, Z.I; FRIES, R.M. **Microbiologia agrícola**. Santa Maria, 2003, 121 p, mimeografado.

Allison, F.E., Janet, H.D. & Bolier, R.M. 1953. **Availability of fixed nitrogen in soils containing different clay minerals**. *SoilsSci.* 75:301-382.

ARROZEIRA. ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL. IRGA – Instituto Riograndense do Arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, RS, v. 59, n 452, fev. 2010a. 42p.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p.215-230, 2000.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. **Agronomy and Physiology of Tropical Cover Crops**. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 1287-1339, 2007

BELTRAME, L.F.S.; IOCHPE, B.; ROSA, S.M. DA; MIRANDA, T.L.G. de. Lixiviação de íons em solo cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.203-208,1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Arroz 2010: sistema de informação. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>. Acesso em: 20 out 2015.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M.B.B. da; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J.T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p

CAMARGO, F. A.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. **Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 4, p.575-579, 1997.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, v. 29, n. 1, p. 9, 1999.

CANTARELLA, H. & MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. In: SIMPOSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2007.v.1. p.2-19

CARDOSO, E. A.; SOUZA, M. A.; FONTES, P. C. R.; SEDIYAMA, T. **Fertilização nitrogenada na absorção de nutrientes e rendimento de grãos em arroz irrigado.** Agri-Environmental Sciences, Dublin, vol. 1, n. 1 p. 39-49, 2015.

CARVALHO, G. D. **Uso de nitrogênio no cultivo arroz irrigado e seus efeitos na planta, no solo e na emissão de óxido nitroso.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.1, p. 40-44, 2007.

CHAVES, C.D.; PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 26:447-453, 1991.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011. ISSN 1983-4063.

CHAPIN, F. S. III; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology.** New York: Springer-Verlag, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO -CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Monitoramento agrícola - Cultivos de verão (safra 2015/16).** Brasília, DF: CONAB-Observatório Agrícola. 3: 182 p. 2016.

DALSGAARD T., THAMDRUP B. & CANFIELD D.E. **Anaerobic ammonium oxidation (anammox) in the marine environment.** Research in Microbiology, 156, 457-464, 2005.

DE-CAMPOS, A. B. **Effects of redox on the solution chemistry and aggregate stability of Midwest uplant soil.** 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Purdue University, USA, 2006.

DE DATTA, S. K.; BURESH, R. J.; SAMSON, M. I.; OBCEMEA, W. N.; REAL, J. G. **Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 55, n. 2, p. 543-548, 1991.

DRINKWATER, L.E.; WAGONER P.; SARRANTONIO, M.; Legume based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, v.396, p.262-265, nov. 1998

DYNIA, J.F., BARBOSA FILHO, M.P. Alterações de pH, Eh e disponibilidade de micronutrientes para arroz irrigado em um solo de várzea tratado com calcário e palha

de arroz em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n.1, p. 67-74, 1993.

DOBERMANN, A.; DAWE, D.; ROETTER, R.P.; CASSMAN, K.G. **Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment.** *Agronomy Journal*, v.92, p.633-643, 2000.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S. GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D.; **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.3, mai-jun, 2007.

EMBRAPA (Clima temperado) **Importância Econômica, Agrícola e Alimentar do Arroz.** 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>> Acesso em: 25/01/2016.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins: safra 2008/2009.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136 p. (Documento, 227).

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2º. Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627.

FAGERIA, N. K. **Nitrogen management in crop production.** Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group, 2014. 408.

FAGERIA, N. K.; AIDAR, H.; BARBOSA FILHO, M. P. **Solos de várzea.** In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. *Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais.* Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 305p

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

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. **Classificação e atributos físicos e químicos dos solos de várzea.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250p

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. **Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.7, p.1029-1034, jul. 2007

FAGERIA, N. K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado.** Santo Antônio de Goiás, GO, EMBRAPA/MAPA, 2003. 250 p

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. **Manejo do nitrogênio.** In: Fageria, N.K.; Stone, L.F.; Santos, A.B. *Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado.* Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 51-94.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Rice and human nutrition**. Roma, Itália, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004/en/f-sheet/factsheet3.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2015.

FILLERY, I.R.P. et al. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.914-920, 1984. Disponível em: <<http://soil.scijournals.org/cgi/reprint/48/4/914>>. Acesso em: 25 maio 2016.

Fornasieri Filho, D.; Fornasieri, J.L. **Manual da cultura do arroz**. 2.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 589p.

FREITAS, T. F. S.; SILVA, P. R. F.; MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; & VIEIRA, V. M. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2397-2405, 2008.

GUERREIRO, M. G.; VEGA, J. M.; LOSADA, M. The assimilatory nitrate-reducing system and its regulation. Annual Review of Plant Physiology, **Genamics Journal Seek**, v. 32, p. 169-204, 1981.

IBGE. Mapa Brasil Climas. AMBIENTAIS, D. D. R. N. E. E. Rio de Janeiro: Ministério do planejamento, orçamento e gestão; Diretoria de Geociências 1978. **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**. Rio de Janeiro: IBGE. 29: 1-85 p. 2015.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE – IRRI. **World Rice Statistics 1961-2007**. disponível em http://beta.irri.org/solutions/index.php?option=com_content&task=view&id=250, acesso em 27 nov 2015.

JI, Y. et al. Effects of Urea and Controlled Release Urea Fertilizers on Methane Emission from Paddy Fields: A Multi-Year Field Study - 1-s2.0-S1002016014600527-main.pdf. **Pedosphere**, v. 24, n. 5, p. 662-673, 2014.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen -inorganic forms. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis, part 2**. 2nd. Madison, Wisconsin: ASA and SSSA, v.2, 1982. p.643.

KIRK, G. **The biogeochemistry of submerged soils**. Chichester: Wiley, 2004. 304 p.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: Chemical Methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, v.3, 1996. cap. 32, p.869-919.

KUYPERS, M. M. M.; LAVIK, G.; THAMDRUP, B. Anaerobic ammonium oxidation in the marine environment. In: NERETIN, L. N. (Ed.). **Past and present marine water column anoxia**. Berlin: Springer, 2006. P. 311-366.

LIESACK, W.; SCHNELL, S., REVSBECH, N. P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, v.24, p. 625-645, 2000.

LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: ORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M. , e d s . **Micronutrients in agriculture** . Wisconsin, Soil Science Society of America, 1991. p.94-112.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Interpretação de Análise de Solo – Conceitos e Aplicações**. São Paulo. ANDA Associação Nacional para o Difusão de Adubos, 2004, 64 p. (Boletim técnico, n 2).

LOPES, M. B. S. **Adubação nitrogenada na cultura do arroz em solos arenosos de várzea tropical**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2013.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et. al. Biotecnologia em arroz: principais modificações genéticas. EMBRAPA Clima Temperado, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Documentos 229**: Biotecnologia em arroz: principais modificações genéticas. Pelotas, outubro, 2008. 44p

MARIOT, C.H.P.; SILVA, P.R.F. da; MENEZES, V.G.; TEICHMANN, L.L. **Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p.233-241, 2003.

MCLATCHEY, G.P. & REDDY, K.R. 1998. Regulation of organic matter decomposition and nutrient release in a wetland soil. **Journal of Environmental Quality** 27 (5): 1268-1274.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo (Parte II – Aplicações)**. Viçosa: SBCS, 2009. 685p.

MENDONÇA, E.S.; MOURA FILHO, W. & COSTA, L.M. Organic matter and chemical characteristics of aggregates from a Red-Yellow Latosol under natural forest, rubber plant, and grass in Brazil. In: WILSON, W.S. (Ed.). **Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1991 p.185-195.

MOORE, A.W. **Fixed ammonium in some Alhertasoila**. *Can. J. Soil Sei*, 45:112-115, 1965.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25,p.1523-1528, 1990.

MORAES, J. F. V.; & FREIRE, C. I. S. **Variação do ph, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos à inundação**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 1974 p. 35-43.

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

NASCIMENTO, P.C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L.F.; VIAN, A.C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1821-1827, 2009.

NELSON, D.L.; COX, M. M. **Lehninger princípios de bioquímica**. Tradução: A. A. Simões e W. R. N. Lori. 3 ed. São Paulo: Sarvier, 2002. p. 639-640.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. **Total carbon, organic carbon, and organic matter**. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison, Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1996. p.961-1010.

OLIVEIRA, V. A.; RODRIGUES, C. **Levantamento detalhado dos solos da fazenda Palmital, município de Goianira - GO**. Viasat. Goiânia, p.81. 2012

OLIVIE-LAUQUET, G.; GRUAU, G.; DIA, A.; RIOU, C.; JAFFREZIC, A.; HENIN, O. **Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability**. Wat. Res. 35(4): 943-952, 2001.

OLK, D.; KESSEL, C. van & BRONSON, K.F. Managing soil organic matter in rice and nonrice soils: Agronomic questions. In: KIRK, G.J.D. & OLK, D.C., eds. **Carbon and nitrogen dynamics in flooded soils**. Los Baños, International Rice Research Institute, 2000. p.27-47.

ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. **Massas alimentícias de arroz: uma revisão**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos. B.CEPPA, Curitiba, v. 20, n. 2, jul./dez. 2002.

PATRICK, W.H. Jr. & REDDY, C.N. Chemical changes in rice soils. In: **Soils and Rice**. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Laguna, Philippines. 1978. p. 361-379.

PEREIRA, A. C. C.; CARVALHO, G. D.; COSTA, A. R. C.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; SANTOS, A. B. Alterações eletroquímicas e dinâmica de nitrogênio mineral em solo sob cultivo de arroz irrigado em várzeas tropicais. XXXIV Congresso brasileiro de ciência do solo. **Anais...** Florianópolis, 2013

PINTO, L. F. S. et al. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A., ed. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 1999.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Adv. Agronomy**, 24: 29-96, 1972.

PONNAMPERUMA, F.N. **Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility**. Los Baños:IRRI, 1977. 32 p. Research Paper Serie, 5.

- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991. 434p.
- RAYMOND, J.; SIEFERT, J.L.; STAPLES, C. R.; BLANKENSHIP, R. E. **The natural history of nitrogen fixation**. Molecular Biology and Evolution, Chicago, v. 21, p. 541-554, 2004.
- RICHARDSON, D.J.; WATMOUGH, N. J. Inorganic nitrogen metabolism in bacteria. **Current Opinion in Chemical Biology**, Oxford, v. 3, p. 207-219, 1999.
- RHODEN, A. C.; SILVA, L. S.; BRITZKE, D.; RANNO, S. K. Relação entre características de solos de várzea e a absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, jul-set, 2006. p. 325-331
- RHODEN, A. C.; RIGHES, A. A.; GUBIANI, E. I. Potencial Redox e pH do Solo no Sistema Mix de Pré-Germinado em Arroz Irrigado. In: Jornada Acadêmica Integrada. **Anais...** Santa Maria, 2000.
- RISSO, I. A. M.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D.; SOUZA, C. G.; ESPINDOLA, J. A. A.; POLIDORO, J. C. **Cultivo orgânico do milho consorciado com leguminosas para fins de adubação verde**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 20 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 42)
- SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. **A cultura de arroz no Brasil**. 2. ed. rev.ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000p.
- SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamento da Matéria Orgânica do Solo**. 2.ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. 636p
- SANTOS, L. M. D. **Dinâmica da matéria orgânica e destino de metais pesados em dois solos submetidos a adição de lodo de esgoto**. 2006. 142f. Dissertação (Mestrado em química analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006).
- SCHMIDT, F.; FORTES, M. A.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1226-1235, 2013.
- SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr, A. M. (Ed) **Arroz irrigado no sul do Brasil**, 1. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p.259-303.
- SILVA, E.F.F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SILVA, L. S.; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 5, p.1054-1061, 2005.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; BOHNEN, H. **Alterações no teores de nutrientes em dois solos alagados, com e sem plantas de arroz**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 3, p.48-490, 2003.

SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiologia do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312p.

SHOJI, S. et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 1051-1070, 2001.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2002, vol.26, n.2, p.343-348

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados (Reações redox). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4ª. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2010. cap. 7, p.171-196.

SOUSA, R.O. de; CAMARGO, F.A. de O.; VAHL, L.C. Solos alagados. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.127-150.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. ZINCO. In: Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura, 1988. Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: Fundação ABC, 1995. p.302-344.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 222p.

STERN, N. **Review on the economics of climate change**. Paper A: The Case for action to reduce the risks of Climate Change. Cambridge, 2006. P. 224-234.

TASCA, F.A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P.C. **Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease**. Viçosa, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:493-502, 2011.

TEAM, R. C. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

TEM BERGE, H.F.M.; RIETHOVEN, J.J.M. Application of a simple rice nitrogen model. In: ANDO, T.; FUJITA, K.; MAE, T.; MATSUMOTO, H.; MORI, S.; SEKIYA, J. (Ed.). **Plant nutrition for sustainable food production and environment**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p.793-798.

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA, D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.635-643, 2011.

THOMAS, G. W. SoilpHandSoilacidity. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: Chemical methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. cap. 16, p.475-490

TIBAU, A. O. **Mateia orgânica e fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1978. 172p.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. **Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.421-428, 2008.

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S., PAULETTO, E.A., (Eds). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clim aTemperado, 1999. p.119-162.

VAN OIJEN, M.; LEVY, P.E. Nitrogen Metabolism and plant adaptation to the environment – the scope for process-based modeling. In AMÂNCIO, S.; STULEN, I.D.H.J. (Ed.). **Nitrogen acquisition and assimilation in higher plants**. Amsterdam: KluwerAcademic, 2004. p. 133-147.

VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba. **Potafós**, 1981. 142p

WALTER, M; MARCHEZAN, E; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, 38: 1184-1192. 2008.

WANDER, A. E. A cultura. In: BORÉM, A. e RANGEL, P. H. N. (Ed.). **Arroz: do plantio à colheita**. 1. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p.09-26.

WRIGHT, R. J.; STUCZYNSKI ,T. **Atomic absorption and flame emission spectrometry**. In: *Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical Methods*, edited by D.L. Sparks, pp. 65-90. Soil Science Society of America, Madison, 1996.

WOLT, J. D. **Soil solution chemistry**: applications to environmental science and agriculture. New York: John Wiley,1994. 345p.

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

ZUMFT, W. G. **Cell biology and molecular basis of denitrification**. Microbiologyand Molecular Biology, Washington DC, v. 61, p. 533-616, 1997.