

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO MINERAL E  
PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO NA  
SUCESSÃO SOJA-AZEVÉM EM SOLO DE VÁRZEA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Juliana Lorensi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**



# **DINÂMICA DO NITROGÊNIO MINERAL E PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO NA SUCESSÃO SOJA-AZEVÉM EM SOLO DE VÁRZEA**

**Juliana Lorensi**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lorensi, Juliana  
DINÂMICA DO NITROGÊNIO MINERAL E PRODUTIVIDADE DO  
ARROZ IRRIGADO NA SUCESSÃO SOJA-AZEVÉM EM SOLO DE VÁRZEA  
/ Juliana Lorensi.-2011.  
128 p.; 30cm

Orientador: Leandro Souza da Silva  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2011

1. Rotação de culturas 2. Sucessão de culturas 3.  
Adubação nitrogenada 4. Oryza sativa 5. Nitrogênio  
mineral I. Souza da Silva, Leandro II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO MINERAL E PRODUTIVIDADE DO  
ARROZ IRRIGADO NA SUCESSÃO SOJA-AZEVÉM EM SOLO DE  
VÁRZEA**

Elaborada por

**Juliana Lorensi**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Ciência do Solo

**Comissão Examinadora:**

---

**Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)**

---

**Rogério Oliveira de Sousa, Dr. (UFPEl)**

Santa Maria, 31 de agosto de 2011.



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Celito e Maria, e ao meu noivo Enrique que contribuíram para a minha evolução até a finalização desta etapa, e especialmente à minha amada filha Giulia, que transforma cada dia da minha existência em único e inesquecível.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por cuidar sempre tão bem de mim e das pessoas que amo e pela jornada que me propôs, cheia de desafios e oportunidades de evolução.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos, e concessão de bolsa de iniciação científica e auxílio financeiro.

A minha filha Giulia Lorensi Gonçalves, pela paciência, amor e carinho dedicados, mesmo com a distância física que nos separou durante muito tempo... Essa é primeiramente uma conquista sua pequena da mamãe!

Ao meu noivo Enrique Benitez León pelo seu carinho e apoio incondicional tanto na realização das atividades como emocionalmente, em todos os momentos desde que nos conhecemos.

Aos meus pais Celito Lorensi e Maria Toniolo Lorensi, e ao meu irmão André Lorensi pelo apoio e carinho que sempre dedicaram a mim, e principalmente por zelarem tão bem pela Giulia, meu bem mais precioso durante esses anos, para que pudesse dar continuidade aos estudos.

Ao meu orientador, Professor Leandro Souza da Silva, pela oportunidade oferecida, pelos conhecimentos transmitidos e acima de tudo, pela compreensão apesar da pouca convivência sobre as inúmeras dificuldades pessoais atravessadas neste período.

Aos demais mestres do PPGCS que colaboraram em diversos sentidos para a conclusão desta jornada, em especial aos Professores Antônio Carlos de Azevedo, Ricardo Simão Diniz Dalmolin e Fabrício de Araújo Pedron, pela amizade, carinho e dedicação de sempre.

Ao Professor Enio Marchesan pela contribuição nas orientações no decorrer da realização deste trabalho e pela disponibilização da área experimental na várzea do departamento de fitotecnia, bem como aos seus orientados que participaram das atividades, que também foram indispensáveis para a condução deste trabalho, especialmente ao Paulo Fabrício Massoni, Mara Gross e Rafaell Bruck Ferreira, e ao funcionário Gilmar.

Aos bolsistas de iniciação científica do setor de fertilidade do solo, Marco Antônio Lenz Scotto, Gerson Drescher, Eduardo Müller, Renato Fagundes e Camila Bello, pelo auxílio e aprendizado conjunto em várias atividades, e de forma muito especial ao Vagner João Moro, pela amizade e imensurável ajuda dispensada em todas as etapas de realização deste trabalho.



Aos colegas de Pós-Graduação, pela troca de experiências, pelo convívio agradável e principalmente pelas amizades conquistadas, especialmente à querida Nathália Riveros Ciâncio, Fábio Pacheco Menezes, Elisandra Pocojeski, Gabriel de Franceschi, Marta Drescher, Marta Doumer, Viviane Capoane e Marcelo Sulzbacher.

Aos amigos Ana Paula Piccinin Barbieri, Jaqueline Vaz Feltrin, Márcio e Mônica Stanguarlin, Eunice Rodrigues da Silva, Ana Maria Stasiak Vieira e Rosa Lúcia Santos Rosa pelas oportunidades de convívio nos momentos difíceis e também nos felizes.

A todos os funcionários do Departamento de Solos, especialmente aos secretários Carlos Vargas, Tarcísio e Héverton, ao laboratorista Sr. Finamor e a Rose, pelo convívio e amizade.

**Agradeço a todos!**



"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode  
começar agora e fazer um novo final"

(Francisco Cândido Xavier)



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### DINÂMICA DO NITROGÊNIO MINERAL E PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO NA SUCESSÃO SOJA-AZEVÉM EM SOLO DE VÁRZEA

AUTORA: JULIANA LORENSI

ORIENTADOR: LEANDRO SOUZA DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de agosto de 2011.

A atual recomendação da adubação nitrogenada para o arroz irrigado (*Oryza sativa*) depende do teor de matéria orgânica do solo e da expectativa da resposta à aplicação de N, podendo ser influenciada pelos cultivos anteriores. Este trabalho objetivou avaliar o efeito residual do N acumulado ( $N_{AC}$ ) pela soja (*Glycine max*), e a influência da sucessão com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) na recomendação de N na semeadura ( $AN_S$ ). O experimento foi conduzido nas safras 2008/09 e 2009/10, consistindo no cultivo de arroz irrigado, tendo como tratamentos o uso do solo (sucessão com azevém/rotação com soja ou pousio em todo o período ou apenas no inverno antecedendo o arroz irrigado) e doses de  $AN_S$ . No primeiro ano foi avaliado o acúmulo de N pela soja. No segundo, monitorou-se o N mineral do solo do outono à primavera, sob as sucessões testadas, estimando-se ainda: produção de matéria seca (MS) e  $N_{AC}$  no azevém na floração plena, e do arroz irrigado aos oito dias após a primeira adubação nitrogenada em cobertura ( $AN_C$ ); a medida indireta do teor de N em unidades SPAD ( $N_{SPAD}$ ), utilizando clorofilômetro; produtividade de grãos, peso de mil grãos, esterilidade e número de grãos por panícula no arroz. Os resultados obtidos sugerem contribuição do N fixado biologicamente pela soja apenas sobre a produção de MS do azevém. As quantificações de N mineral apresentaram comportamento semelhante em todos usos e profundidades analisadas, com queda brusca a partir da segunda avaliação, e manutenção de valores baixos nas demais. Não se identificou interação entre efeitos dos usos do solo e doses de  $AN_S$  para nenhum dos parâmetros avaliados no arroz. Na análise isolada dos seus efeitos, doses continuaram não influenciando nenhum parâmetro, indicando que nas condições testadas, a utilização ou não da  $AN_S$  recomendada para a cultura do arroz irrigado, não interferiu no seu desenvolvimento e produtividade, dispensando ajuste. Uso do solo incidiu efeitos sobre os parâmetros MS,  $N_{AC}$ ,  $N_{SPAD}$  e produtividade do arroz, obtendo-se maior valor para MS no cultivo sobre pousio durante todo o período antecedente, que também refletiu efeito de uso apresentando valores diferentes e menores nas duas últimas avaliações com clorofilômetro, enquanto que para  $N_{AC}$  ocorreram valores semelhantes e elevados nos dois tratamentos que incluíram pousio no inverno, refletindo melhor desenvolvimento inicial nestas parcelas. Nenhum tratamento interferiu sobre esterilidade das panículas, número de grãos por panículas e peso de mil grãos. Com base nos resultados, apesar do maior desenvolvimento do azevém em sucessão a soja, não se obteve indicação da necessidade de ajuste da  $AN_S$  do arroz cultivado em rotação com a Fabaceae nem em sucessão à forrageira. Igualmente, embora ocorrido efeito do fator uso sobre a produtividade do arroz, não houve evidência clara da sua influência sobre este parâmetro, visto que, apesar de alguns reflexos positivos do N fixado pela soja sobre a produtividade do arroz irrigado cultivado na rotação, identificou-se o menor índice de produtividade do arroz irrigado no tratamento sucessão a pousio de inverno e rotação com soja no verão.

**Palavras-chave:** Rotação de culturas. Sucessão de culturas. Adubação nitrogenada. *Oryza sativa*. nitrogênio mineral.



## ABSTRACT

Master Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### NITROGEN DYNAMICS AND RICE RESPONSE IN THE IRRIGATED RICE- SOYBEAN ROTATION IN LOWLAND SOIL IN THE CENTRAL DEPRESSION FROM RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: JULIANA LORENSI

ADVISER: LEANDRO SOUZA DA SILVA

Date and Local of the defense: Santa Maria, August 31<sup>st</sup>, 2011.

The current recommendation of nitrogen fertilizer for irrigated rice (*Oryza sativa*) depends on the content of soil organic matter and expectation of response to N application; it can be influenced by previous crops. This study aimed to evaluate the residual effect of accumulated N ( $N_{AC}$ ) by soybean (*Glycine max*), and the influence of succession with ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) on the recommendation of N at sowing ( $AN_S$ ). The experiment was conducted in 2008/09 and 2009/10, consisting of irrigated rice cultivation; it had as treatments the use of soil (succession with ryegrass/rotation with soybean or fallow during the whole period or just preceding winter) and N doses. It was evaluated, in the first year, the accumulated N by soybean. In the second one, the mineral N of soil was monitored from autumn to spring, under the tested successions, estimating: dry matter (DM) yield and  $N_{AC}$  in the ryegrass in full bloom, and irrigated rice production eight days after the first nitrogen topdressing fertilizer ( $AN_C$ ); the indirect measure of N content in SPAD units ( $N_{SPAD}$ ), using chlorophyll meter; seed yield, thousand grains weight, sterility, and number of grains per panicle in rice. The results suggest the N contribution biologically fixed by soybean only on the DM production of ryegrass. The quantification of mineral N showed similar behavior in the uses and in the analyzed depths, falling sharply from the second evaluation on, and maintenance of low levels in the others. There was not identified interaction between the effects of soil use and doses of  $AN_S$  for the evaluated parameters in rice. In the isolated analysis of its effects, the doses did not influenced none of the parameters, indicating that, under tested conditions, the use or not of the recommended  $AN_S$  for the irrigated rice, did not interfere in its development and productivity, dispensing adjustment. Soil use factor showed effects on DM,  $N_{AC}$ ,  $N_{SPAD}$  parameters and irrigated rice productivity, obtaining bigger value to DM on cultivation under fallow for the entire previous period, which also had use effect factor showing lower and different values on the last two evaluations with the chlorophyll meter, while for the  $N_{AC}$ , the values was similar and higher on the two treatments that included fallow on the winter, reflecting better initial development in these plots. No treatment interfered in the panicles sterility, number of grains per panicle and thousand grain weight. Based on the results, despite the further development of ryegrass in succession to soybean, there was no indication of the need to adjust the  $AN_S$  of rice grown in rotation with the Fabaceae neither in succession to forage. Also, although the usage factor effect occurred on productivity of rice, there was no clear evidence of his influence on this parameter since, despite some positive effects of N fixed by soybeans on the productivity of rice grown in rotation, was identified the lower rate of productivity of irrigated rice on succession treatment and winter fallow with soybeans rotation in the summer.

**Keywords:** Crop rotation. Succession of crops. Nitrogen fertilizer. *Oryza sativa*. Mineral nitrogen.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dinâmica da forma mineral $\text{NO}_3^-$ na profundidade 0 – 10 cm (A) e 10 – 20 cm (B), em solo submetido a diferentes sucessões de uso (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), nas sete coletas realizadas do outono à primavera de 2009. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS .....	72
Figura 2 – Comportamento da forma mineral $\text{NH}_4^+$ na profundidade 0 – 10 cm (A) e 10 – 20 cm (B), em solo submetido a diferentes sucessões de uso (S-P: soja-pousio; S-Az: soja-azevém; P-Az: pousio-azevém e P-P: pousio-azevém), nas sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS .....	73
Figura 3 – Produtividade de grãos de arroz irrigado em função do sistema de cultivo sobre diferentes usos do solo com sucessões/rotações de culturas (SPAr: soja-pousio-arroz; SAzAr: soja-azevém-arroz; PAzAr: pousio-azevém-arroz e PPAr: pousio-pousio-arroz) e diferentes doses de N na base. Cultivar Puitá Intá CL. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS .....	97



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm em sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS. ....	71
Tabela 2 – Valores médios gerais de $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos tratamentos de sucessão (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), na profundidade 0-10 cm em sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS. ....	78
Tabela 3 – Médias de $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para as profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm nas diferentes sucessões (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), aos 25 dias após a colheita da soja. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS. ....	79
Tabela 4 – Valores médios gerais de $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos tratamentos de sucessão (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm de sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS .....	81
Tabela 5 – Produção de matéria seca (MS - $\text{kg ha}^{-1}$ ) e N acumulado ( $\text{N}_{\text{AC}}$ - $\text{kg ha}^{-1}$ ) no azevém, cultivado do outono à primavera, em diferentes sucessões (SAz: soja-azevém e PAz: pousio-azevém). Safra 2009/2010, em Santa Maria – RS. ....	83
Tabela 6 - Produção de matéria seca (MS) de arroz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de valores de N acumulado ( $\text{N}_{\text{AC}}$ ) no tecido ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aos 28 dias após a semeadura; e rendimento de grãos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) para a cultivar Puitá CL, em função das doses de N na semeadura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e da rotação / sucessão de culturas. Safra 2009/2010, em Santa Maria – RS. ....	87
Tabela 7 – Médias das medidas indiretas das leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, em função dos tratamentos de sucessão/rotação de cultura (SPAr: soja-pousio-arroz; SAzAr: soja-azevém-arroz; PAzAr: pousio-azevém-arroz e PPAz: pousio-pousio-arroz) aos 41, 55, 76 e 88 dias após a semeadura do arroz (DAS). Cultivar Puitá Intá CL. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS. ....	94



## LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Croqui com a sequência de usos do solo (verão 2008/inverno 2009) na implantação da cultura de inverno em que: S-soja, P-pousio, Az-azevém .....	117
Anexo B – Croqui com a sequência de usos do solo (verão 2008/inverno 2009/verão 2009) na implantação do experimento de arroz, em que S-soja, P-pousio, Az-azevém e Ar-arroz e 0 N, 10 N, 30 N referem-se as doses 0 kg ha <sup>-1</sup> N, 10 kg ha <sup>-1</sup> N e 30 kg ha <sup>-1</sup> N, respectivamente .....	118
Anexo C – Esquema representativo da área do experimento com os tratamentos rotação/sucessão X doses de N na semeadura .....	119
Anexo D – Esquema representativo das profundidades amostradas e número de coletas por parcela para avaliação do teor de N mineral .....	119
Anexo E – Detalhamento da coleta de solo para avaliação do teor de N mineral nas duas profundidades amostradas .....	119
Anexo F – Área de plantas coletada para quantificação da matéria seca do azevém .....	120
Anexo G – Diferentes coberturas do solo após o período de inverno utilizadas como um dos tratamentos do experimento em que P - pousio; S – soja .....	120
Anexo H – Área pronta para implantação da cultura do arroz irrigado, utilizando as diferentes doses de N na semeadura .....	120
Anexo I – Semeadura do arroz sobre as diferentes sucessões de culturas antecedentes .....	121
Anexo J – Detalhe da semeadura do arroz irrigado em uma das parcelas do experimento .....	121
Anexo K – Cultura do arroz irrigado após emergência nas parcelas do experimento .....	121
Anexo L – Efeito das diferentes doses de N, utilizadas na semeadura, no desenvolvimento inicial das plantas de arroz irrigado .....	122
Anexo M – Cultura do arroz irrigado na fase de início do perfilhamento antes da entrada da lâmina d'água na lavoura .....	122
Anexo N – Cultura do arroz irrigado após alagamento da lavoura .....	122
Anexo O – Leituras SPAD nas folhas do arroz irrigado utilizando o medidor portátil Clorofilômetro .....	123
Anexo P – Visão da área experimental na maturidade fisiológica do arroz irrigado .....	123
Anexo Q – Colheita das panículas de arroz irrigado nas parcelas experimentais .....	123
Anexo R – Detalhamento das etapas de limpeza e beneficiamento de grãos de arroz, para determinação dos índices de produtividade .....	124
Anexo S – Precipitação pluviométrica por decêndios e mensais, acumuladas durante o período de coletas das amostras de solo para determinação do teor de N mineral, realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS .....	124



Anexo T – Características químicas dos solos de várzea coletados na profundidade de 0 - 10cm, nas sucessões: SP – Soja-Pousio, SAz – Soja-Azevém, PAz – Pousio-Azevém e PP – Pousio-Pousio, no município de Santa Maria – RS, em 2009 .....	125
Anexo U – Interpretação conjunta dos resultados das avaliações dos teores indiretos de N obtidos pelas leituras do clorofilômetro (NSPAD - unidades SPAD), matéria seca (MS - kg ha <sup>-1</sup> ); N acumulado no tecido (N <sub>AC</sub> - kg ha <sup>-1</sup> ) e rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> ), obtidos para o arroz irrigado, cultivar Puitá CL, em função das doses de nitrogênio na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> ) e da rotação / sucessão de culturas, cultivada em Santa Maria/RS, no ano agrícola 2009/2010 .....	126



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	29
<b>1.1 Hipóteses</b> .....	31
<b>1.2 Objetivos</b> .....	31
1.2.1 Objetivo geral .....	31
1.2.2 Objetivos específicos .....	31
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	33
<b>2.1 A cultura do arroz: histórico, importância, consumo e perspectivas</b> .....	33
<b>2.2 O cultivo de arroz irrigado no Brasil: caracterização do cenário</b> .....	34
2.2.1 O cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul: caracterização, importância, estado da arte da produção e perspectivas de mercado .....	36
<b>2.3 Ambiente de cultivo, sistemas de manejo das áreas produtoras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul</b> .....	37
2.3.1 Distribuição, classificação e caracterização física e química geral dos solos das áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado no RS .....	37
2.3.2 Sistemas de cultivo utilizados em arroz irrigado no RS: função das características dos solos e do grau de desenvolvimento tecnológico das lavouras .....	39
2.3.3 Rotação e sucessão de culturas como alternativas para melhoria do sistema produtivo nas várzeas gaúchas .....	42
<b>2.4 Recomendações técnicas e práticas de manejo da adubação da para o arroz irrigado em solos de várzea no RS</b> .....	45
2.4.1 Evolução das recomendações técnicas de adubação em arroz irrigado e embasamento das indicações vigentes .....	45
2.4.2 Manejo geral da adubação do arroz irrigado recomendada no RS com base nos sistemas de cultivo utilizados e nas características dos solos .....	47
<b>2.5 Nitrogênio e adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado</b> .....	49
2.5.1 Importância nutricional do nitrogênio e sua relevância na produção do arroz irrigado .....	49
2.5.2 Recomendações técnicas vigentes para adubação nitrogenada em arroz irrigado .....	51
2.5.3 Balanço do nitrogênio em cultivos orizícolas: ganhos, perdas e transformações do nutriente ciclado naturalmente ou aplicado nas adubações nitrogenadas .....	53
2.5.4 Implicações da utilização de sistemas de rotação e sucessão de culturas sobre a dinâmica do nitrogênio em ambientes de cultivo de arroz irrigado e suas relações sobre a atividade dos microrganismos do solo .....	55
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	61
<b>3.1 Instalação, condução do experimento a campo, avaliações e determinações realizadas</b> .....	61
<b>3.2 Análise estatística</b> .....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	67
<b>4.1 Fixação do nitrogênio pela soja cultivada no primeiro ano</b> .....	67
<b>4.2 Dinâmica do N Mineral nas avaliações realizadas ao longo do tempo no período compreendido entre o outono e a primavera</b> .....	69
<b>4.3 Matéria seca e teores de nitrogênio acumulados no tecido do azevém</b> .....	82



<b>4.4 Matéria seca e nitrogênio acumulado no tecido do arroz .....</b>	<b>86</b>
<b>4.5 Análise dos valores obtidos nas leituras de N no arroz utilizando clorofilômetro .....</b>	<b>93</b>
<b>4.6 Análise da produtividade do arroz e dos parâmetros de rendimento de grãos .....</b>	<b>96</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>103</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A globalização das economias de mercado nos tempos atuais atinge diretamente o setor agrícola, interferindo, entre outros, nas transformações que ocorrem na cadeia produtiva, incluindo a orizícola. Existe neste setor, a exemplo de outros, a preocupação com o aumento da produtividade, diminuição de custos de produção e redução dos impactos ambientais, com vistas à inserção em novos mercados. Estas conjunturas remetem a alternativas que vislumbrem a intensificação do uso racional das áreas de cultivo, tais como a produção integrada entre lavoura e pecuária, o incremento das áreas empregando o sistema de plantio direto, a otimização do uso dos insumos agrícolas como os fertilizantes, e a utilização de rotação de culturas, buscando, entre outros, melhorias nos atributos físicos e químicos dos solos.

No Rio Grande do Sul (RS), Estado responsável pela maior produção de arroz no Brasil, o grão é cultivado predominantemente nas áreas de várzeas, utilizando o sistema de irrigação por alagamento. Nestes cultivos, o emprego de rotação e sucessão de culturas tem assumido importante papel nos últimos anos, sendo a última fundamentada principalmente no dueto lavoura-pecuária, que sustenta grande parte do seu sistema produtivo. Assim, para garantir a alimentação do gado durante a estação fria, no RS são introduzidas pastagens em sucessão ao arroz nas áreas de várzea, com destaque para o azevém, devido tanto a sua adaptabilidade aos solos úmidos quanto a sua habitual utilização para alimentação dos rebanhos. Outra contribuição da inserção da Poaceae no sistema de cultivo é a formação de palha em cobertura no solo, melhorando as condições necessárias para a implantação do sistema de plantio direto nestas áreas. Deve-se considerar, no entanto, que a presença deste material de elevada relação C/N e, portanto, de lenta degradação, pode ocasionar a imobilização temporária de alguns nutrientes, tornando-os indisponíveis ou reduzindo a velocidade de transferência destes para a cultura subsequente, no caso das várzeas, geralmente, do arroz.

Já a rotação de culturas proporciona, entre seus principais benefícios, a quebra do ciclo de pragas e doenças, a ciclagem de nutrientes e a minimização da incidência de plantas invasoras, principalmente do arroz vermelho naquelas que incluem o cultivo orizícola. Dentre as culturas passíveis de serem utilizadas em

rotação com arroz em sistemas de cultivo irrigado em solos de várzea, a soja tem assumido importante papel, graças aos elevados valores de mercado, aproveitamento da tecnologia utilizada para a produção do arroz e desenvolvimento de cultivares adaptadas as condições desses solos. Por se tratar de uma fabaceae, a cultura tem a habilidade de fixar o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) aportando este nutriente ao solo, podendo, assim, contribuir para o incremento do rendimento do arroz cultivado em rotação.

Considerando que os solos de várzea possuem dinâmica diferente dos ocorrentes em condições de boa drenagem, refletindo efeitos dos frequentes ciclos de umedecimento e secagem a que são regularmente submetidos, estes solos apresentam características próprias, tanto em termos químicos e físicos, como microbiológicos, interferindo diretamente na disponibilidade dos nutrientes aportados ao solo ou nele armazenados. Dentre estes, o nitrogênio (N) é o mais responsivo para a cultura do arroz, ao mesmo tempo em que é o mais passível de perdas por lixiviação, entre outros. Assim, torna-se necessária a otimização do manejo das áreas de cultivo, com vistas ao aumento da eficiência de uso do nutriente, tanto em se tratando do que é fornecido via adubação, como da fração oriunda da ciclagem de resíduos da cultura anterior.

As Recomendações Técnicas para Adubação do Arroz Irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2010) consideram a possibilidade de aumento ou diminuição da dose de N por ocasião da cultura antecessora, tornando fundamental o entendimento da dinâmica deste nutriente nos sistemas que adotam a sucessão e/ou a rotação de culturas. Isso abre precedentes para investigações que verifiquem a influência do N fixado por fabaceae como a soja, no arroz cultivado em rotação, assim como em circunstâncias de cultivos de poaceae como o azevém, em sistemas de sucessão em áreas de várzea.

Desta forma, o presente trabalho buscou investigar a contribuição do N fixado pela soja em um solo de várzea da Depressão Central do RS, no cultivo de arroz irrigado em rotação com a soja, com e sem sucessão de azevém no inverno. Utilizou-se ainda, diferentes doses de N na semeadura do arroz, buscando verificar a necessidade de ajuste da recomendação da adubação nitrogenada na semeadura ( $AN_s$ ), em função da possibilidade de ocorrência de imobilização do N nos cultivos precedidos pela poaceae na estação fria.

## 1.1 Hipóteses

O N aportado via resíduos culturais da soja cultivada em rotação com o arroz irrigado resulta em incremento da sua produtividade, e permite diminuição da recomendação da AN<sub>S</sub> atualmente empregada para a cultura.

(i) A atual recomendação de AN<sub>S</sub> para o arroz irrigado poderá ser diminuída com base no provimento do nutriente, fornecido pela a fixação biológica do nitrogênio (FBN) ocorrida no cultivo da soja cultivada em rotação, a qual incrementa a produtividade deste cereal.

(ii) O N fornecido pela Fabaceae eleva a produção do azevém cultivado em sucessão e incrementa os teores do nutriente nos tecidos da forrageira.

(iii) A elevada relação C/N da palha do azevém poderá promover imobilização de N nos seus restos culturais, além do aumento da demanda do nutriente pelos microorganismos decompositores destes materiais, diminuindo a sua disponibilidade ao arroz irrigado cultivado em sucessão, sugerindo a necessidade de aumento da dose de AN<sub>S</sub> recomendada para o arroz irrigado. .

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Verificar a necessidade de ajuste da recomendação de AN<sub>S</sub> para cultivos de arroz irrigado que incluam rotação com a soja e/ou sucessão com azevém em um solo de várzea da Depressão Central do RS.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Verificar a viabilidade do uso da rotação com soja em comparação com a utilização de pousio alternado ao arroz irrigado em solo de várzea da Depressão Central do RS.

Constatar se há incremento de produtividade do azevém como forrageira cultivado em sucessão à soja, a partir do aproveitamento do N proveniente da FBN.

Determinar se há fornecimento de N à cultura do arroz cultivado em rotação

com a soja, em um solo de várzea representativo dentre os cultivados com arroz irrigado na Depressão Central do RS.

Determinar se a sucessão com azevém implica na necessidade de aumento das atuais recomendações de ANs para o arroz irrigado no Sul do Brasil, nas condições testadas no experimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura do arroz: histórico, importância, consumo e perspectivas

O arroz (*Oryza sativa* L.) é tradicionalmente cultivado e consumido em todos os continentes, sendo classificado como um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico, sendo considerado como um dos alimentos básicos mais prestigiados no cenário mundial (EMBRAPA, 2005).

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 a fome no mundo (AZAMBUJA et al., 2004; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2008). Para os autores, devido a estas características, à demanda futura e ao potencial para combater a fome mundial, o produto arroz vem, cada vez mais, sendo enfocado como uma questão de segurança alimentar. O arroz irrigado é o sistema de produção predominante em termos mundiais, representando mais de 75% dos cerca de 150 milhões de hectares de arroz cultivados anualmente no mundo, e produzindo ao redor de 590 milhões de toneladas/ano (EMBRAPA, 2005).

Nestes panoramas o cultivo do arroz assume papel estratégico em termos sociais, além dos econômicos (AZAMBUJA et al., 2004), em que mais de 50 por cento da população mundial depende do arroz para atender cerca de 80 por cento das suas necessidades alimentares (FAO, 2002). Aliado a isto, 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 releva 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).

Além da importância no combate à fome no mundo, o cereal destaca-se ainda na geração de emprego e renda para milhões de pessoas (ARROZEIRA, 2010). Neste viés social, é necessário enfatizar a versatilidade da cultura em poder de ser cultivado tanto em pequenas como em médias e grandes áreas, flexibilidade que têm permitido que tanto a agricultura familiar como a empresarial se desenvolvam e utilizem o cultivo de arroz como alternativa de trabalho e renda (SOSBAI, 2010).

Destacada a importância do arroz como alimento e alternativa econômica de cultivo agrícola, reitera-se que o grão não é cotado no mercado futuro internacional (NASSAR; BACHION, 2009), o que o torna o cereal consumido por fins alimentares com menor agregação de valores (AZAMBUJA et al., 2002). Com base nisso, Werlang (2007a) discute que o plantio do arroz e seu posterior beneficiamento não tem se apresentado historicamente como um dos ramos mais lucrativos do segmento empresarial, em base de fatores técnicos, econômicos ou mesmo naturais (climáticos), e enfatiza que se deve atentar para a minimização destes efeitos, considerando que não se trata de um produto com consumo eventual ou facultativo, mas sim fundamental ao bem-estar da humanidade.

Dados recentes referindo-se aos estoques globais de arroz, estimados no encerramento da temporada de comercialização de 2011, apontam para a ocorrência de expansão, chegando aos 139 milhões de toneladas, sete milhões de toneladas a mais que em 2010 (FAO, 2011). Estudos apontam que os índices de crescimento de produção de arroz têm diminuindo ao longo dos anos, e caso essa tendência não for modificada, poderá ocorrer uma severa falta de alimentos neste novo século (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2008).

## **2.2 O cultivo de arroz irrigado no Brasil: caracterização do cenário**

O BR é apontado como o primeiro país a cultivar o arroz no continente americano. O cereal era o "milho d'água" (abati-uaupé) que os tupis, muito antes de conhecerem os portugueses, já colhiam nos alagados próximos ao litoral (SANTOS, et al. 2006). Além disto, os autores comentam que a prática da orizicultura no BR, ocorre de forma organizada e racional desde meados do século XVIII, e daquela época até a metade do século XIX, o país destacou-se como grande exportador de arroz.

O panorama atual da produção Brasileira de arroz sinaliza que o país mantém-se entre os dez principais produtores mundiais, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo de 11,7 milhões de toneladas base casca, sendo essa produção oriunda de dois sistemas de cultivo: irrigado e de sequeiro (EMBRAPA, 2005), tendo registrado nas últimas safras, valores que chegaram à 13 milhões de toneladas/ano (SOSBAI, 2010).

O setor orizícola brasileiro encontra-se inserido no contexto do MERCOSUL, que têm a produção concentrada basicamente em três países: Argentina (AR), BR e Uruguai (UR), que se destacam e se caracterizam pela utilização do sistema de cultivo em várzeas (AZAMBUJA et al., 2004). O BR responde por cerca de 80 % da produção incluindo os sistemas e cultivo irrigado e de sequeiro, seguido pelo Uruguai, Argentina e Paraguai (SOSBAI, 2010). Nesta conjuntura, Werlang (2007b) discute que o custo de produção representa o principal determinante da rentabilidade da cadeia orizícola do Bloco (MARION FILHO; EINLOFT, 2008), onde se incluem gastos com insumos, pagamento de juros e o montante de tributos, os quais incidem sobre as matérias-primas e máquinas necessárias à produção.

Seu cultivo está presente em todas as Regiões brasileiras, ocupando atualmente cerca de 2,8 milhões de hectares (SOSBAI, 2010), sendo mais relevante na Região Sul, que sob o sistema de cultivo irrigado é responsável por grande parte da produção total deste cereal no país, incluindo em torno de dois milhões de hectares (LIEVEN, BARROS, 2010). Levantamentos da CONAB (CONAB, 2011) reforçam que a Região é responsável por 72,54% (10.018,9 mil toneladas) da produção nacional de arroz, sendo que o RS representa 63,95% deste total (8.832 mil toneladas). Nas demais regiões as produções de arroz irrigado não são consideradas significativas (EMBRAPA, 2005; SOSBAI, 2010). Considerando apenas as áreas de várzeas cultivadas com arroz irrigado no BR, inclui-se em torno de dois milhões de hectares (LIEVEN, BARROS, 2010).

As várzeas subtropicais brasileiras estão presentes nos estados do RS, Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), sendo que no RS, encontram-se cerca de 5,4 milhões de hectares de várzeas e em SC, aproximadamente 684 mil hectares. (AZAMBUJA et al., 2002; EMBRAPA, 2005). Nestes dados, destaca-se ainda que no PR, existam cerca de 400 mil hectares totalizando uma área de cerca de 6,5 milhões de hectares de várzeas na Região Sul do BR, onde anualmente, são cultivados com arroz irrigado em cerca de 1,1 milhões de hectares (BOENI et al. 2010), e cuja produção supre mais de 50% da demanda nacional. Quase a totalidade do arroz irrigado produzido no RS caracteriza-se pelo tipo de grão longo-fino, que possui alta qualidade de cocção, características exigidas no mercado brasileiro, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (EMBRAPA, 2005). Estes autores destacam que cerca de 12% do arroz produzido no RS é consumido no próprio Estado, sendo o restante exportado para os demais centros consumidores.

### 2.2.1 O cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul: caracterização, importância, estado da arte da produção e perspectivas de mercado

A cadeia orizícola gaúcha tem sido ao longo da história a maior produtora de arroz do país (ARROZEIRA, 2010), e fortaleceu-se sob proteção tarifária dos preços do grão no país no final do século XVIII, representando a substituição das importações e não tendo relação dependente do processo de imigração e da história colonial (BENETTI, 1978). Formou-se assim, uma agricultura especializada na produção de arroz para atender aos mercados nacionais, principalmente os centros urbanos do Rio de Janeiro e os compreendidos na sua área de influência comercial, anteriormente supridos pelas compras externas (BESKOW, 1984).

O RS figura como o maior adepto ao sistema irrigado de produção no país, destacada importância que se reflete na economia regional, constituindo-se na principal atividade econômica em vários municípios do Estado, principalmente nos da Metade Sul (ARALDI, 2004; LIEVEN; BARROS, 2010).

Ocupando anualmente uma área próxima de um milhão de hectares, a cultura do arroz irrigado nas terras gaúchas, apresenta produtividade média, superior a 7,0 Mg/ha<sup>1</sup> (IBGE, 2007; ARROZEIRA, 2008; SOSBAI, 2010, LIEVEN; BARROS, 2010). Estas fontes indicam que a produtividade está aquém do potencial produtivo dos materiais disponíveis para cultivo, que podem superar os 10.000 kg ha<sup>-1</sup>. Dados sobre a evolução da produtividade média entre 1994 e 2009 no Estado, apontam para elevação de valores iniciais da ordem de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> para mais de 7,0 Mg ha<sup>-1</sup> durante o período (ARROZEIRA 2009a).

Menezes et al., (2004) reiteram que a utilização recente (a partir da safra 2003/04) do manejo integrado da cultura e da tecnologia *Clearfield* resultaram na obtenção de altos rendimentos de arroz, na ordem de 8,0 a 10,0 Mg ha<sup>-1</sup>, em lavouras de todas as regiões arrozeiras do RS. A melhoria do sistema de práticas de manejo têm como fator mais responsivo com relação à produtividade de grãos e retorno financeiro do arroz irrigado, a realização da semeadura na época preferencial. Estes sistemas que utilizam práticas de manejo com uso de tecnologias mais avançadas podem ainda, trazer como consequência, menores custos com sementes e herbicidas (MARIOT, 2009).

Sob a perspectiva de diminuir o impacto sobre o meio ambiente causado pela atividade orizícola, o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) vêm recentemente implementando no RS, uma série de ações que vislumbram o desenvolvimento mais sustentável de lavoura arrozeira, através de projetos que inserem tecnologias mais limpas neste sistema produtivo (ARROZEIRA, 2008).

Em estudo baseado em dados das últimas duas décadas, Klering et al. (2008) relatam que de 1982 a 2006, o rendimento de arroz irrigado no RS apresentou aumento de  $0,0659 \text{ Mg ha}^{-1}$  a cada ano. Os autores relacionam estes resultados à adoção de novas tecnologias no sistema de produção da cultura, tais como o uso de novas cultivares e insumos, assim como de manejos mais eficientes, entre outros.

Para a safra 2011/12 estima-se que o RS atinja 1,15 milhão de hectares, incrementando assim a área plantada em 5% (ARROZEIRA, 2010). Conforme estas informações, para o MERCOSUL, a expectativa é de uma safra acima de 15 milhões de toneladas, resultando em superávit entre produção e consumo superior a três milhões de toneladas. Ainda em termos de previsão de cenários para o arroz gaúcho no mercado internacional, incluindo a sua inserção no Bloco e as exportações totais, Nassar; Bachion (2009) indicam que as importações deverão sofrer acréscimo e as exportações possuem tendência de manterem-se estáveis.

### **2.3 Ambiente de cultivo, sistemas de manejo das áreas produtoras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**

#### **2.3.1 Distribuição, classificação e caracterização física e química geral dos solos das áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado no RS**

Devido às características intrínsecas da cultura do arroz irrigado, seu cultivo estabeleceu-se e desenvolveu-se no RS, a exemplo de outras regiões do mundo, ocupando áreas de ocorrência dos denominados solos de várzea, localizados nas adjacências de planícies de rios e lagoas, e que se assemelham quanto à sua formação em condições variadas de deficiência de drenagem (KLAMT et al., 1985; GOMES et. al., 2002a). Genericamente, dentre as características considerados para definir a aptidão destes solos ao cultivo orizícola, busca-se identificar, ao longo do perfil dos solos se ocorre algum horizonte ou camada com características hidromórficas, ou seja, que apresentem baixa condutividade hidráulica (FLORES;

ALBA, 1999). Além disto, estes autores apontam que a sequência e tipo de horizontes, classe de drenagem e classe de textura são outros aspectos fundamentais a serem observados.

Em decorrência da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, estes solos apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, implicando na necessidade de serem agrupados em diferentes classes, com limitações e aptidões de uso diversas, podendo ser, conforme o tipo de solo, não adequados ao cultivo do arroz irrigado (GOMES et al., 2006). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), as principais classes em que estão incluídos os solos de várzea do RS encontram-se aproximadamente nas seguintes proporções: Planossolos (incluídos Gleissolos associados), apresentando a maior área (56%), Chernossolos (16%), Neossolos (11,6%), Plintossolos (incluídos Luvisolos e Argissolos) (8,3%), Gleissolos (7,1%) e Vertissolos (9%). No Estado, estes solos ocupam cerca de 5,5 milhões de hectares, representando ao redor de 20% da sua área total e oferecendo grande potencial agrícola, principalmente para o cultivo de arroz irrigado, em que três milhões de hectares estão estruturados para o seu cultivo, sendo que apenas 1/3 é ocupado anualmente com a cultura (GOMES et al. 2002b; SILVA, 2009). No mesmo sentido, considerando a sua distribuição nas regiões orizícolas gaúchas, Streck et al. (2008) destacam os planossolos, chernossolos, gleissolos, plintossolos, vertissolos, gleissolos, e alguns argissolos e neossolos imperfeitamente drenados como os mais habitualmente empregados para esta finalidade.

De forma geral, no RS estas áreas são razoavelmente contínuas, mecanizáveis e facilmente irrigadas, sendo encontradas principalmente nas Regiões do Litoral, Encosta do Sudeste, Depressão Central, Campanha e Campanha/Missões (GOMES et al. 2002b). Enfatiza-se ainda que as limitações de drenagem, aliadas à predominância de textura arenosa destes solos, muitas vezes coincidem com situações de fertilidade natural de média a baixa, restringindo as possibilidades de diversificação de uso agrícola destas áreas. Nestas condições, os autores relatam o uso destas terras fundamentalmente em um sistema produtivo de baixa rentabilidade, baseado na pecuária de corte extensiva e arroz irrigado, considerando ainda este o motivo pelo qual as lavouras requerem a aplicação de

fertilizantes para que os cultivos apresentem aumentos significativos de produtividade.

A ocorrência de grandes diferenças nos atributos de fertilidade do solo entre e dentro das regiões arrozeiras gaúchas também é apresentada por Boeni et al. (2010), que classifica genericamente a fertilidade dos solos do Estado como média, com diferenças em outros aspectos químicos, tais como acidez e disponibilidade de nutrientes. Os autores atribuem os maiores rendimentos de arroz obtidos nas regiões fronteira oeste e campanha à melhor fertilidade de seus solos. Nesse mapeamento recentemente realizado, foram identificadas grandes diferenças dos valores médios dos parâmetros de fertilidade do solo entre e dentro das regiões arrozeiras gaúchas.

Estes resultados concordam com o que já havia sido evidenciado em levantamentos anteriores desta natureza realizados no RS (ANGHINONI et al., 2004), que relatam a predominância de solos ácidos, arenosos e com baixo teor de matéria orgânica do solo, apresentando em sua maioria baixos teores de nutrientes nas formas disponíveis. Neste estudo, os autores realizaram estimativas dos atributos químicos dos solos cultivados com arroz irrigado no RS, baseando-se em mais de das análises de 30 mil amostras de solos examinadas pelo Laboratório de Análises de Solos da Estação Experimental de Arroz do IRGA nos anos de 2003 a 2008, verificando dentre outros, o aumento da área cultivada com arroz irrigado no Estado e a predominância (77,6 % do total) de solos com pH em água inferiores à 5,5, identificando certa elevação média dos valores deste parâmetro em relação aos registrados em pesquisas anteriores.

### 2.3.2 Sistemas de cultivo utilizados em arroz irrigado no RS: função das características dos solos e do grau de desenvolvimento tecnológico das lavouras

No sistema de cultivo irrigado, a lavoura arrozeira é conduzida em condições de solo alagado durante praticamente todo o período de condução da cultura, exigindo para tanto, que o solo apresente características que possibilitem a manutenção da água no sistema (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). Estes autores caracterizam o cultivo predominante no RS como aquele em que a semeadura ocorre em solo seco, sendo inundado ao redor do vigésimo a trigésimo dia após a emergência das plântulas, mantendo-se assim até próximo da colheita, diferente do

adotado predominantemente em SC, em que o solo é mantido alagado durante praticamente todo o ciclo, sendo a semeadura realizada utilizando sementes pré-germinadas, em solo coberto com baixa lâmina de água, aumentada à medida em que as plantas vão crescendo.

Nos meses de inverno, as dificuldades de drenagem destes solos são intensificadas, o que é atribuído à redução da evapotranspiração combinada a um período de maior precipitação pluvial (MARCHESAN et al., 1998). Para os autores, isto esclarece a pouca utilização de outras culturas nas várzeas e a necessidade de se identificar espécies adaptadas a solos com baixa aeração. A deficiência de oxigênio ( $O_2$ ) nos solos destes ambientes é evento comum, devido às situações em que é inundado, e naquelas onde o seu nível freático atinge a camada superficial ou permanece por longo tempo próximo a ela, quando todo ar atmosférico contido nos macro e microporos do solo sai do sistema e estes espaços são ocupados pela água (SILVA, 2009). Tais implicações resultam em impedindo do crescimento da maioria das espécies forrageiras cultivadas nestes ambientes, sendo que até mesmo aquelas consideradas bem adaptadas ao excesso de umidade no solo, como o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), apresentam maior rendimento de forragem quando o nível freático estiver baixo.

Todas estas dificuldades de cultivo com plantas anuais sensíveis ao excesso de água conduzem a um subaproveitamento das várzeas (MARCHESAN et al., 1998), que por isso têm seu uso geralmente limitado ao cultivo do arroz irrigado, sendo comum a permanência dessas áreas em pousio, existindo uma pequena parcela ocupada com cultivo de azevém anual durante o inverno, o que deve-se à sua tolerância ao ambiente de várzea.

As restrições de uso também podem ser decorrentes de limitações da composição química destes solos, tanto se referindo à deficiência de nutrientes essenciais, como ao excesso de elementos que são tóxicos às plantas (SILVA, 2009). Para este autor, a baixa fertilidade natural característica, especialmente naqueles localizados na Depressão Central e na Planície Costeira aliada às condições de acidez (pH 4,0 a 5,5) podem ter expressiva importância agrônômica e influenciar o rendimento das pastagens.

De acordo com Gomes et al. (2002b), a utilização desses solos de várzea no RS tem sido intensificada, com o aspecto negativo de exploração caracterizada pelo cultivo do arroz no sistema convencional associado à monocultura, aumentando a

pressão de invasoras, principalmente do arroz vermelho, seu principal infestante. Neste modelo predominante no Estado, o arroz é o componente do sistema que é priorizado pelo agricultor, que emprega em seu cultivo as tecnologias mais avançadas, tais como novas cultivares, sistematização do solo, técnicas de estabelecimento, plantio direto, irrigação, controle mais eficaz das plantas daninhas, dentre outras, obtendo com isso, o incremento na sua produtividade (SILVA, 2009; ARROZEIRA, 2009b).

Apesar de toda esta estrutura, a ocupação contínua das áreas cultivadas com arroz irrigado acaba promovendo a multiplicação intensa de plantas daninhas, tornando iminente à necessidade de deixar em pousio as glebas, em que a rotação de áreas cultivadas surge como uma prática necessária (SILVA, 2008). Este autor descreve que neste sistema denominado tradicional, o arroz é cultivado por um ou dois anos, seguido por dois a quatro anos de pecuária extensiva, configurando uma matriz produtiva restrita e de baixa rentabilidade econômica, além de degradar os solos e aumentar a pressão de pragas.

Existe uma sinalização para boas possibilidades de utilização intensiva destas áreas, as quais possivelmente já vêm alterando o perfil produtivo da cadeia orizícola, alicerçando-se principalmente na elevação mundial do valor das *commodities*, na migração de produtores do norte do RS para a metade sul, na ociosidade de terras com potencial de irrigação e no sinergismo da soja (SILVA, 2008). Este trabalho destaca ainda que a transição de um modelo mono ou binomial (arroz-pousio, ou arroz-pecuária), para um sistema misto, já pode ser percebida com a inserção do cultivo da soja, milho, sorgo e trigo nesta cadeia, a exemplo da região da Campanha, onde atualmente a fabaceae ocupa área maior que a do próprio arroz irrigado.

Diante das circunstâncias de pressão de utilização das áreas historicamente utilizadas com orizicultura, atribui-se a adoção dos sistemas plantio direto e cultivo mínimo na cultura do arroz irrigado na Região Subtropical Brasileira, ao objetivo inicial de controlar o arroz vermelho, fundamentando-se nos benefícios trazidos pelo revolvimento reduzido do solo e, por conseqüência, do banco de sementes da invasora, em antecipação à semeadura do arroz (EMBRAPA, 2005 Marchesan et al. 2004).

A redução no custo de produção, semeadura na época mais adequada e melhor integração da lavoura/pecuária são outras vantagens atribuídas ao plantio

direto (DIAS; GOMES, 1995). Ainda sob esta óptica, Salton (2001) avalia o plantio direto como o sistema conservacionista do solo, por envolver técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o ambiente, fundamentando-se na ausência de revolvimento do solo e em sua cobertura permanente e na rotação de culturas.

Dados referentes ao ano agrícola 2008/09 indicam 66% da área cultivada por arroz no Estado sob sistema de cultivo em plantio direto e cultivo mínimo, 27% em sistema de plantio convencional e 7% em sistema pré-germinado (ARROZEIRA, 2010). Estes dados estão em concordância com levantamento recente da CONAB (CONAB, 2010) o qual indica que o plantio convencional está sendo pouco utilizado, aplicando-se apenas quando as condições climáticas não permitem o preparo antecipado do solo, a exemplo do que aconteceu no RS na safra do ano agrícola 2009/10, quando o estado apresentou 30% do plantio neste sistema. Estas informações relacionam ainda, que em SC, em decorrência do predomínio do sistema de cultivo em patamares, há um favorecimento do uso das sementes PG.

### 2.3.3 Rotação e sucessão de culturas como alternativas para melhoria do sistema produtivo nas várzeas gaúchas

A rotação de culturas é um dos caminhos mais promissores para melhorar a rentabilidade do setor orizícola no RS, tanto por aumentar a eficiência da própria lavoura do arroz, como por introduzir nas áreas de várzeas espécies alternativas produtoras de grãos, otimizando a sua exploração (PETRINI et al., 2002). Em meio as melhorias passíveis de ocorrer no solo, promovidas pela utilização desta técnica, Gomes et al. (2002b) destacam atributos e processos físicos, químicos e biológicos.

O procedimento ainda pouco adotada em solos de várzea (EMBRAPA, 2005), consiste na alternância de espécies vegetais na mesma estação numa determinada área, observando-se um período mínimo sem o cultivo desta espécie no mesmo local (GOMES et al., 2002b; CALEGARI; RALICH, 2007). Estes estudos expõem que a técnica da sucessão de culturas também tem vasta utilização, aplicabilidade e importância nas terras cultivadas com arroz irrigado, tratando-se da utilização de uma seqüência preestabelecida de culturas dentro do mesmo ano agrícola, geralmente incluindo períodos de cultivo de pastagem durante o inverno. Os autores complementam que a integração adequada de culturas produz efeitos favoráveis ao

sistema, proporcionando maior estabilidade de produção, menores riscos de infestação de pragas e doenças, melhoria da capacidade produtiva do solo e, conseqüente, maior rentabilidade líquida na propriedade agrícola.

Numa proposta de utilização da área de forma sustentável, o planejamento destas técnicas de introdução de outras espécies em áreas habitualmente cultivadas com arroz deve levar em conta, além das exigências culturais, as características climáticas e do solo, e a própria aptidão da área para implantação das espécies pretendidas (SOSBAI, 2007). Estas recomendações reforçam que os aspectos técnicos, econômicos e ambientais devem ser levados em conta na análise de viabilidade da programação da rotação, buscando promover a utilização mais racional e intensiva do solo e a melhoria de seus atributos. Exemplos de culturas de sequeiro mais utilizadas e bem sucedidas em rotação ou em sucessão com o arroz irrigado são o milho (RADICIONE, 2000), a soja, o sorgo e algumas espécies de pastagens cultivadas, como o azevém (GOMES et al., 2002b; GASTAL et al., 2004). No entanto, reitera-se que estudos precisam ser intensificados para atenuar os efeitos de sensibilidade da maioria das espécies cultivadas ao excesso de água, condições físicas e químicas diferenciadas desses solos.

Como vantagens da utilização destas culturas nas áreas de várzeas, têm-se a aplicação de tecnologias que o agricultor já possui na sua propriedade, otimizando custos e investimentos, e possibilitando o aproveitamento de muitos recursos já utilizados na orizicultura para cultivos extensivos das outras espécies (SILVA, PARFITT, 2005). Este documento exemplifica que os próprios métodos e sistemas de irrigação, como os de aspersão, sulcos e inundação, podem ser utilizados com sucesso em lavouras com espécies em rotação com o arroz em áreas de várzeas, principalmente nas pequenas e médias propriedades, levando em consideração à demanda hídrica das culturas e sensibilidade ao estresse hídrico. Dentre os benefícios técnicos da utilização da prática de rotação de culturas em áreas cultivadas com arroz, destaca-se a redução drástica da população de plantas daninhas, principalmente do arroz vermelho, proporcionando assim incremento significativo na produtividade da lavoura, além, obviamente, de outros benefícios resultantes da diversificação das culturas, como o estabelecimento de equilíbrio dos fatores econômicos e ambientais (GASTAL et al., 2004). Estima-se que a prática de manejo contemplando o pousio do solo e a rotação de culturas, com soja, milho e sorgo, em qualquer seqüência utilizada, contribui para o controle de sementes de

arroz vermelho, proporcionando menor número destas sementes na superfície do solo em comparação ao monocultivo do arroz e, dependendo das combinações de rotação, pode obter-se inclusive, a supressão das sementes da invasora (ANDRES et al., 2001).

Com relação à utilização de plantas de cobertura em áreas cultivadas com arroz irrigado, temos que, quando devidamente empregadas na sequência de culturas, oportunamente trazem benefícios ao sistema de produção, refletindo ganhos de forma direta na capacidade produtiva do solo e no rendimento favorável dos cultivos posteriores (CALEGARI; RALICH, 2007). Os autores indicam que, através da utilização das diferentes plantas de cobertura, torna-se possível quantificar o montante de um determinado nutriente reciclado e/ou fixado biologicamente pelas Fabaceae.

Na rotação de culturas incluindo espécies de sequeiro no verão, a soja, pertencente à família botânica Fabaceae e, portanto, capaz de realizar a FBN contribuindo com o aporte do nutriente ao solo, constitui-se na alternativa mais promissora, tendo em vista o atual mercado de grãos de *commodities* agrícolas, e o conhecimento tecnológico da produção por parte dos agricultores, aliado ao contexto das dificuldades relacionadas com o uso práticas adequadas de manejo da drenagem em solos hidromórficos para muitas das espécies (CQFS-RS/SC, 2004, GASTAL et al., 2004). Assim, uma das principais vantagens do cultivo de arroz em rotação com soja, que se alia aos benefícios da própria rotação, é a produção de palhada de qualidade superior, a possibilidade de aproveitamento do N fixado pela espécie (KLUTHCOUSKI, 2001). Neste sentido, já é reconhecida a importância do N incorporado pela FBN sobre o manejo da adubação nitrogenada para a cultura subsequente, como é o caso do trigo que pode ter sua dose de N reduzida nos casos de sucessão com a soja (CQFS-RS/SC, 2004). Desta maneira, a utilização e planejamento adequados destas práticas poderiam auxiliar na diminuição dos custos de produção, que entre adubação de base e de cobertura na cultura do arroz irrigado implicam na necessidade de produção de valores estimados em torno de 20 sacas ha<sup>-1</sup> apenas para cobrir esta despesa (ARROZEIRA, 2009a).

Os primeiros registros da utilização do sistema de rotação arroz-soja no RS datam de 1946, sendo que somente a partir dos anos de 1980, o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) intensificou pesquisas na rotação do cereal com diversas culturas, incluindo esta fabaceae (IRGA, 2009). Conforme estas

informações, uma década depois, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul promoveu testes de tolerância da soja aos excessos hídricos e somente em 2007, a partir do primeiro Seminário abordando a integração do cultivo da soja com arroz irrigado, a ações de aprofundamento neste assunto.

Em razão do pouco período decorrido, ainda não existe disponibilidade de informações precisas sobre a contribuição em N para a cultura do arroz introduzida cultivo de verão em rotação com a soja (CQFS-RS/SC, 2004; SOSBAI, 2010). Estas recomendações enfatizam também, que aliadas à inviabilidade do cultivo de culturas comerciais de inverno, a exemplo do trigo, estão às próprias características dos solos hidromórficos e das condições climáticas típicas da estação, que podem contribuir para intensificar as perdas do nutriente para o sistema. Desse modo, não há indicação estabelecida de alteração de dose para AN<sub>s</sub> para o arroz irrigado, em decorrência da cultura antecedente (CQFS-RS/SC, 2004), embora haja uma expectativa da necessidade de ajuste da quantidade aplicada em função das espécies introduzidas nas rotações e/ou sucessões de culturas empregadas (SOSBAI, 2010).

## **2.4 Recomendações técnicas e práticas de manejo da adubação da para o arroz irrigado em solos de várzea no RS**

### **2.4.1 Evolução das recomendações técnicas de adubação em arroz irrigado e embasamento das indicações vigentes**

As recomendações iniciais de adubação para a cultura do arroz datam de 1967 e consistiam em uma tabela de orientação de doses, enquanto o primeiro levantamento da fertilidade dos solos de várzea cultivados com arroz irrigado só foi efetuado em 2004, baseando-se em dados dos laudos das análises efetuadas no período 1997/2002 (ANGHINONI, et al, 2004). Em 1991 implantou-se a publicação de um boletim técnico-científico denominado “Arroz irrigado: Recomendações da Pesquisa para o Sul do Brasil”, que vem sendo atualizado periodicamente com a colaboração de pesquisadores das instituições executoras de pesquisa em arroz irrigado no sul do Brasil, buscando acompanhar a evolução da cadeia produtiva do arroz (BOENI et al. 2010; SOSBAI, 2010). Com base nestas publicações, as recomendações de adubação e calagem para o arroz nesta região têm sido

desenvolvidas constantemente, baseadas na análise de um grande número de experimentos, realizados por todas as instituições de pesquisa que se dedicam a essa cultura no RS e em SC, tentando acompanhar o avanço com relação às cultivares e ao manejo da cultura, e trazendo como consequência, a própria elevação da produtividade de grãos.

As frequentes adequações no manejo da cultura, dentre as quais se inserem as recomendações de manejo da adubação, tem possibilitado aumento das respostas do arroz irrigado à adubação, trazendo junto, maior retorno econômico, tornando-se assim, um dos fatores mais importantes de produção (SOSBAI 2010). Esta publicação resgata que tais alterações nas recomendações ocorreram inicialmente por volta de 2004 para diferentes expectativas de produtividade (SOSBAI, 2005), coincidindo com a publicação das recomendações técnicas da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC que prevêem indicações de adubação para o arroz, baseadas em faixas de rendimento (CQFS RS/SC, 2004), também admitindo, a partir de 2007, diferentes expectativas de incremento de produtividade (SOSBAI, 2007).

Os ajustes periódicos destas recomendações ocorrem com vistas à obtenção de retornos econômicos mais imediatos possíveis, fundamentando-se no sistema de produção utilizado e considerando os diversos fatores determinantes da produção da cultura, em associação com as características edafo-climáticas das regiões agroecológicas de cultivo, o potencial produtivo das cultivares, assim como o nível de manejo e capacidade de investimento do agricultor (SOSBAI, 2010).

Fundamentando-se nos recentes resultados de pesquisas e levantamentos, que demonstraram a importância da adequação da adubação para a cultura do arroz irrigado, em sua última atualização, estas recomendações passaram a basear-se nas diferentes expectativas de resposta à adubação, relevância esta, obviamente vinculada à manutenção das demais condições favoráveis, especialmente das condições climáticas. Assim, de acordo com a publicação, à obtenção dos resultados esperados são determinados pelo conjunto de fatores que interferem no rendimento da cultura, onde se ressalta que, apesar do potencial de produção de uma determinada região referir-se à produtividade média atingida pela cultura na ausência de adubação, o estabelecimento da expectativa de resposta à adubação pretendida para cada lavoura deve fundamentar-se na adequação de todos os

demais fatores que influenciam a produção do arroz, tais como, cultivar, época e densidade de semeadura e práticas de manejo.

#### 2.4.2 Manejo geral da adubação do arroz irrigado recomendada no RS com base nos sistemas de cultivo utilizados e nas características dos solos

Dentre os fatores de manejo da cultura do arroz irrigado, a disponibilidade de nutrientes pode ser um dos mais limitantes para obtenção de produtividade elevada, especialmente sob condições climáticas favoráveis (EMBRAPA, 2005). Estes autores reiteram que usualmente a adubação da cultura do arroz irrigado nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo, seguem as mesmas recomendações utilizadas para o sistema de plantio convencional. No entanto, enfatizam que no plantio direto, incluindo o cultivo de pastagem de inverno, a adubação deve ser ajustada com vistas ao suprimento das necessidades da cultura implantada nesta estação, e em decorrência do efeito residual dos nutrientes destes cultivos, têm-se o favorecimento à cultura do arroz cultivada no verão, principalmente tratando-se do fósforo e do potássio. Nestas circunstâncias, os autores analisam que a adubação nitrogenada em cobertura ( $AN_c$ ) das pastagens também supriria parte das exigências nutricionais do arroz irrigado cultivado em sucessão, sugerindo a transferência e ciclagem do nutriente entre os cultivos, o que promoveria ainda, a solubilização dos custos de produção. Neste viés, as recomendações técnicas para a adubação na cultura do arroz no RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004) indicam que, nessas situações, a adubação para o arroz pode ser restringida à  $AN_c$ .

No entanto, conforme já exposto, no RS o arroz irrigado é cultivado predominantemente de forma isolada, ano após ano ou intercalado com pastoreio extensivo, no denominado sistema arroz-pousio ou tradicional (BOENI et al., 2010). Estes autores analisam que, neste sistema, as recomendações de adubação são denominadas de “adubação por cultura” e requerem análise do solo para cada cultivo, visando obter o maior retorno líquido por unidade de área. Este modelo produtivo da cadeia orizícola adotado no RS encontra-se tão arraigado que mantém grande influencia nas próprias recomendações de adubação e calagem, as quais se direcionam para este sistema vigente, mesmo quando intercalando pousio, pastejo extensivo ou plantas de cobertura no inverno (CQFS RS/SC, 2004, SOSBAI, 2010).

Assim, as condições em que se pretende estabelecer a cultura de arroz irrigado influenciam de forma direta na determinação da recomendação de adubação, com a possibilidade de considerar a expectativa de rendimento como fator adicional (CQFS-RS/SC, 2004). De acordo com estas recomendações técnicas, o histórico da lavoura interfere na determinação das doses de adubos a serem utilizados, principalmente das fontes de N. Esta influência decorre tanto da quantidade de N disponível no tecido vegetal como da facilidade de decomposição do mesmo, e por conseqüência, da capacidade de fornecimento do nutriente para as culturas seguintes cultivadas em sucessão, via decomposição e mineralização dos resíduos culturais. Nesse sentido, as referidas recomendações sugerem que a alteração de doses recomendadas é dependente do histórico da lavoura, das respostas ao N e dos cultivos antecedentes, entre outros.

Aliado a isto, a dinâmica dos nutrientes nos cultivos de arroz irrigado está sujeita à influência de inúmeras alterações que se desencadeiam no solo sob condição de alagamento, onde se verifica entre outros, a ocorrência do processo de redução, provocado pelos microrganismos anaeróbios predominantes nestas condições e que utilizam substâncias inorgânicas oxidadas para o seu metabolismo, provocando uma série de alterações químicas neste ambiente (GOMES et al., 2002b). Estes autores complementam que as transformações decorrentes do alagamento favorecem a disponibilidade da maioria dos nutrientes no solo, tanto dos provenientes do material de origem, quanto dos fornecidos pela adubação, principalmente do fósforo, potássio, cálcio e molibdênio. Também fazem relação destas transformações que ocorrem no ambiente alagado com a elevação do pH dos solos ácidos, que assume valores entre 6,0 e 6,5, eliminando o alumínio trocável, motivo pelo qual a calagem em solos de várzea apresenta baixas respostas.

Um dos elementos mais influenciados nos sistemas de produção de arroz irrigado é o N, o qual é requerido pela cultura em grandes quantidades e proporciona maior resposta em termos de produtividade de grãos. Porém, o nutriente apresenta uma dinâmica extremamente complexa no cultivo do arroz, com grande variabilidade nas suas formas químicas em função da umidade do solo (condições predominantes aeróbias ou anaeróbias), refletindo diretamente sobre a eficiência do seu aproveitamento pela cultura (FILLERY et al., 1984).

## 2.5 Nitrogênio e adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado

### 2.5.1 Importância nutricional do nitrogênio e sua relevância na produção do arroz irrigado

Considerado um dos principais constituintes do planeta terra, sobretudo da litosfera, o N encontra-se distribuído nas rochas, no fundo dos oceanos e nos sedimentos e interfere em grande parte das limitações de crescimento da vegetação e da produção agrícola mundial (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os autores destacam que é na atmosfera terrestre que o elemento ocorre na forma gasosa e em maior concentração, perfazendo cerca de 78% dos gases que a compõem. Detalham ainda que do N orgânico terrestre, ao redor de 96%, encontra-se na biosfera viva e apenas 4% na matéria orgânica morta, ressaltando que, ao considerarmos o solo como principal elo e reservatório entre os componentes da biosfera, este espaço assume importante papel na dinâmica do nutriente no ambiente terrestre, tornando-se crucial o entendimento dos mecanismos que nele controlam a sua disponibilidade para as plantas.

O N faz parte dos aminoácidos, que juntos constituem as proteínas, que por sua importância podem ser definidas como a base física da vida, exercendo entre outras, funções como a enzimática, onde, por exemplo, nos vegetais tornam-se responsáveis desde a etapa de absorção dos minerais pelas raízes ou folhas, até a fotossíntese ou a respiração (MALAVOLTA et al., 2002).

O N é encontrado na natureza nas formas de N molecular ( $N_2$ ), de íons de nitrato ( $NO_3^-$ ) e amônia ( $NH_3^+$ ) os quais compõem a maior parte da fração mineral do nutriente no solo, ou ainda, incorporados a compostos nitrogenados, sendo que os vegetais o assimilam principalmente na forma amoniacal ou como nitrato (DROZDOWICZ, 1997). As plantas superiores são capazes de absorver o N em diferentes formas, tais como  $N_2$ , forma gasosa adquirida diretamente principalmente pelas plantas Fabaceae, aminoácidos, uréia,  $NH_4^+$  e nas condições aeróbias naturais como  $NH_3$  (MALAVOLTA et al., 1997).

O principal mecanismo biológico capaz de reduzir o  $N_2$  à forma amoniacal, possibilitando a síntese dos compostos orgânicos nitrogenados, é a atividade desempenhada pelas bactérias fixadoras do N, as quais possuem, portanto, a capacidade de sintetizar a enzima nitrogenase, possibilitando a FBN a partir de uma

sequência de reações de oxi-redução que ocorrem nestas células bacterianas (DROZDOWICZ, 1997).

Em termos de resposta à adubação, o N é reconhecidamente o nutriente mais impactante na cultura do arroz (SCIVITTARO; MACHADO, 2004), mas por outro lado, apresenta as maiores taxas de perdas, podendo atingir até 80% do fertilizante aplicado (MARTHA JÚNIOR, 2004), tanto em função de fatores climáticos como, especialmente, do manejo, além da própria condição de inundação das várzeas que pode ocasionar variações nas respostas à aplicação de fertilizantes nitrogenados (LEITE et al., 1970). Em decorrência da incidência destes processos de perdas, tais como volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão, além da diminuição dos teores de matéria orgânica do solo em razão dos cultivos sucessivos, podem surgir limitações no desenvolvimento da cultura do arroz irrigado, os quais podem se refletir nos rendimentos da cultura.

Neste sentido, em termos de influência nos parâmetros de produtividade, o N interfere nos valores de componentes como número de panículas por área, número de espiguetas por panículas, fertilidade das espiguetas e massa de grãos (FAGERIA et al., 2003). Estes autores expõem que dentre tais componentes, o número de panículas apresenta maior coeficiente de correlação com a produtividade, podendo ele ser manipulado conforme a aplicação e eficiência de aproveitamento do nutriente. O estudo de Barbosa Filho (2001) também evidencia o aumento no número de panículas como um dos efeitos mais importantes da utilização e aproveitamento da adubação nitrogenada, destacando, além disso, incrementos no número de grãos por panícula.

Apesar da maioria das pesquisas relacionadas à adubação em arroz irrigado estarem vinculadas à dinâmica e comportamento do N, comumente observa-se a ocorrência de grande variabilidade nos resultados relativos à sua eficiência econômica (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). Algumas das razões apontadas para isto são a da inexistência de métodos capazes de quantificar satisfatoriamente a disponibilidade de N no solo para as plantas e a não existência de curvas de calibração disponíveis para o nutriente, o que se torna mais grave ao considerarmos que a maior parte do N se encontra na forma orgânica, estando à forma nítrica sujeita à lixiviação, imobilização e desnitrificação (REIS; SOARES, 1997). Isto evidencia a necessidade do desenvolvimento de estudos para o estabelecimento de

curvas de respostas relacionando doses de N com rendimentos de produtividade obtidos em culturas como o arroz irrigado.

Da mesma forma, faz-se necessário investigar o aproveitamento do nutriente em função do histórico de cultivo da área cultivada, visto que em condições de uso intensivo do solo com rotação de culturas, incluindo cultivos de verão e inverno sucessivos, os resíduos das adubações costumam ter efeito muito maior devido à frequência das adubações e ao acúmulo dos restos das culturas no solo (COUTO, et al., 1997), conforme sugerido nas recomendações técnicas vigentes para a cultura, embora sem determinação precisa. Não obstante a isto, deve-se salientar que a decomposição de resíduos de elevada relação C/N nos solos de várzea proporciona imobilização do N do solo, em decorrência das características da decomposição diferenciada destes materiais, promovida pela população microbiana característica destes ambientes, podendo afetar a recomendação da  $AN_s$ .

#### 2.5.2 Recomendações técnicas vigentes para adubação nitrogenada em arroz irrigado

Conforme Townsend; Howarth (2010), a sociedade já detém domínio sobre diversas ferramentas de natureza técnica para otimizar o gerenciamento do uso do N, aproveitando seus benefícios e, ao mesmo tempo, reduzindo os seus riscos. A avaliação simplista do grau de disponibilidade do nutriente no solo é baseada na análise do teor de MOS (EMBRAPA, 2005). Nesse sentido, este atributo químico é um fator determinante para a recomendação de adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado, tanto semeado em solo seco, como pré-germinado (SOSBAI, 2007; SOSBAI, 2010). De acordo com as recomendações técnicas vigentes, as indicações das doses podem ainda ser reduzidas ou acrescidas em até  $30 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , levando-se em consideração o histórico da lavoura com respeito às respostas ao N e cultivos antecedentes, além de outros fatores que influenciam na produtividade do cultivo, tais como expectativas de condições climáticas em cada período específico do desenvolvimento da cultura, nível de manejo do solo e da cultura, potencial produtivo da cultivar utilizada, que em conjunto, fornecem a expectativa à resposta da adubação nitrogenada utilizada, a partir da qual, estima-se a dose recomendada, característica que distingue as atuais recomendações técnicas para arroz irrigado vigentes, das vigentes nos períodos anteriores (SOSBAI, 2010).

A uréia é considerada a principal fonte de N utilizada pelos produtores de arroz irrigado do RS, a semelhança do que ocorre com as demais culturas de grãos. Isso ocorre devido ao alto teor de N em sua composição (44 – 46%) e ao custo mais reduzido por unidade de N se comparado com outras fontes, além de que, por se encontrar na forma amídica, possui alta solubilidade em água (MALAVOLTA, 1981; PADILHA, 2005; YAMADA et al., 2007). O fornecimento de N utilizando adubos que contenham  $\text{NO}_3^-$  na sua composição não é recomendado para a cultura do arroz irrigado, pois este pode sofrer desnitrificação e ser facilmente convertido em  $\text{N}_2$ , que se volatiliza e proporciona o retorno do N para a atmosfera.

De acordo com as atuais recomendações, preconiza-se a utilização de N na semeadura apenas para o arroz irrigado semeado em solo seco, com doses entre 10 e 20  $\text{kg ha}^{-1}$ , ajustando-se este valor, conforme a dose total a ser aplicada, a expectativa de rendimento e o tipo de resíduo da cultura antecessora. O restante do nutriente deve ser fornecido através da  $\text{AN}_c$ , com indicação de parcelamento da dose, em que cerca de 50% do total deve ser aplicado no estágio V3/V4, ainda em solo seco imediatamente inundado após o fornecimento, e o restante em R0 com interrupção da circulação da água por no mínimo três dias. Aconselha-se que nas doses acima de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, a proporção fornecida na primeira  $\text{AN}_c$  seja elevada, mantendo-se o fornecimento de no mínimo 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de N na segunda aplicação.

As recomendações iniciais para a  $\text{AN}_c$  para o arroz irrigado no sistema de semeadura em solo seco indicavam realização da aplicação após o início da irrigação (CFS-NRS/SBCS, 1995; ARROZEIRA, 2009c), ou seja, sobre a lâmina de água, buscando promover a dissolução da uréia e reduzir a volatilização de amônia. Porquanto, a nova recomendação de adubação nitrogenada para o arroz irrigado (CQFSNRS/SBCS, 2004; SOSBAI, 2005; SOSBAI, 2007; SOSBAI, 2010) preconiza a aplicação de N no início do perfilhamento, preferencialmente, antecedendo a entrada de água na lavoura, de forma que a água de irrigação proceda a sua incorporação ao solo, minimizando as perdas de N por volatilização de amônia. A resposta tem sido positiva, de acordo com Scivittaro; Gomes (2005), por favorecer a utilização do nutriente pela cultura incrementando a produtividade de grãos, com redução das perdas do nutriente para o sistema, constituindo-se em alternativa de manejo tecnicamente viável, com reflexos favoráveis sobre os aspectos econômicos e ambientais.

A  $AN_c$  fornecida, seja na forma de uréia, seja na de sulfato de amônio, deve ser aplicada na dose adequada e imediatamente antes das fases fenológicas de perfilhamento e emissão da panícula, favorecendo assim, a menor perda de N, pois além de coincidir com as fases de maior absorção de N, é possível que parte do  $NH_3^+$  volatilizado e presente na atmosfera abaixo das folhas seja absorvido pelas plantas (BARBOSA FILHO, 2001).

O sucesso da  $AN_c$  é indispensável para a cultura de arroz, porém, depende da eficiência do adubo nitrogenado e do estágio de desenvolvimento, os quais interferem na capacidade do arroz absorver o nutriente (BARBOSA FILHO, 2001). Considerando que geralmente as recomendações de adubação nitrogenada são desenvolvidas com base na resposta da cultura à aplicação em condições de campo, e sendo o N um nutriente móvel no solo e que muda de concentração em função de clima, solo e tempo, a utilização do parcelamento da dose de N em cobertura durante o ciclo da cultura pode, portanto, aumentar sua eficiência de absorção e utilização (FAGERIA et al., 2003).

### 2.5.3 Balanço do nitrogênio em cultivos orizícolas: ganhos, perdas e transformações do nutriente ciclado naturalmente ou aplicado nas adubações nitrogenadas

Os valores típicos encontrados anualmente para os fluxos de N nos solos agrícolas cultivados, através dos processos de perda, são de até  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de para lixiviação,  $40$  a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  para erosão do solo,  $10$  a  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  pela extração das culturas,  $10$  a  $80\%$  sobre o total aplicado pela desnitrificação ou volatilização, e  $25$  a  $30\%$  de imobilização no solo do total aplicado via fertilização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Assim como para outros nutrientes e ambientes, é possível estimar adições e perdas do N nos solos de várzea cultivados com arroz irrigado. Em se tratando desta quantificação para o N, Reichardt (1985) considera os seguintes componentes: adição por fertilizante mineral (comumente uréia, sulfato e nitrato de amônio, nitrato de sódio, etc.); adição por fertilizantes orgânicos (esterco, adubos verdes, etc.); adição por FBN do  $N_2$  atmosférico (realizado pelas fabáceas em simbiose com microrganismos fixadores de N ou por poáceas em associação não-simbiótica com microrganismos da fauna edáfica); adição pela chuva (geralmente na forma amoniacal, transformado a partir de N atmosférico sob efeito das descargas elétricas

dos raios); adição pela água de irrigação; perdas por extração das culturas cultivadas (intensificadas pela exportação dos grãos e pela não incorporação dos resíduos culturais); perdas para a atmosfera por volatilização (intensificadas pelos fatores forma de aplicação, pH e temperatura do solo); perdas por desnitrificação (decorrentes da utilização do íon nitrato como acceptor final de elétrons pelos microorganismos do solo sob condições anaeróbias); e, finalmente, perdas por lixiviação (ocorrendo principalmente com as formas  $\text{NO}_3^-$  e com o N contido em compostos orgânicos humificados). Segundo o autor, da soma algébrica destes fatores obtém-se o armazenamento do N na camada de solo considerada, ou a sua variação.

Dentre as perdas, grande parte deve-se a volatilização de N que ocorre devido a uma reação de hidrólise e formação de  $\text{NH}_4^+$  catalisada pela enzima urease, que consome prótons ( $\text{H}^+$ ) e provoca a elevação do pH ao redor das partículas, com subsequente deslocamento do equilíbrio químico para a formação de  $\text{NH}_3^+$  (YAMADA et al., 2007). A amônia pode volatilizar na forma de gás à atmosfera, determinando uma perda de parte do N aplicado. O sulfato de amônio, além da possibilidade de perda, apresenta alta capacidade de acidificação do solo contendo ainda, em sua composição, 24% de enxofre (BARBOSA FILHO, 2001).

Em avaliação de perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3^+$  em solo de várzea, Duarte et al. (2007) concluíram que a aplicação de uréia para a cultura de arroz irrigado, depois de inundada a cultura (sobre lâmina de água), não se traduz em vantagem para diminuir as perdas por volatilização e aumentar seu aproveitamento. Nesse sentido, consideram como melhor alternativa a aplicação da uréia antes ao alagamento do solo, em que as maiores perdas de N por volatilização ocorrerão dentro do intervalo de três dias após a aplicação, motivo pelo qual a entrada de água após esse período deverá ter pouco efeito para diminuir as perdas de N por volatilização.

No caso do arroz irrigado, as perdas por volatilização podem ser somadas com as perdas por desnitrificação, onde o  $\text{NO}_3^-$  formado após a dissolução da uréia é utilizado como acceptor final de elétrons na cadeia respiratória de microorganismos em lugar do oxigênio, em condições de anaerobiose provocada pelo alagamento do solo na irrigação da cultura (MALHI et al., 2001; BISSANI et al., 2004; MALLA et al., 2005; HARRELL, 2007). Com isso forma-se o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o N atmosférico ( $\text{N}_2$ ), sendo que estes gases também poderão se difundir a atmosfera contribuindo

para as altas perdas do N aplicado como fertilizante nas condições de irrigação por alagamento. Esse é um dos motivos do por que não se deve utilizar fertilizantes contendo nitrato na cultura do arroz irrigado, já que em parte do cultivo predominará a condição de anaerobiose e o N pode ser desnitrificado. Cabe ressaltar, nessa situação, que o  $N_2O$  é um importante gás do efeito estufa, contribuindo com cerca de 5% para o aquecimento global (MALLA et al., 2005; KITCHEN, 1985).

Em muitas situações não é possível estabelecer a irrigação no intervalo recomendado, dependendo das condições de clima, do tamanho da lavoura, da capacidade de irrigação, entre outros fatores, o que reflete na baixa eficiência do fertilizante aplicado e, conseqüentemente, na produtividade da cultura do arroz irrigado. Quando o N é aplicado na superfície do solo e não incorporado nos dois dias seguintes, as perdas devem ser muito intensas e a eficiência do N muito diminuída, elevando os custos de produção e o potencial de contaminação ambiental (SOSBAI, 2007).

#### 2.5.4 Implicações da utilização de sistemas de rotação e sucessão de culturas sobre a dinâmica do nitrogênio em ambientes de cultivo de arroz irrigado e suas relações sobre a atividade dos microrganismos do solo

Para Mendes et al. (2009), considerando que o processo industrial responsável pela transformação do  $N_2$  em  $N-NH_3$  demanda temperaturas e pressão elevadas (entre 300 - 600 °C e 200 - 800 atm, respectivamente), estima-se o consumo de fontes energéticas não-renováveis em seis barris de petróleo por tonelada de  $NH_3$  sintetizada. Eles reiteram que outra desvantagem no uso dos fertilizantes nitrogenados é a baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50 %, podendo implicar ainda em danos ambientais tais como acúmulo de formas nitrogenadas nas águas e emissão de óxido nitroso para a atmosfera. Destacam com isso, em concordância com Moreira; Siqueira (2006). Assim, a FBN constitui-se em uma das melhores opções para se reduzir tanto o custo de produção para o agricultor, quanto a poluição ambiental provocada pelos fertilizantes nitrogenados.

Algumas estratégias baratas e eficientes como o emprego de cultivos de cobertura no inverno objetivando reter N no sistema solo, ao invés de deixá-lo sem uso durante vários meses, bem como utilizar a adubação imediatamente anterior ao

plântio da primavera, ao substituindo a do outono podem ser opções para aperfeiçoar a eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados em cultivos agrícolas (TOWNSEND; HOWARTH, 2010).

Deve-se atentar, no entanto, que alguns materiais orgânicos podem ser considerados pobres em N, como no caso das Poaceae (MALAVOLTA et al., 2002). Os autores enfatizam que o uso destes materiais nos sistemas de cultivo pode provocar deficiência temporária de N, em função de sua relação C/N ser muito alta, com valores entre 50 e 100. Segundo eles, disto pode decorrer a queda de produção da cultura subsequente, necessitando um aporte de adubação que supra a carência, evitando a competição entre os microrganismos do solo e a cultura, uma vez que o N por eles acumulados só estará disponível às plantas após a sua morte e decomposição.

Considerando a rotação de culturas das diferentes famílias (Poaceae ou Fabaceae), assim como as distintas finalidades de produção da cultura antecessora (produção de grãos, forragem, cobertura do solo ou adubação verde), admite-se diferentes influências sobre a biomassa microbiana do solo, em decorrência, principalmente das diferenças qualitativas dos resíduos culturais (ANDREOLA; FERNANDES, 2007). Conforme Primavesi (2002), cada planta ou grupo de plantas possui capacidade de absorver elementos distintos. A autora salienta que, desta maneira, o vegetal pode ser mais rico ou menos rico com relação aos diversos constituintes, como em celulose e ligninas, onde as Poaceae apresentam elevados valores especialmente na porção radicular, ou ricos em cálcio e N, como as leguminosas. Neste contexto, destaca ainda que, como a decomposição dos materiais vegetais é realizada por microrganismos, é natural que estes possuam particularidades nutricionais, possuindo assim especificidades quanto ao tipo de material que irão decompor, da mesma forma que possuem substâncias intermediárias distintas nestes processos de decomposição de materiais que irão compor o húmus do solo.

As plantas de cobertura podem ser implantadas em sistemas de cultivo singular ou em associações envolvendo maior diversidade de espécies, este último favorecendo a formação de resíduos com relação C/N intermediária e viabilizando a mineralização gradual do N, além de promover ao longo dos anos um maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo (CALEGARI, 2001). A publicação destaca ainda que, em se tratando dos cultivos solteiros, a decomposição individual

das leguminosas resultará em maiores riscos de perdas de N (lixiviação, volatilização), quando comparado à das gramíneas, e quando estes dois tipos de resíduos são mesclados, normalmente não há problemas com imobilização do N, além da mineralização gradativa favorecer a disponibilidade e absorção pelas plantas.

Já existem evidências de que a rotação de culturas e o manejo de resíduos influenciam populações microbianas do solo, através de sistemas de produção que favoreçam o desenvolvimento de microrganismos benéficos, trazendo benefícios, tais como a manipulação de exsudatos e ciclagem com disponibilização de nutrientes aos cultivos sucessivos (FREITAS, 2007). Os microrganismos do solo mantêm relação com diversos processos de amplo interesse agrônomo, principalmente com aqueles relacionados à agricultura orgânica e a rotação de culturas (ANDREOLA; FERNANDES, 2007). Dentre estes processos, os autores destacam a decomposição e ressíntese da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, as transformações bioquímicas específicas como nitrificação, desnitrificação, oxidação e redução do enxofre, a FBN, a ação antagônica aos patógenos, e a produção de substâncias promotoras ou inibidoras de crescimento, entre outros. Assim, no solo existem microrganismos que decompõem a MOS, alimentando as plantas com substâncias nutrientes, absorvidas direta ou indiretamente, e com o N do ar, enriquecendo este sistema com este elemento fundamental (MALAVOLTA et al, 2002). Estes autores elucidam que os microrganismos que absorvem o N<sub>2</sub> atmosférico desempenham papel muito importante na vida das plantas, sendo que alguns conseguem realizar esta absorção de forma direta, enquanto outros precisam se associar às plantas, como as fabáceas, para fazê-lo, mas, independente da forma, utilizam água, ar atmosférico e temperaturas amenas para realizar esta fixação do N.

Os solos alagados caracterizam-se por formar ambiente intensamente diversificado em relação aos microrganismos, o que é intensificado nestes ambientes em função das condições de oxidação e redução que são alteradas, assim como a intensidade dos processos redox, interferindo na dinâmica de elementos e nutrientes (SILVA et al., 2008). Além disso, em decorrência do déficit de O<sub>2</sub> dos ambientes de várzea, principalmente naquelas em condições de valores inferiores a 1% de O<sub>2</sub>, ocorre à insuficiência do elemento para a realização dos processos bioquímicos das populações microbianas, condições em que os

microrganismos passam a utilizar compostos inorgânicos oxidados como acceptor final de elétrons, em substituição ao  $O_2$ . Disto advém as condições para o surgimento de estratificação vertical no perfil do solo com relação ao potencial de oxiredução, sendo que as condições redutoras se intensificam com o aumento da profundidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Como resultado disto, as mudanças nas comunidades microbianas são intensificadas, permitindo a ocorrência concomitante de vários organismos de metabolismos respiratórios distintos.

Assim, genericamente Reichardt (1985) ressalta que o processo de mineralização dos nutrientes, entre eles, do N, encontra-se diretamente relacionado com a dinâmica dos organismos que compõem a microbiota do solo. Para ele, é graças a este processo de mineralização do material orgânico, promovido por estes microrganismos que o N passa da forma orgânica para a mineral, podendo na forma  $NH_4^+$  ser adsorvido por cargas negativas do solo e na forma  $NO_3^-$ , pelas cargas positivas.

A exemplo disto sabe-se que os solos alagados são locais importantes para os processos de desnitrificação e que constituem a maior fonte de metano que entram na atmosfera, emitindo metade do total global e, portanto, contribuindo sensivelmente para o estoque de gases com efeito de estufa (SPOSITO, 2008). Outra reação que, segundo este autor, ilustra bem os eventos que ocorrem com o N nesses ambientes é a redução do nitrato para formas de íons amônio, como efeito das reações redox que ocorrem na condição de alagamento. Neste sentido, complementa notificando que a redução de nitrato realizada pelas bactérias da microbiota do solo para produção de íons de amônio forma aminoácidos, tais como o ácido glutâmico e aspártico, sendo, portanto, de natureza assimilatória, enquanto que a desnitrificação é dissimilatória.

Genericamente, a quantidade de N que pode ser mineralizada pode atingir valores de até  $760 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os autores asseguram que em solos sob sistema de plantio convencional, a mineralização é mais intensa do que sob plantio direto, o que se deve ao efeito estimulante dos microrganismos do solo, provocado pelo seu revolvimento, assim como da intensificação dos processos oxidativos dos materiais orgânicos nele presentes.

Desta forma, nos sistemas de uso do solo das lavouras de arroz irrigado que incluem a utilização de rotação e/ou sucessão de culturas com outras espécies deve-se considerar que a mineralização da fração orgânica do N contido nos

vegetais requer a conversão microbiana destes materiais, em que a fração mineralizável do material orgânico mantém relação direta com a natureza e qualidade do resíduo, principalmente referindo-se a relação C/N do material. Considerando a demanda do arroz pelo nutriente nitrogenado, é necessário atentar que a imobilização é ainda maior após o uso de poaceae com alta relação C/N, o que causa uma demanda de N no solo maior para sua decomposição, competindo com a cultura (REIS et al., 2004), bem como à possibilidade de fornecimento de N fornecido pelas fabaceae cultivadas em sistemas de rotação com o arroz irrigado.



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Instalação, condução do experimento a campo, avaliações e determinações realizadas

O experimento foi instalado no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, localizado na Região Fisiográfica da Depressão Central do estado do RS, conduzido nos anos agrícolas 2008/09 e 2009/10, em um solo classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006), pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí. As temperaturas médias ocorrem ao redor de 15° C a 5,0 cm de profundidade no mês mais frio e superior à 18° C no mês de setembro (MALUF et al., 1999). O clima é classificado na classe “Cfa”, subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961), apresentando médias de precipitação anuais entre 1400 e 1800 mm (MALUF; WESTPHALEN, 1999).

No primeiro ano de cultivo, durante o verão de 2008/09, metade da área experimental foi cultivada com soja, sendo que a outra parte foi deixada em pousio, com vistas a preparar a área para a instalação do experimento principal a partir do outono seguinte. A cultivar de soja utilizada foi a Fundacep 59 RR, semeada em 23/12/08 e colhida em 07/05/09, sendo que neste cultivo foi quantificada a FBN, através da obtenção dos indicadores: número de nódulos por planta de soja, matéria fresca e seca de nódulos e contribuição do N para parte aérea da cultura estimada através dos dados da matéria seca (MS) e do teor de N no tecido das plantas ( $N_{TEC}$ ), dos quais obteve-se a estimativa do N acumulado no tecido ( $N_{AC}$ ).

Para a determinação da MS coletou-se quadros de 0,25 m<sup>2</sup> de plantas de soja no estágio R1 (50% da floração plena). Posteriormente, as mesmas foram secas a 65°C até massa constante. Para a determinação do teor de  $N_{TEC}$  das plantas de soja, as plantas secas foram moídas e passaram por digestão ácida, seguindo-se, para extração e determinação metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). A estimativa do  $N_{AC}$  no tecido das plantas de soja foi obtida pelo produto da MS e do teor de  $N_{TEC}$  das plantas.

Na sequência, as parcelas que haviam sido deixadas em pousio e cultivadas com soja no verão, foram divididas ao meio, compondo quatro blocos (Anexo A),

sendo dois cultivados com azevém e dois mantidos em pousio durante o inverno, consistindo nos tratamentos de uso do solo em sucessão: soja-pousio (SP); soja-azevém (SAz); pousio-azevém (PAz) e a parcela testemunha pousio-pousio (PP).

A semeadura do azevém foi realizada a lanço utilizando 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, três semanas após a colheita da soja e, sendo utilizada como cobertura de solo, não foi efetuada nenhuma adubação nesta cultura (CQFS-RS/SC, 2004). As parcelas não cultivadas com azevém durante o inverno foram dessecadas periodicamente com o herbicida Roundup® (Glyfosate) na dosagem de 4 L ha<sup>-1</sup>, para diminuir os efeitos de ciclagem de nutrientes pela presença da vegetação regenerada naturalmente.

Foram realizadas sete coletas sucessivas de solo em quatro pontos por bloco, nas profundidades de 0–10 cm e 10–20 cm (Anexos D e E), no período compreendido entre 18 dias após a colheita da soja (DACS) e no final do cultivo do azevém, para fins de determinação dos valores de N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), seguindo-se método descrito em Tedesco et al. (1995). As datas das coletas foram: 1ª - 25/05 (18 DACS); 2ª - 01/06 (25DACs e 7 dias após a primeira avaliação de N mineral - PANM); 3ª - 08/06 (32 DACS e 14 dias após PANM); 4ª - 15/06 (39 DACS e 21 dias após PANM); 5ª - 20 / 07 (55 DACS e 37 dias após PANM); 6ª - 03 / 08 (69 DACS e 51 dias após PANM); e 7ª em 09 / 10 (136 DACS e 118 dias após PANM).

As parcelas cultivadas com azevém tiveram a produção de MS da parte aérea das plantas avaliada no estágio da floração plena, coletadas em 20 de agosto, utilizando-se remoção de todo o material acima do solo em quadros de 0,5 x 0,5 m (Anexo F), seco em estufa a 65°C até massa constante. A partir de 5 repetições de amostras de tecido coletadas por bloco avaliou-se o teor de N<sub>TEC</sub> utilizando Analisador Elementar modelo FlashEA 1112 e, com base também na produção de matéria seca, calculou-se o valor de N<sub>AC</sub>. A área cultivada com o azevém e as parcelas deixadas em pousio foram dessecadas em 22 de setembro, utilizando o herbicida Roundup® (glyfosate) na dosagem de 4 L ha<sup>-1</sup>.

Amostras de solo foram coletadas para realização de análise química, compondo uma amostra por bloco, e enviadas ao Laboratório de Análise de Rotina de solos da UFSM, com resultados apresentados no Anexo T.

A área cultivada com azevém foi roçada tendo a sua palha retirada para a viabilização da semeadura do arroz, sendo uniformemente redistribuída após a sua realização, nas quantidades relativas à sua produção em cada parcela.

A área total dessecada foi dividida em quatro blocos de usos precedentes ao cultivo de verão (Anexo B), sobre as quais foi conduzido o experimento com o cultivo de arroz durante a safra 2009/10, tendo como tratamentos principais compondo o fator A: a) sucessão a dois pousios - PP (verão e inverno/testemunha); b) sucessão ao azevém, precedido de pousio de verão - PAz ; c) sucessão de soja, com pousio invernal - SP; e d) sucessão de soja seguido de azevém – SAz (Anexos G e H).

O fator B constituiu-se de doses de adubação nitrogenada na semeadura ( $AN_S$ ): a)  $0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ; b)  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ; e c)  $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ . A distribuição dos tratamentos de doses foi realizado de forma transversal aos blocos de usos, constituindo parcelas em faixas (Anexo C), para facilitar as práticas de manejo e otimizar o uso da área. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema bifatorial ( $4 \times 3$ ), com 12 tratamentos e 4 repetições, e as unidades experimentais mediram  $5 \times 2 \text{ m}$  ( $10 \text{ m}^2$ ), totalizando 48 sub-parcelas e uma área total de  $480 \text{ m}^2$ , e com área útil para estimativa do rendimento de grãos de  $4 \times 1 \text{ m}$  ( $4 \text{ m}^2$ ). A semeadura, a adubação, a irrigação e os tratos culturais seguiram os procedimentos indicados pelas recomendações técnicas para o Sul do Brasil vigentes no período (SOSBAI, 2007).

A cultivar de arroz utilizada foi a Puitá Intá CL de ciclo precoce e adaptada ao sistema de produção CLEARFIELD<sup>®</sup>, semeada em 24 de outubro (Anexos I e J), em condições ótimas de umidade do solo e temperatura do ambiente, sob sistema de plantio direto, após tratamento das sementes com os produtos Maxim XL<sup>®</sup> (Fludioxonil + Metalaxyl) na dose de  $150 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$  de sementes e Standak<sup>®</sup> (Pirazol) na dose de  $150 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$  de sementes, utilizando espaçamento entre linhas de  $0,17 \text{ m}$  e densidade de sementes de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A adubação de base para os demais nutrientes por ocasião da semeadura seguiu as recomendações técnicas inerentes à cultura (CQFS-RS/SC, 2004; SOSBAI, 2007), baseando-se no laudo da análise de solo da área, empregando-se o equivalente a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ .

Foram utilizados herbicidas, fungicidas e inseticidas nos períodos indicados, seguindo as orientações técnicas de doses e produtos recomendados para a cultura (SOSBAI, 2007). O controle de plantas daninhas foi realizado em pré-emergência (ponto de agulha), utilizando o herbicida Only<sup>®</sup> (Imazetapir + Imazapique) aos 2 DAS, na dose de  $0,75 \text{ Litros ha}^{-1} + 0,5 \text{ Litros ha}^{-1}$  Adjuvante óleo mineral Assist<sup>®</sup> a  $1,0 \text{ \% v/v}$  ( $1 \text{ L}/100 \text{ L}$  d'água). Em pós-emergência (Anexo K) o controle foi realizado

aos 20 DAS (plantas daninhas com quatro a seis folhas), utilizando a dose de  $1,0 \text{ L ha}^{-1}$  + Adjuvante óleo mineral Assist<sup>®</sup> a 1 % v/v (1 L/100 L d'água). Também foi realizado o controle de percevejo do grão (*Oebalus poecilus*) a partir do final do perfilhamento até o início do perfilhamento das panículas, utilizando-se o inseticida Engeo Pleno<sup>®</sup> (Tiametoxam) na dosagem de  $200 \text{ mL ha}^{-1}$ , com reaplicações a cada 14 dias. Foi ainda utilizado o fungicida Piori Extra<sup>®</sup> (Estrobilurina / Triazol) no início da emissão das panículas, na dosagem de  $400 \text{ mL ha}^{-1}$ . O alagamento foi realizado aos 25 dias após a semeadura (DAS), mantendo-se uma lâmina de água com aproximadamente 10 cm de altura até próximo a data da colheita de grãos de arroz (Anexo Q).

Para a adubação nitrogenada de cobertura (AN<sub>C</sub>) utilizou-se uréia como fonte do nutriente, sendo dividida em duas épocas: 1ª aplicação aos 21 DAS, antecedendo o alagamento no estágio vegetativo V4-V5 (Anexo M), utilizando quantidades ajustadas para manter as diferenças das doses da semeadura em cada tratamento fornecendo  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para todos os tratamentos, e a 2ª aplicação no início da diferenciação do primórdio floral (R0), aos 74 DAS (fornecendo 60, 50 e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para os tratamentos dose 0, 10 e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N<sub>S</sub>, respectivamente), eliminando as diferenças entre dosagens distintas por ocasião dos tratamentos de N<sub>S</sub>.

Aos oito dias após o alagamento (DAA) ou 28 DAS foram coletadas amostras de 1,0 m linear da parte aérea das plantas de arroz em cada parcela (Anexo N), para quantificação dos valores de MS, antes da equiparação das doses, as quais foram secas em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  até massa constante e pesadas. Após, foram moídas e armazenadas em recipientes fechados, para determinação dos teores de N<sub>TEC</sub>, sendo utilizado Analisador Elementar modelo FlashEA 1112. Posteriormente, com base na produção de matéria seca e o N<sub>TEC</sub> foi estimado o N<sub>AC</sub> no tecido das plantas de arroz irrigado.

Foram realizadas quatro avaliações para monitorar a disponibilidade de N às plantas de arroz irrigado: 1ª – 41 DAS no estágio vegetativo (20 dias após a 1ª aplicação de N em cobertura); 2ª - 55 DAS; 3ª – 76 DAS e 4ª - 88 DAS, as três últimas no estágio reprodutivo. Para tal, em cada avaliação foram determinadas leituras SPAD (fornecendo os valores N<sub>SPAD</sub>, que fornecem uma estimativa indireta do teor de N<sub>TEC</sub>), estimadas pela leitura do aparelho portátil clorofilômetro Minolta (modelo SPAD-502), com uma leitura na posição intermediária da folha (Anexo O),

em 10 plantas por sub-parcela, utilizando-se a última folha completamente expandida das plantas de arroz.

Foram quantificados os indicadores agronômicos produtividade de grãos, peso de mil grãos, esterilidade e número de grãos por panícula no arroz sendo que a colheita para caracterização do rendimento de grãos ocorreu em 01 de março de 2010 (Anexos P e Q), com umidade média em torno de 22%.

Posteriormente, foi efetuada a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, tendo sido uniformizada a umidade dos grãos em 13% (Anexo R). Por ocasião da colheita também foram coletadas dez panículas por tratamento para avaliação dos parâmetros número de grãos por panícula, porcentagem de grãos cheios e peso de 100 grãos.

### **3.2 Análise estatística**

Para os resultados obtidos nas avaliações de N mineral foram realizadas análises de variância e, no caso de ocorrência de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. Nos resultados referentes ao experimento de arroz foi utilizado modelo estatístico indicado para experimentos em faixas nos dois sentidos (experimento bifatorial em faixas, com faixas para os níveis dos dois fatores) para a realização da análise de variância. Para ambos os casos, empregou-se o programa estatístico Sisvar (Sistema para Análise de Variância) para Windows<sup>®</sup>, versão 4.0 (FERREIRA, 2000).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fixação do nitrogênio pela soja cultivada no primeiro ano

Os resultados relativos à soja na área experimental precedendo a instalação dos cultivos de sucessão e rotação com o arroz na várzea apresentaram para  $N_{AC}$  no tecido da parte aérea da soja, em média,  $70,2 \text{ kg ha}^{-1}$ , com produtividade média de grãos da ordem de  $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  e média de 18,8 nódulos ativos por planta. Os valores estimados podem registrar a ocorrência de FBN, nas condições de solos de várzea cultivados com soja, em sistema de cultivo em rotação de culturas com arroz, nos anos, local e condições em que o estudo foi desenvolvido, compondo o cenário com as diferentes condições, sobre as quais foram constituídas as parcelas principais de uso de solo do experimento em sucessão com o azevém e rotação com o arroz.

Os baixos valores de  $N_{AC}$  quantificados podem ser explicados se considerarmos que as raízes apresentam participação importante na disponibilidade de N do solo (ALVES et al., 2000); ZOTARELLI et al., 2005); ARAÚJO et al., 2006), e que ao contrário da quantificação do  $N_{AC}$  na parte aérea da soja, que pode ser feita de forma bastante simples, em métodos tradicionais de determinação do aporte de N no solo, tal como o utilizado neste experimento, a determinação do N oriundo do sistema radicular não são precisas. Diante disto, é possível considerar que as intensas perdas de N por exportação nos grãos em cultivos de elevada produtividade, aliadas à rápida decomposição dos resíduos da parte superior da planta após o final do ciclo produtivo, dispostos sobre a superfície do solo, são intensificadas em condições chuvosas como as predominantes no ano de realização deste estudo. Em situações como estas tais perdas podem superar o total de N derivado da FBN acumulado pela planta, levando a balanços de N negativos para o solo (ARAÚJO et al., 2006). Segundo estes autores, estimativas utilizando  $^{15}\text{N}$  como marcador isotópico têm demonstrado maior precisão na quantificação do N aportado pelo sistema radicular, pois avaliam o N exsudado pelas raízes, o N mineralizado de raízes mortas e o N contido em raízes finas que não são recuperadas nas peneiras utilizadas na separação do material nos métodos tradicionais, geralmente identificando valores bem mais elevados comparados aos obtidos nestes. Em estudo

realizado por eles, o N derivado da FBN, e acumulado nas raízes da soja não recuperadas pelo método tradicional de escavação, representou cerca de 47% do N derivado da FBN, deixado no solo pela planta de soja no sistema de plantio direto e a 65% no convencional. Destaca-se nisto que o alto índice de colheita de N da cultura da soja, normalmente, equivale à proporção do N na planta derivado da FBN (ZOTARELLI et al., 2000).

Apesar das referidas limitações da precisão das quantificações realizadas, considerando os valores médios de  $N_{AC}$  pela parte aérea da soja obtidos neste trabalho, pode-se inferir que a quantidade de N fixado simbioticamente pela cultura foi suficiente para compensar o N removido na colheita, mesmo que a contribuição para o solo, considerando o seu valor absoluto não reflita incremento de grande magnitude. Não obstante a isso, resultados de estimativas sobre as taxas de FBN na cultura da soja em solos tropicais são relatados por Vargas; Hungria (1997) e incluem valores que vão de zero até 450 kg de N ha<sup>-1</sup>, com os valores convencionais na faixa dos 60 até 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Estes autores comentam que em termos de Brasil e nos solos de cerrado, estas taxas situam-se entre pouco mais de 100 e cerca de 250 kg de N ha<sup>-1</sup>, significando cerca de 80% do N total acumulado pela cultura da soja. Outros estudos revelam que a capacidade de suprimento de N pela FBN pode suprir na soja até 300 kg de N ha<sup>-1</sup> e, em decorrência disto, genericamente não se recomenda a utilização de fertilizantes nitrogenados para esta cultura, implicando em economia e sustentabilidade ao sistema produtivo. Algumas destas pesquisas também indicam relação positiva do uso do sistema de plantio direto e da rotação de culturas sobre a quantidade de N fixado nas plantas que possuem esta habilidade, provavelmente em decorrência do melhor equilíbrio dinâmico do solo obtido com a consolidação desta prática.

Neste sentido, Pereira et al. (2007) defendem que incrementos no C e N da biomassa microbiana são intensificados comparando o plantio direto em relação ao plantio convencional, e destacam ainda, que a utilização da prática conservacionista ainda beneficia a eficiência metabólica da microbiota do solo, não tendo detectado diferenças nesses incrementos em função dos sistemas de rotação e sucessão de culturas. Assim, considerando as diferenças que ocorrem no ambiente de várzea, comparando-se àqueles onde as condições de drenagem favorecem o desenvolvimento e a manutenção da atividade dos organismos promotores da FBN, pode-se ponderar que os valores de  $N_{AC}$  obtidos na soja cultivada neste experimento

foram satisfatórios, visto que ainda não se desenvolveram cultivares desta espécie realmente destinados ao cultivo em solos com características hidromórficas. Ou seja, mesmo que a contribuição da FBN quantificada não tenha aparentemente evidenciado valores elevados, a produtividade da fabaceae obtida fora satisfatória para estas condições de solo. Isto pode ser justificado considerando que a produtividade da cultura obtida no experimento foi superior à obtida na linhagem de maior rendimento (PCL 04-13) em estudo realizado por Verneti Junior; Lazari (2009), que atingiu os 2,75 Mg ha<sup>-1</sup>, ao testarem a adaptação de cultivares às condições de solos de várzea.

Soma-se as vantagens destacadas a qualidade do resíduo que a cultura da soja aporta ao solo, que transformado através da decomposição microbiana, pode disponibilizar ao ambiente edáfico o N nas formas de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por meio do processo denominado mineralização, as quais são passíveis de serem assimiladas pelos vegetais, podendo ainda ser temporariamente imobilizadas, removidas do sistema quando da retirada dos grãos ou outras partes vegetativas das culturas (SILVA; RESCK, 1997), ou ainda, perdidas para o ambiente.

Tais condições podem favorecer o cultivo de arroz cultivado em rotação com a soja nos solos de várzea, apresentando além dos benefícios intrínsecos à técnica de inserção de outras culturas, os referentes ao aporte de N ao solo ao solo cultivado. Releva-se assim a possibilidade do fornecimento deste nutriente à cultura do arroz, além das melhorias na produtividade do sistema integrado lavoura-pecuária, através do incremento da produção das pastagens de inverno cultivadas em sucessão à fabaceae nestas áreas de várzeas.

#### **4.2 Dinâmica do N Mineral nas avaliações realizadas ao longo do tempo no período compreendido entre o outono e a primavera**

A interpretação das tendências de comportamentos das formas minerais de N fundamentou-se na análise dos seus valores médios gerais das sete avaliações e valores médios em cada uma delas, efetuadas ao longo do tempo entre o período de 18 DACS até a floração plena do azevém, que coincide com a época em que usualmente são iniciadas as práticas de manejo do solo visando à preparação da lavoura do arroz irrigado para a realização da semeadura. Salienta-se que, nestas avaliações, ao se proceder a análise conjunta da profundidade total amostrada (0 –

20 cm), não se evidenciou efeitos dos usos do solo, motivo pelo qual se optou por apresentar a análise deste fator separadamente nas duas seções coletadas na composição de cada avaliação (0–10 cm e 10–20 cm), onde estes efeitos puderam ser identificados.

Analisando os valores médios gerais das sete avaliações realizadas neste período para os parâmetros  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , desconsiderando o fator uso do solo, ou seja, buscando verificar o efeito de interação entre as coletas, levando em conta apenas a profundidade e os episódios das coletas, identificaram-se comportamentos gerais semelhantes para ambos, nas duas profundidades estudadas ao longo do tempo (Tabela 1). De acordo com esses resultados, não foi possível detectar a ocorrência de deslocamento ou acúmulo das formas quantificadas em nenhuma profundidade amostrada no período.

No que se refere aos resultados registrados para as duas formas de N mineral quantificadas, na primeira avaliação, realizada aos 18 DACS, foram obtidos os valores médios mais elevados em relação a todo o período de amostragem, nas duas profundidades, tanto para  $\text{NO}_3^-$  como para  $\text{NH}_4^+$ , diferindo significativamente dos quantificados nas demais coletas (Tabela 1). Da mesma forma, na segunda avaliação (25 DACS), os valores também diferiram dos demais para os dois parâmetros, sofrendo redução em relação à primeira, e sendo superiores e diferentes de todos os demais nas amostragens realizadas até os 136 DACS.

Já na avaliação dos valores médios gerais dos parâmetros  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  discriminados por histórico de uso ao longo das sete avaliações realizadas, também se evidenciou a predominância dessa tendência de comportamento entre os usos testados, com valores iniciais elevados e diferentes aos obtidos nas avaliações sequenciais nas duas profundidades estudadas (Figura 1 e 2). Verifica-se também neste caso, que a partir da segunda avaliação (25 DACS) ocorreu predomínio do decréscimo intenso dos valores para a maioria dos usos nas duas profundidades, novamente diferindo dos obtidos em todas as demais realizadas ao longo do tempo.

Tabela 1 – Teores de  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm em sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS.

<b>Profundidade 0 – 10 cm</b>		
<b>Número da coleta e dias após a colheita da soja (DACS)</b>	<b><math>\text{NH}_4^+</math> total</b>	<b><math>\text{NO}_3^-</math> total</b>
1 <sup>a</sup> – 18	130.965 a	144.251 a
2 <sup>a</sup> – 25	57.746 b	15.368 b
3 <sup>a</sup> – 32	8.121 c	5.105 c
4 <sup>a</sup> – 39	9.476 c	9.714 c
5 <sup>a</sup> – 55	22.661 c	19.051 b
6 <sup>a</sup> – 69	1.358 c	3.171 c
7 <sup>a</sup> – 136	9.832 c	3.515 c

<b>Profundidade 10 – 20 cm</b>		
<b>Número da coleta e dias após a colheita da soja (DACS)</b>	<b><math>\text{NH}_4^+</math> total</b>	<b><math>\text{NO}_3^-</math> total</b>
1 <sup>a</sup> – 18	119.573 a	143.401 a
2 <sup>a</sup> – 25	69.531 b	15.785 b
3 <sup>a</sup> – 32	12.647 c	5.979 c
4 <sup>a</sup> – 39	5.715 c	6.857 c
5 <sup>a</sup> – 55	22.021 c	18.443 c
6 <sup>a</sup> – 69	3.600 c	2.264 c
7 <sup>a</sup> – 136	9.286 c	3.246 c

Nas colunas, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na segunda avaliação (25 DACS) registrou-se incremento significativo dos teores amoniacais na parcela conduzida com pousio em sucessão à soja. Considerando a proximidade desta coleta em relação ao aporte do material da cultura anterior, poderia se atribuir o incremento dos valores do  $\text{NH}_4^+$  à parte do N fixado via FBN. No entanto, avaliando o atraso na semeadura (21 DACS) e estabelecimento da cultura do azevém, em decorrência das fortes chuvas incidentes naquele ano (ANEXO S), para que pudéssemos assumir como verdadeira a origem do N aportando, na parcela em que se evidenciou o incremento, este comportamento também deveria ser percebido nesta outra conduzida em sucessão à soja, uma vez que ainda não se justificaria o consumo do nutriente pela forrageira.

Desta maneira, as explicações podem guardar relação com possíveis variações de amostragem ou de determinação em laboratório.

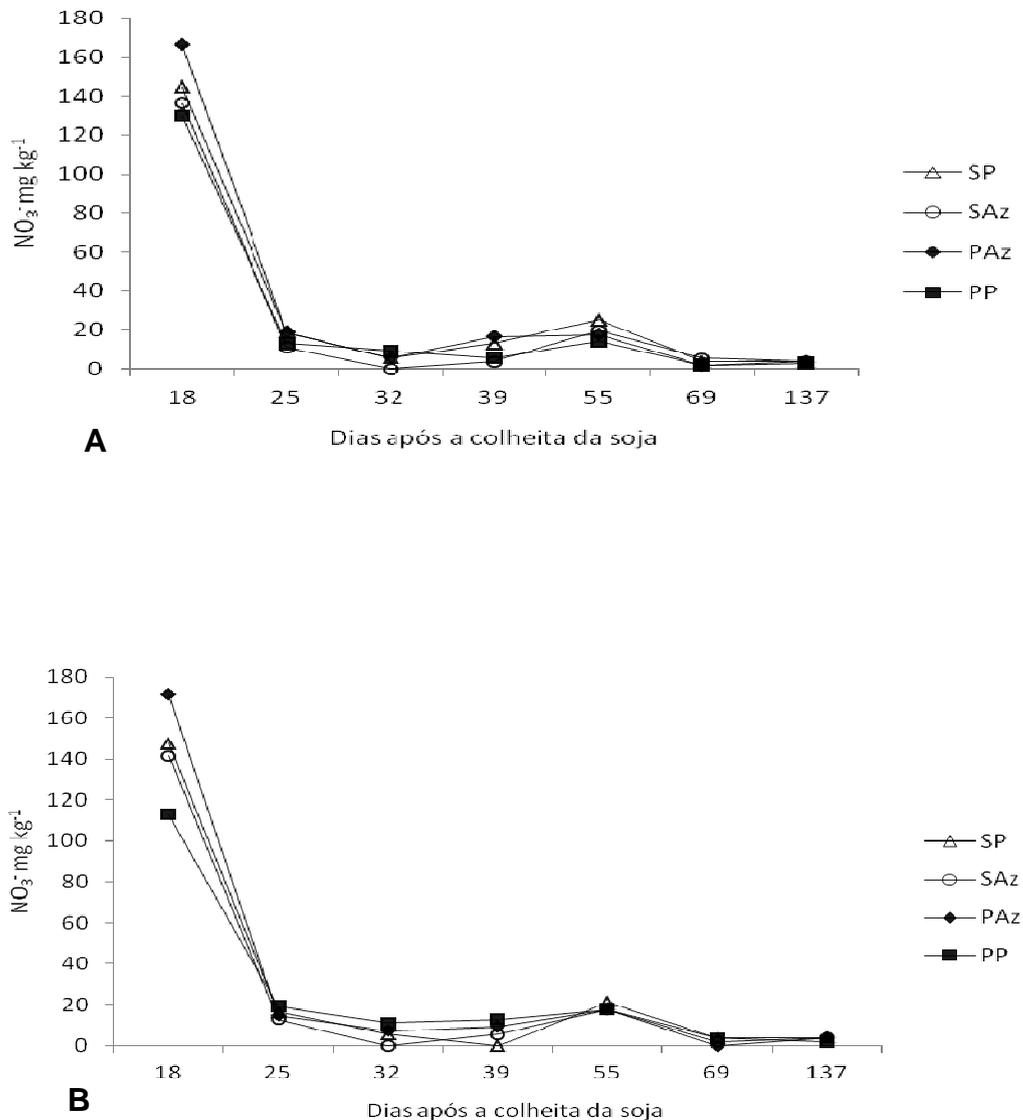


Figura 1 – Dinâmica da forma mineral  $\text{NO}_3^-$  na profundidade 0 – 10 cm (A) e 10 – 20 cm (B), em solo submetido a diferentes sucessões de uso (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), nas sete coletas realizadas do outono à primavera de 2009. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS.

Considerando a maior estabilidade do  $\text{NH}_4^+$  em ambientes alagados e com deficiência de  $\text{O}_2$ , seria de se esperar incremento dos seus valores nos períodos de maior umidade do solo, como os verificados durante o inverno, principalmente nas parcelas que receberam resíduos ricos em N. No entanto, isso não foi observado e o

comportamento genérico semelhante para  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  identificado nos quatro tratamentos de uso do solo do outono até a primavera nas duas seções de solo amostras (Figura 1 e 2) sugere que a inserção da fabaceae na rotação não refletiu da forma esperada, a influência da contribuição de N nas parcelas cultivadas com soja no verão. Este desempenho dificultou a identificação clara da contribuição dos resíduos orgânicos da soja no sistema produtivo avaliado no experimento, através dos teores de N mineral no solo.

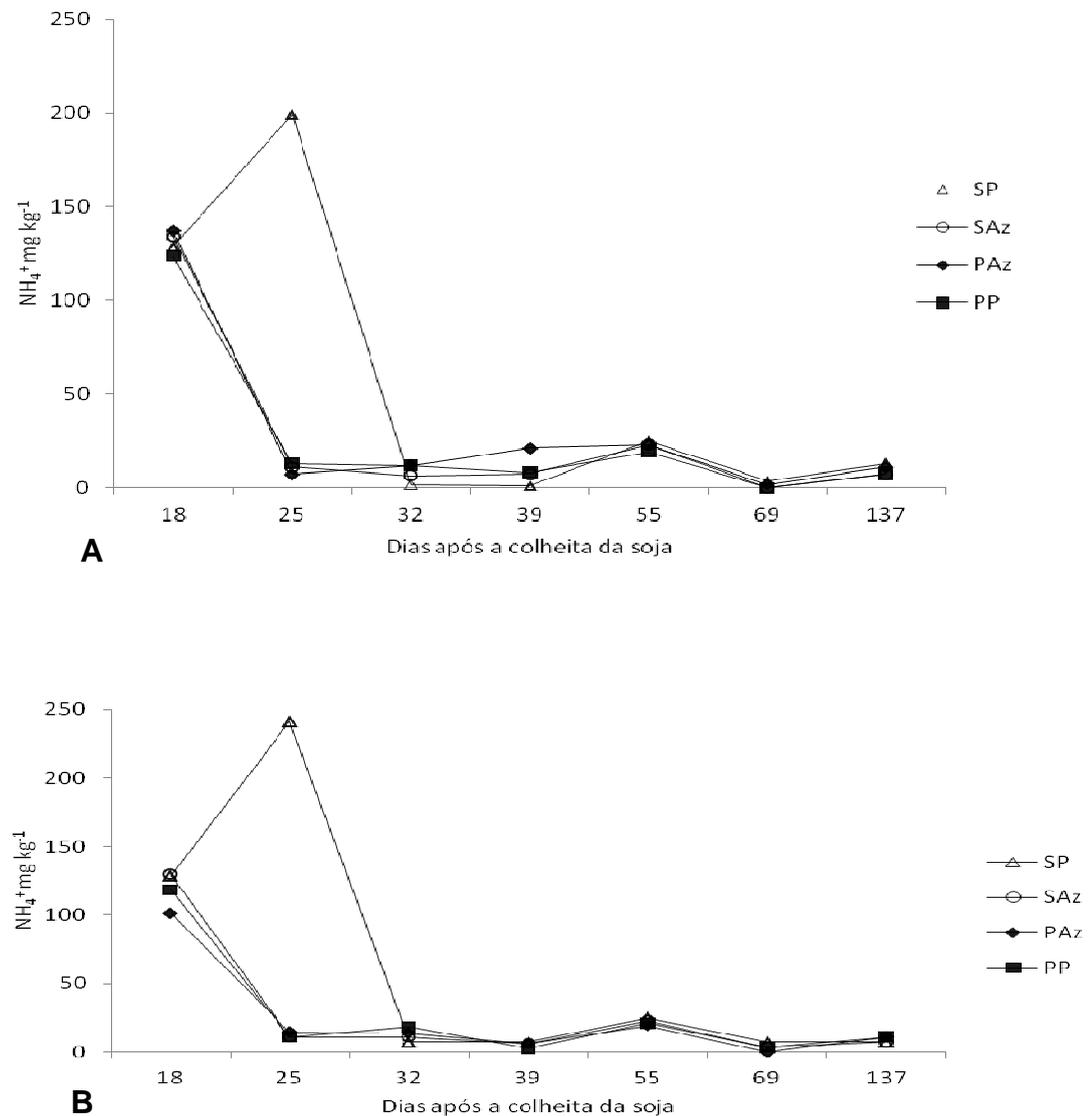


Figura 2 – Comportamento da forma mineral  $\text{NH}_4^+$  na profundidade 0 – 10 cm (A) e 10 – 20 cm (B), em solo submetido a diferentes sucessões de uso (S-P: soja-pousio; S-Az: soja-azevém; P-Az: pousio-azevém e P-P: pousio-azevém), nas sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS.

Este comportamento também reitera a estimativa de que apesar da produção elevada da soja na várzea, que a FBN possa não ter sido significativa no ambiente em que foi realizado o experimento. Além disso, podem ter ocorrido perdas relevantes entre a queda das folhas da soja e a implantação e estabelecimento do azevém. Neste sentido deve-se considerar que perdas atribuídas ao processo de desnitrificação são comuns em solos de ambientes de várzea, em decorrência das características de baixa permeabilidade e hidromorfismo a eles intrínsecas, e que provêm da presença de horizonte B textural e da sua localização em áreas de baixa declividade, onde a água da chuva acumula-se facilmente (SILVA et al., 2008). Tais características favorecem o predomínio das condições anaeróbicas, o que de acordo com Silva (2009), incrementa a taxa de decomposição anaeróbica dos materiais orgânicos, e conseqüentemente, promove maior transformação do N mineral em  $\text{NH}_4^+$ , e deste para outras formas facilmente passíveis de perdas para o ambiente.

Assim, destaca-se a condição de umidade excessiva dos solos como fator que possivelmente influenciou a dinâmica do N mineral no período compreendido entre o início e o fim das avaliações destes parâmetros, principalmente no que diz respeito às perdas para o ambiente. Esta influencia refere-se principalmente à predominância de condições favoráveis à ocorrência dos processos de redução, que geralmente implicam em desaparecimento do N mineral contido no solo na forma nítrica após poucos dias exposição a elas. Neste sentido, o excesso de umedecimento registrado no período, que configura o cenário comum da época compreendida entre o final do outono e o início da primavera na região onde foi realizado o experimento, pode ter oferecido condições propícias para a ocorrência das perdas por desnitrificação do N, com a possível saída expressiva principalmente das formas móveis do nutriente para o ambiente. Isto possivelmente justificaria o rápido desaparecimento dos elevados valores de N mineral inicialmente quantificados, e a não evidência de transporte ou acúmulo na camada mais profunda.

Em condições controladas, é possível perceber mais claramente os processos envolvidos nessas dinâmicas do N, tal como relatado no estudo de SILVA et al. (2011), onde foram monitorados 15 solos de várzea do RS, buscando correlacionar as formas de N mineral com as características dos mesmos, incubando-se as amostras durante 24 semanas. Durante esse período realizaram lixiviações e

determinaram o teor de N mineral, constatando que os teores de  $\text{NO}_3^-$  decresceram em relação ao início da incubação, quase não sendo mais quantificado após oito semanas. Enquanto isso, o mesmo estudo registrou elevação do teor de  $\text{NH}_4^+$  como decorrência do alagamento, com maiores valores ocorrendo ao redor de quatro a cinco semanas de incubação, com posterior declínio até a 18ª semana. Assim, neste trabalho os autores evidenciam diferenças nas quantidades de  $\text{NO}_3^-$  antes do alagamento nos solos de várzea do RS, constatando que esta forma de N mineral pode ser perdida ou absorvida pela cultura do arroz irrigado, ao mesmo tempo em que ocorre pico de liberação de  $\text{NH}_4^+$ , característico para cada solo.

Estes resultados também estão de acordo com o apresentado por Fageria et al. (2003), que obteve perdas de praticamente todo o nitrato existente em até três semanas de submissão às condições de anaerobiose, independentemente da quantidade inicial existente no solo. Com base nisto, estima-se que as perdas por desnitrificação decorrentes da redução do nitrato respondem por grandes perdas do N em ambientes de elevada umidade, como os registrados desde o período antecedente à segunda avaliação (anexo S) realizada aos 25 DACS (Tabela 1), possivelmente justificando a acentuada queda nos valores de  $\text{NO}_3^-$  quantificados a partir desta coleta.

Ao mesmo tempo, informações apresentadas por Troeh; Thompson (2007) indicam que os ciclos alternados de umedecimento e secagem do solo podem promover valores acumulados de  $\text{NO}_3^-$  superiores àqueles constantemente úmidos, em decorrência da expulsão de ar que ocorre para dentro e fora do solo nestas condições, renovando os teores de  $\text{O}_2$  e, conseqüentemente, incrementando a decomposição do material orgânico. Considerando que os principais organismos responsáveis pela desnitrificação são os anaeróbios facultativos, é provável que o ambiente de várzea submetido a ciclos de umedecimento e secagem repetidos, decorrentes das chuvas frequentes registradas naquele inverno (Anexo S), intercaladas aos dias de estiagem, tenha privilegiado o predomínio destes grupos de organismos e a ocorrência constante deste processo ao longo do tempo. Isto talvez colabore para justificar a semelhança das tendências para valores das duas formas de N mineral quantificadas durante o inverno, ou seja, a não evidência de elevação dos valores de  $\text{NH}_4^+$  e diminuição do  $\text{NO}_3^-$  durante o período. A possível ocorrência destes ciclos de umedecimento e secagem alternados pode ainda, guardar relação com a elevação dos teores de  $\text{NO}_3^-$  identificada na camada superior, por ocasião da

quinta coleta, maiores e diferentes estatisticamente dos registrados na quarta coleta para este parâmetro (Tabela 1), e que ocorreu imediatamente após um período em que se registrou a diminuição dos níveis de precipitação pluviométrica por alguns dias (Anexo S).

Discorrendo de forma mais aprofundada sobre a influência do fator uso do solo nas coletas para cada parâmetro de N mineral avaliado neste experimento, é possível evidenciar algumas particularidades da sua dinâmica que a análise conjunta dos valores de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  ao longo das sete avaliações não demonstra de forma clara. Assim, especificamente sobre os resultados obtidos para o  $\text{NO}_3^-$  em cada uma das coletas, considerando-se os valores registrados para este parâmetro como reflexo do fator uso do solo, não foi evidenciado efeito em nenhuma das sete avaliações, nas duas profundidades. Ou seja, analisando isoladamente cada uma das avaliações realizadas desde o final do outono até a última coleta realizada na primavera, em nenhuma delas registrou-se influência do histórico de uso do solo sobre os valores de  $\text{NO}_3^-$  quantificados.

No entanto, na análise da influência do fator uso do solo considerando conjuntamente os valores médios gerais obtidos para o parâmetro  $\text{NO}_3^-$  ao final das sete avaliações (obtidos a partir do somatório dos valores totais finais de  $\text{NO}_3^-$  em todas as coletas pelo número total de coletas), nas duas profundidades, obteve-se diferença significativa apenas para a profundidade 0–10 cm (Tabela 2), em que se evidenciou que as parcelas com sucessão PAz e a SP, apresentaram médias maiores e diferentes das obtidas nos demais tratamentos, que não diferiram entre si.

Sobre este desempenho, é importante reiterar que a absorção do N pelas plantas implica consumo das formas disponíveis no solo, ocorrendo principalmente com as formas nítrica e amoniacal, sendo a primeira a preferencial em boas condições de drenagem e a segunda quando ocorre excesso de água no ambiente edáfico. Esta última situação será abordada adiante, quando da apresentação detalhada das análises realizadas isoladamente para o parâmetro  $\text{NH}_4^+$ .

Desta maneira, no que se refere aos efeitos do fator uso do solo, registrados na camada superficial, considerando os valores médios gerais do  $\text{NO}_3^-$  ao final das sete avaliações, estima-se que possam guardar relação, entre outros fatores, com o consumo de N pelo azevém cultivado na estação fria, além da presumível contribuição do aporte do N pela soja no verão, o que é evidenciado ao se traçar paralelos entre resultados obtidos nesta análise para os distintos usos. Inicialmente

examinando as quantificações referentes às parcelas submetidas ao pousio, notemos que naquela mantida sem cultivo durante todo o período, os valores médios gerais de  $\text{NO}_3^-$  foram diferentes e menores dos registrados nas outras duas variações de pousio. No entanto, ao se comparar os valores obtidos para a parcela mantida em pousio permanente com os observados na submetida ao pousio de verão e cultivada com azevém no inverno, onde a priori seria de se esperar que houvesse condição inicial semelhante, seguida de valores que evidenciassem o consumo de N pelo azevém, nota-se a partir dos dados obtidos, a ocorrência de comportamento inverso. Estima-se que a justificativa para explicar os valores elevados e diferentes registrados para a última parcela, pode manter relação com a possível ocorrência de ciclagem das formas de N existentes no solo pela cultura do azevém.

Já a contribuição da FBN para incremento do N disponível no solo, através da análise deste parâmetro na camada superficial, pode ser inferida ao compararmos os valores obtidos para a parcela mantida em pousio no decorrer de todo o período, com os registrados na parcela cultivada no verão com soja e mantida em pousio no inverno, sem a influência do consumo pelo azevém. Os dados registram valores diferentes e superiores para esta última parcela, possivelmente em função do aporte de N ao sistema solo resultante da FBN durante o cultivo da soja.

No entanto, há que se considerar que nas parcelas mantidas em pousio, tanto de verão como de inverno, embora fossem realizadas operações de controle da vegetação espontânea nativa típica de verão e de inverno, esta também pode ter contribuído para ciclagem do nutriente nitrogenado nas parcelas submetidas ao pousio nestas épocas. Nestas circunstâncias, é possível que tenha havido favorecimento para o estabelecimento de um estado de equilíbrio dos microrganismos cicladores da matéria orgânica do solo nessas parcelas sob pousio, atenuando as perdas para o ambiente. Assim, entre outras condições de campo, as plantas de ocorrência espontânea podem ter influenciado no aporte, na manutenção de N no sistema solo, assim como na demanda pelas formas disponíveis do nutriente, podendo interferir na precisa quantificação da dinâmica das formas de N nas sucessões testadas neste experimento.

Tabela 2 – Valores médios gerais de  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos tratamentos de sucessão (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), na profundidade 0-10 cm em sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS.

Tratamento uso do solo	Teor de $\text{NO}_3^-$ total	
	Profundidade 0 – 10 cm	
PP	25.191	b
SAz	25.693	b
SP	30.573	a
Paz	32.931	a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Além do exposto, podem ser consideradas importantes com relação à parcela em que houve condições para realização da FBN, posteriormente cultivada com azevém no inverno, as implicações relativas à demora do estabelecimento da cultura de cobertura, decorrente do excesso hídrico, as quais podem ter favorecido as perdas do  $\text{NO}_3^-$  por desnitrificação desde o início do período de decomposição dos resíduos, ocultando o real efeito do incremento do N proveniente desta fonte. Isto pode ser percebido ao se comparar os resultados dos teores deste parâmetro da parcela cultivada com azevém em sequencia ao pousio, com a previamente cultivada com soja e mantida em pousio na estação fria, que apresentaram os valores mais elevados, mas não diferiram entre si.

Uma das possibilidades para a não apresentação de diferenças para o parâmetro teores de  $\text{NO}_3^-$  na profundidade 10–20 cm, em relação aos tratamentos de uso do solo, talvez decorra das possíveis perdas por lixiviação que possam ter ocorrido em função das condições de elevada umidade do solo registradas no período das coletas. Esta implicação dificultou a identificação da ocorrência de transporte ou acúmulo desta forma de N para a camada inferior de solo considerada no estudo.

Já para o parâmetro  $\text{NH}_4^+$ , ao contrário do observado para o  $\text{NO}_3^-$ , a análise isolada dos valores médios obtidos em cada uma das sete avaliações considerando o fator uso, obteve efeito significativo do mesmo em uma das coletas. Assim, na

amostragem realizada aos 25 DACS (Tabela 3), registrou-se resultado evidente desta interação para as duas profundidades avaliadas. Admitindo-se a precisão dos valores obtidos para este parâmetro nesta amostragem, a sucessão SP apresentou os maiores valores nas duas tanto na profundidade 0 – 10 cm como em 10 – 20 cm, diferindo de todos os outros tratamentos. Embora os resultados identificando efeito dos usos para este parâmetro em uma coleta isoladamente não assegurem o entendimento da dinâmica do  $\text{NH}_4^+$  no decorrer do período, auxiliam a visualização da conservação dos níveis identificados em cada uso entre as camadas de solo analisadas.

Tabela 3 – Médias de  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) para as profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm nas diferentes sucessões (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), aos 25 dias após a colheita da soja. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS.

<b>Profundidade 0 – 10 cm</b>			
<b>Tratamento uso do solo</b>		<b><math>\text{NH}_4^+</math></b>	
Paz	7.552	b	
SAz	11.170	b	
PP	13.40	b	
SP	199.222	a	
<b>Profundidade 10 – 20 cm</b>			
<b>Tratamento uso do solo</b>		<b><math>\text{NH}_4^+</math></b>	
SAz	10.980	b	
Paz	14.635	b	
PP	10.980	b	
SP	241.530	a	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Evidenciou-se assim, com base nos resultados encontrados na segunda avaliação, que os dois sistemas cultivados com soja no verão não apresentaram o mesmo desempenho para os teores de  $\text{NH}_4^+$ , conforme já observado nas análises das médias gerais dos teores de  $\text{NO}_3^-$ . Apesar do  $\text{NH}_4^+$  ser a forma preferencial absorvida pelas plantas em condições de baixa disponibilidade de oxigênio, como as predominantes no período desta amostragem, as diferenças entre essas duas sucessões, não podem ter decorrido do consumo do  $\text{NH}_4^+$  na parcela cultivada com azevém, visto que, nesta data a cultura ainda não se apresentava estabelecida.

Referindo-se à influência dos fatores ambientais em condições de campo sobre a produção de  $\text{NH}_4^+$ , Vahl (1998) aponta a existência de consenso sobre que em temperaturas consideradas baixas, tais como  $15^\circ\text{C}$ , aproximadas das normalmente registradas na época inicial da realização das coletas, também coincidente com a intensificação do período chuvoso (Anexo S), ocorre diminuição da eficiência de disponibilização desta forma de N, comparado com o que ocorre em temperaturas maiores. Disso, também podem resultar alterações na quantidade acumulada desta forma de N, principalmente nos períodos iniciais da condição de anoxia, resultando numa relação com o tempo de alagamento ou hidromorfismo praticamente linear.

No que se refere aos teores médios gerais de  $\text{NH}_4^+$  obtidos no decorrer das sete avaliações, a análise de variância também apresentou efeito significativo para o fator uso do solo (Tabela 4). Obteve-se que o tratamento em que foi cultivada a soja no verão e mantido o pousio no inverno, apresentou valores superiores e diferentes dos demais, nas duas profundidades. Assim, considerando os valores médios acumulados durante todo o período de avaliação, esta tendência poderia evidenciar a contribuição do N fixado pela Fabaceae no verão, que sob condições anaeróbias e na ausência de demanda de N por uma cultura durante o inverno, apresentou acúmulo desta forma de N mineral proveniente da mineralização do material orgânico rico em N nesta parcela, para as duas profundidades. No entanto, a diferença pode simplesmente refletir efeito dos valores elevados na segunda avaliação, onde se estima que tenha ocorrido alguma imprecisão na amostragem ou na determinação dos teores deste parâmetro em laboratório.

Tabela 4 – Valores médios gerais de  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos tratamentos de sucessão (SP: soja-pousio; SAz: soja-azevém; PAz: pousio-azevém e PP: pousio-pousio), na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm de sete coletas realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria - RS.

<b>Tratamento uso do solo</b>	<b>Profundidade 0 – 10 cm</b>
PP	26.323 b
Saz	27.127 b
Paz	30.577 b
SP	53.208 a
<b>Tratamento uso do solo</b>	<b>Profundidade 10 – 20 cm</b>
Paz	23.812 b
PP	26.661 b
SAz	27.466 b
SP	60.561 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Com base nos resultados obtidos para os parâmetros de N mineral neste experimento realizado em condições de campo, pode-se deduzir que ainda que em uma análise genérica exista o consenso de que a mineralização de N possui contribuição fundamental se considerarmos a FBN como fonte do nutriente, e que o entendimento dos mecanismos envolvidos nesse processo possibilita o monitoramento do seu aproveitamento entre cultivos sucessivos, muitos fatores podem interferir na sua rigorosa mensuração. As dificuldades de quantificação confiáveis nas avaliações de campo destes parâmetros podem refletir imprecisão sobre as informações obtidas nestas situações, comparadas àquelas conseguidas em condições controladas, que possibilitam, de acordo com Silva et al. (2008), a utilização de modelos matemáticos para estimar o potencial de mineralização de N no solo, tornando mais confiáveis as informações de como esses parâmetros estimados com a decomposição anaeróbia podem ser empregados na predição da disponibilidade do N para a cultura do arroz irrigado.

Verificam-se a partir das comparações das médias gerais dos dois parâmetros de N mineral monitorados, nos diferentes históricos de usos, distintas

possibilidades para explicação do efeito discreto do aporte de N pela Fabaceae. No entanto, não é possível afirmar que a cultura do azevém não tenha aproveitado o N proveniente da FBN, mesmo que, para fins práticos, se assuma que a maior parte das perdas possam ter ocorrido entre a deposição das folhas da soja no solo e a implantação e estabelecimento da forrageira.

Assim, no caso do presente estudo, mesmo sem a evidência do consumo de N proveniente da FBN pela forrageira de inverno, a quantificação das formas minerais de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , no período compreendido entre a retirada da soja e o fim do cultivo do azevém conduzido em sucessão, permitiram inferir a ocorrência de alguns dos comportamentos de ganhos e perdas intrínsecos à dinâmica do N, e comuns aos ambientes de várzeas, intensificados nos cenários de sucessão de culturas testados neste experimento. Foi possível ainda, inferir a importância da manutenção das condições de equilíbrio da fauna microbiana típica desses solos, além da possibilidade de certa equivalência na eficiência da FBN da vegetação espontânea com o ganho proveniente da mineralização dos resíduos da Fabaceae.

Em termos de expectativa de contribuição para cultivos subsequentes nestas condições, os baixos valores obtidos ao longo das avaliações não sugerem expectativa de transferência das formas minerais ao cultivo do arroz em sucessão, a ponto de influenciar por si só o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Este entendimento permite deduzir que a manutenção do pousio também pode trazer benefícios semelhantes aos obtidos quando da utilização do azevém como cultura forrageira no inverno, visando à ciclagem do N.

#### **4.3 Matéria seca e teores de nitrogênio acumulados no tecido do azevém**

Os valores obtidos para MS do azevém no período da floração plena foram influenciados pelo fator uso do solo, sendo que a parcela cultivada com a Poaceae precedida pela soja diferiu da mantida em pousio durante o verão anterior (Tabela 5). A diferença de mais de  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  de MS entre os tratamentos pode resultar, parcialmente, da contribuição do N fixado pela soja durante o verão para o desenvolvimento do azevém. Estima-se que outros fatores, tais como a própria adubação da cultura da soja possam também ter influenciado este resultado, visto que, a análise estatística dos valores de  $N_{AC}$  no tecido da forrageira (Tabela 5), obtidos neste mesmo material, não evidencia distinções entre os usos do solo, tendo

os dois tratamentos prévios ao cultivo do azevém proporcionado valores semelhantes para este parâmetro. Entre outros, deve-se considerar também que, em geral, experimentos desenvolvidos a campo apresentam alto CV (%) o que muitas vezes acaba influenciando negativamente na distinção dos tratamentos. Apesar disso, a diferença obtida nos valores de  $N_{AC}$  entre os tratamentos foi da ordem de pouco mais de  $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que na prática, não seria relevante para o arroz irrigado cultivado na sequência.

Tabela 5 – Produção de matéria seca (MS -  $\text{kg ha}^{-1}$ ) e N acumulado ( $N_{AC}$  -  $\text{kg ha}^{-1}$ ) no azevém, cultivado do outono à primavera, em diferentes sucessões (SAz: soja-azevém e PAz: pousio-azevém). Safra 2009/2010, em Santa Maria – RS.

<b>MS Azevém</b>	
<b>Tratamento uso do solo</b>	<b>Rendimento <math>\text{Kg ha}^{-1}</math></b>
Paz	2.800 b
SAz	3.900 a

<b>Acúmulo de N no tecido do Azevém</b>	
<b>Tratamento uso do solo</b>	<b><math>N_{AC}</math> <math>\text{Kg ha}^{-1}</math></b>
Paz	19.000 a
Saz	24.800 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao se confrontar os resultados obtidos para N mineral do solo ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) nas parcelas cultivadas com azevém no inverno, infere-se que mesmo que tenha ocorrido absorção do N pela cultura de inverno nos dois tratamentos, considerando os valores baixos destes parâmetros nas parcelas contendo a Poaceae no verão anterior, isso não se refletiu em acúmulo do nutriente no tecido da planta, apesar de interferir na produção de MS. Outra possibilidade que deve ser considerada é a da

perda das formas de N presentes no solo, advindas do cultivo com soja, antes que tenha havido o estabelecimento da cultura do azevém.

Pode-se deduzir assim que se a contribuição ocorreu, foi apenas no sentido de estimular o perfilhamento do azevém, aumentando a quantidade de material produzido. Neste caso, uma consideração importante diz respeito à possibilidade de efeito residual da adubação da soja cultivada anteriormente, que poderia ser responsável pelo incremento de produção evidenciado. Considerando que no cultivo da soja, apesar da não utilização do nutriente nitrogenado, são empregados elevados níveis de adubação fosfatada e potássica, onde, principalmente a primeira permanece no sistema solo por mais tempo, torna-se razoável admitir que estes nutrientes possam ser disponibilizados aos cultivos posteriores, interferindo nos seus rendimentos.

Diante disto, o planejamento de uso das áreas de várzea buscando otimizar a produção de azevém como cultura de inverno não pode deixar de levar em consideração as particularidades que caracterizam estes ambientes, com vistas à evitar prejuízos econômicos e ambientais, além otimizar a utilização destas áreas para fins de uso na integração lavoura-pecuária e até mesmo do seu uso alternativo à cultura do arroz, utilizando culturas como a soja no verão. No mesmo sentido, as implicações do uso destas áreas sob diferentes rotações e sucessões sobre o arroz cultivado-irrigado, principalmente no que tange as suas demandas nutricionais, podem ser alteradas.

Com relação aos rendimentos decorrentes da adaptabilidade do cultivo desta forrageira em solos de várzea, cultivados em sistema de plantio direto, sem preparo do solo, e condizente com a maioria dos casos em que se aplica na integração lavoura pecuária no estado do RS, Reis (2009) avaliou o desempenho da produção do azevém em um Planossolo Háplico da Unidade de Mapeamento Pelotas, no RS. No referido trabalho, obteve que a forrageira de estação fria possui bom estabelecimento após o uso de herbicidas utilizados em lavouras de plantio direto, à semelhança das práticas realizadas nas parcelas cultivadas com azevém no presente experimento. Evidenciou também que seu plantio sobre solo de várzea cultivado durante o verão, sem preparo, apresentou incremento na MS disponível na primavera em relação aos tratamentos que prepararam o solo. Também que, com o passar de utilizações sucessivas da forrageira após as culturas de verão, ocorreu incremento dessa produção de MS, por ocasião da diminuição do banco de

sementes das plantas nativas de inverno e algumas das perenes anuais, diminuindo a competitividade.

O não revolvimento do solo cultivado utilizando sistema de plantio direto no verão também pode ter oportunizado tanto o acesso do azevém ao residual dos adubos fornecidos à soja como os ciclados durante e após o seu cultivo, e ainda, as próprias melhorias físicas do solo comumente promovidas através da adoção deste sistema. Assim, pode-se inferir que a utilização do sistema de plantio direto nas parcelas cultivadas com azevém pode também ter contribuído para os bons resultados de MS obtidos para esta cultura neste experimento, principalmente em se tratando da quase ausência de plantas competindo com a cultura na fase inicial de estabelecimento da forrageira, que é a mais crítica neste sentido, além das possíveis melhorias nas condições físicas e químicas do solo.

Os resultados de produtividade de MS obtidos assemelham-se aos valores normalmente obtidos nos cultivos em solos hidromórficos. Este desempenho equivalente pode ser atribuído à condição normal destes solos no período de inverno, onde geralmente registra-se maior umidade, demonstrando por conseqüência, a capacidade de sobrevivência e de recuperação do azevém sob tais condições. Relacionando os resultados deste parâmetro quantificados neste experimento com os alcançados por Montardo; Mittelman (2009), em experimento de campo realizado na Região da Campanha do RS, avaliando a cultivar de azevém BRS Ponteio, que apresenta caracteristicamente bons resultados em comparação com o azevém comum, obtiveram para três cultivares avaliadas, valores inferiores de MS da parte aérea em comparação aos obtidos neste experimento em que se utilizou uma cultivar comum. No referido experimento, obtiveram os valores de 3.636 Kg ha<sup>-1</sup> e 2.309 Kg ha<sup>-1</sup> para os valores de MS da parte aérea da cultivar BRS Ponteio, respectivamente nos anos 2006 e 2007. No mesmo experimento, para os mesmos anos, produziram 2.676 Kg ha<sup>-1</sup> e 1.599 Kg ha<sup>-1</sup> nas parcelas cultivadas com azevém comum.

Em comparação com rendimentos obtidos para esta forrageira em solos não hidromórficos, os resultados obtidos neste experimento também podem ser considerados elevados. Estudando a produção de forragem de populações de azevém anual no estado do RS, Flores et al. (2008) obtiveram para produção de MS aérea para a cultivar comum 1.837 Kg ha<sup>-1</sup> e 1.521 Kg ha<sup>-1</sup> em um Plintossolo

Argilúvico Distrófico e em um Chernossolo Argilúvico Férrico Típico (EMBRAPA 2006), respectivamente.

#### **4.4 Matéria seca e nitrogênio acumulado no tecido do arroz**

A análise da eficiência dos tratamentos doses de AN<sub>s</sub> e sistemas de uso do solo em sucessão e rotação com o arroz aos oito DAA (28 DAS) obteve efeito significativo sobre os índices de produção de MS dessa cultura apenas para o fator uso do solo, não havendo incidência de efeito significativo sobre o fator doses de AN<sub>s</sub>, nem da interação entre estes fatores. Assim, para o parâmetro MS do arroz, dentre os usos testados, a sequencia PPAr apresentou nesta avaliação os maiores valores que diferiram de todos os demais (Tabela 6).

Os resultados referentes ao fator uso concordam com a expectativa de existência de imobilização das formas assimiláveis de N pelas plantas nas parcelas cultivadas com a Poaceae durante o inverno. A presença de resíduos culturais nas parcelas cultivadas com a forrageira possivelmente implicou na intensificação da atividade microbiana para degradá-los, elevando a demanda por N por estes organismos, resultando em competição pelo nutriente com a cultura do arroz na fase inicial do desenvolvimento desta cultura. Este comportamento que guarda relação com a quantidade e qualidade do resíduo aportado ao solo, é geralmente intensificado quando se utiliza o sistema de plantio direto, a exemplo do adotado neste experimento, em que a não incorporação dos resíduos no solo torna mais lento o acesso e por consequência a sua decomposição por estes organismos.

Os maiores valores de produção da MS do arroz obtidos no tratamento uso do solo mantido em pousio nas duas etapas anteriores ao cultivo do arroz superam inclusive, os das parcelas em que se cultivou soja no verão, podendo ainda ser atribuídos a outros fatores de contribuição positiva, que possivelmente sobrepuseram o efeito esperado de fornecimento de N pela FBN da soja. Neste sentido, podem ser citados a ausência de exportação de nutrientes pelos grãos de soja, sucedida nas parcelas cultivadas com a Fabaceae, e a não ocorrência de imobilização do N nos resíduos culturais de elevada relação C/N, como estima-se ter acontecido nas parcelas cultivadas com azevém.

Tabela 6 - Produção de matéria seca (MS) de arroz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de valores de N acumulado ( $N_{AC}$ ) no tecido ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aos 28 dias após a semeadura; e rendimento de grãos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) para a cultivar Puitá CL, em função das doses de N na semeadura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e da rotação / sucessão de culturas. Safra 2009/2010, em Santa Maria – RS.

<b>Fator/tratamento</b>	<b>MS</b>	<b><math>N_{AC}</math></b>	<b>Rendimento de Grãos</b>
	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----		----- $\text{Mg ha}^{-1}$ -----
<b>Doses de N na</b>			
<b>Semeadura</b>			
0	2.440 a	50,9 a	10,2 a
10	2.649 a	55,2 a	10,0 a
30	2.413 a	43,9 a	10,2 a
<b>Uso do Solo</b>			
	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----		----- $\text{Mg ha}^{-1}$ -----
PPAr	3.065 a	53,9 a	10,2 a
SPAr	2.520 b	61,7 a	9,5 b
SAzAr	2.148 b	45,1 b	10,5 a
PAzAr	2.271 b	39,4 b	10,3 a

Médias de cada tratamento seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Assim, dois cenários distintos devem ser identificados buscando compreender os resultados obtidos para MS de arroz neste experimento, sendo o primeiro composto pelas duas áreas que o antecederam o seu cultivo com pousio e o segundo de duas áreas previamente cultivadas com azevém. Ao atentarmos para o fato de que o azevém é uma Poaceae, da mesma forma que o arroz, a expectativa seria de ocorrência de competição pelo N mineral. Este comportamento estaria refletindo a condição em que, ao mesmo tempo, os microrganismos estariam demandando grande quantidade de N para decompor os resíduos do azevém, e as plantas de arroz absorvendo-o para seu desenvolvimento inicial, o que acontece

principalmente na fase de perfilhamento, que é coincidente com a da coleta do material para avaliação. Assim, no caso destas parcelas com cultivo antecedente durante o inverno, haveria condições para ocorrência de deficiência do N decorrente da imobilização microbiana, intensificada por se tratar de cultivos sequenciais de espécies Poaceas. Esta possibilidade de competição pelo nutriente provém dos resíduos da cultura imediatamente antecessora ao arroz também possuir elevada relação C/N, à semelhança do arroz, ambas demandando altas quantidades do nutriente nitrogenado em seus ciclos produtivos, bem como, exigindo intensa atividade microbiana para sua decomposição, o que também demanda elevadas quantidades de N.

Como decorrência, estimava-se que as produtividades de MS do arroz irrigado obtidas seriam distintas quanto ao tratamento de uso precedente do solo, de modo que havia expectativa de que nas parcelas mantidas em pousio anterior, ocorresse maior desenvolvimento vegetativo do arroz nesta fase inicial. Isto ocorreria em razão da ausência de competição elevada pelas formas assimiláveis de N, entre planta e microorganismos. No entanto, obteve-se que a rotação SPAr apresentou valores de MS que não diferiram significativamente dos obtidos naquelas que sucederam a Poaceae, visto que, conforme apresentado, todos os demais valores de MS foram inferiores e diferentes dos registrados na parcela mantida em pousio durante todo o período prévio ao cultivo do arroz. Tal performance contradiz o que se esperava a partir da quantificação de maior acúmulo das duas formas de N mineral mensuradas, identificados na sucessão SP, predominantemente evidenciado nos efeitos de uso dos solo para esses parâmetros.

Este desempenho reforça hipóteses como a da ocorrência de perdas intensas dos N aportado pela soja em razão das chuvas, e do tempo decorrido entre os cultivos da soja e do arroz, assim como a da estabilidade do ambiente no tratamento mantido permanentemente em pousio. Neste sentido, admite-se a possibilidade de que esta última condição tenha favorecido a estabilização da ciclagem e posteriormente o fornecimento de nutrientes a partir da não elevação da demanda pelos microorganismos. Ainda, analisando o favorecimento do desenvolvimento inicial das plantas de arroz na rotação PPAr em comparação à SPAr, talvez o resultado também possa ser atribuído à não exportação de grãos no verão anterior na primeira sucessão, adicionando-se ao efeito da manutenção de estabilização na ciclagem de

nutrientes promovida pelas plantas nativas e pela biota em equilíbrio no solo nesta parcela.

No entanto, é preciso atentar que a quantidade de MS produzida pela cultura nem sempre reflete em maior produtividade de grãos por área, visto que além das características das cultivares, outros fatores também incidem seus efeitos sobre a produção do arroz irrigado. Além disso, consideradas as particularidades de cada prática de manejo e características de cultivo, no decorrer da condução da cultura, desde que haja a adequação do fornecimento nutricional, é possível a ocorrência de recuperação das plantas, minimizando as implicações sobre seu potencial produtivo.

Percebe-se diante destas várias possibilidades, em conformidade com Marques (2008), que em muitos casos torna-se difícil quantificar com precisão as implicações e as vantagens econômicas do plantio direto do arroz sobre pastagens, visto que as mesmas dependem de muitos fatores. Apesar disso, tal precisão ainda pode ser comprometida pela realização das estimativas em condições de campo, das particularidades intrínsecas aos solos e sistemas de cultivo, bem como da influência de eventos climáticos que incidem diferentemente em cada região e de suas variações anuais, para citar alguns dos fatores que também podem interferir sobre a dinâmica dos nutrientes.

A esse respeito, cita-se estudo testando a influência da quantidade de resíduos do azevém na intensificação das reações de oxirredução durante o alagamento, em que Schmidt et al. (2009) verificaram a ocorrência de maior disponibilidade de nutrientes para as plantas de arroz em parcelas cultivadas sobre resíduos de azevém, em experimento conduzido em casa de vegetação, sob condições controladas. Os rendimentos alcançados mostraram que a adição de doses crescentes até a dose máxima de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de azevém na superfície do solo alagado em tais condições, intensificou o processo de oxirredução do solo, aumentando a concentração de Mn, Fe, Ca, Mg e K na solução do solo, elevando os teores de K e Fe na parte aérea das plantas de arroz, e incrementando a sua produção de massa seca.

Diante dos resultados obtidos neste experimento e das expectativas habituais de comportamento dos mecanismos envolvidos nos solos de várzea, sugere-se a reflexão sobre a situação de utilização característica das áreas de várzeas gaúchas no sistema produtivo integrado lavoura-pecuária, onde normalmente aproveita-se a área para fins de produção de pastagem antecedendo o cultivo do arroz. Deve-se

ponderar que a utilização destas áreas com pousio seguido de cultivo com azevém, em comparação à manutenção do pousio mantendo vegetação natural no decorrer de todo o período, exige necessariamente planejamento de ações de manejo diferenciadas. Assim, as operações de condução destas terras utilizadas com orizicultura devem ser designadas com base em benefícios que possam ser proporcionados, considerando entre outros, os fluxos de transferência de nutrientes (tais como o N) entre as culturas, e a busca pela minimização dos possíveis prejuízos decorrentes de imobilização microbiana ou exportação de nutrientes pelo consumo animal, além dos prováveis benefícios sobre as características físicas do solo.

De acordo com a literatura, em circunstâncias como as acima citadas, as decisões sobre o manejo devem considerar tanto a qualidade da vegetação natural do pousio como a quantidade de material produzido na pastagem cultivada. Ainda, em ambos os casos, deve-se atentar para época de realização do diferimento das pastagens (VALLS et al., 2009), procedimento que deve ser realizado antes da dessecação da área para o cultivo do arroz em sistemas de plantio direto. Este fator interfere diretamente no tempo decorrido entre a prática do dessecamento e realização da semeadura, devendo ainda ser levando em conta a lotação da área (SILVA, 2009), o tipo de manejo no período de consumo, ou seja, se pastejo contínuo ou alternado (MARCHEZAN et al., 2002), além da condição de exportação promovida por ocasião da colheita do azevém.

Os rendimentos semelhantes obtidos para MS do arroz irrigado, com base no nas doses testadas na semeadura neste, evidenciam a ausência de efeito dos tratamentos doses de  $AN_S$  nos tratamentos testados neste experimento (Tabela 6). Esta informação aliada a não evidência do efeito interação dos tratamentos doses de  $AN_S$  com os tratamentos de uso do solo, remete à idéia de que não há necessidade do seu fornecimento na semeadura desta cultura, por não se observar sua influência na fase de desenvolvimento inicial. Da mesma forma, a partir destes resultados, este experimento não evidenciou necessidade do incremento da atual recomendação da  $AN_S$  em situação de cultivo antecedido pelo azevém. Com base nisso, estima-se que nas convicções testadas, as doses  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N não tenham sido relevantes para incrementar a produção de material vegetal no período inicial, em comparação condição natural de fornecimento de N, representada pela testemunha, dose  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Com relação à maior dose, uma hipótese para a ineficiência dos 30 kg ha<sup>-1</sup> de N em favorecer a diminuição do efeito de fixação do N pelos microrganismos poderia estar relacionada com o fato da formulação 30-15-30 não se tratar de um produto comercial, tendo demandado ajuste com uso de ureia na sua composição, para que a proporção dos demais nutrientes fosse fornecida na mesma quantidade em todos os tratamentos. Neste sentido, considerando que as pesquisas indicam as perdas de N aplicados na forma de uréia como muito superiores às outras fontes minerais utilizadas nas formulações comerciais dos adubos, isto poderia sinalizar para a necessidade de escolha de fontes de N adequadas para cada prática de manejo ou etapa de condução do cultivo de arroz irrigado.

No entanto, a AN<sub>S</sub> fora incorporada ao solo por ocasião do uso do sistema de plantio direto neste cultivo. Esta prática contribui para diminuição a níveis muito baixos a volatilização do N. Assim, não se pode atribuir o desempenho da dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de N ao simples fato da uréia estar presente na constituição desta formulação. No entanto, antes da ocorrência da hidrólise que se completa entre um e quatro dias, mesmo incorporada a uréia é tão móvel quanto o nitrato, e neste caso, levando-se em consideração o registro da ocorrência de um evento de precipitação pluviométrica instantes após o término da semeadura, é possível que tenha havido perdas neste sentido. Outra possibilidade que não pode ser descartada, é a de que a dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de N que disponibiliza 20 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais em relação à dose recomendada segundo as recomendações técnicas vigentes, possa ter causado toxidez nas parcelas submetidas a esse tratamento, implicando em prejuízos no desenvolvimento inicial das plantas a ele submetidas.

Nota-se que as possíveis explicações para o comportamento observado com as doses de AN<sub>S</sub> mantêm-se novamente de uma ou outra forma relacionadas à condição do ambiente. Considerando-se o que já foi mencionado a esse respeito, em se tratando de trabalhos de campo, deve-se considerar que tais condições são ainda variáveis e resultantes de cada condição particular.

Já no que se refere à análise dos resultados de N<sub>AC</sub> no tecido do arroz (Tabela 6), obtidos a partir do mesmo material coletado aos oito DAA (28 DAS), o resultado refletiu efeito tanto do fator uso como das doses de AN<sub>S</sub>, não sendo identificado efeito da interação destes dois fatores para este parâmetro, este último, repetindo comportamento ocorrido com a MS do arroz. Para o fator uso do solo, obteve-se valores nos tratamentos SPAr e PPAr superiores aos demais, que não

diferiram entre si, resultados semelhantes aos obtidos para o parâmetro MS do arroz. Isto também evidencia a provável ocorrência de imobilização do N nos resíduos das duas parcelas cultivadas com a forrageira no inverno, bem como as boas condições de estabilidade em termos de quantidades e atividades das populações microbianas existentes nestas parcelas.

Em contrapartida, nas parcelas cultivadas durante o inverno, a maior demanda do N disponível no solo em razão da elevação da atividade microbiana para decompor os restos culturais, decorrente das características de elevada relação C/N dos resíduos do azevém, possivelmente contribuíram para que as plantas de arroz irrigado nelas cultivadas tenham acessado menor quantidade das formas de N mineral existentes no solo, desconsiderando-se a influência do fornecido nas parcelas que receberam AN<sub>s</sub>.

Ainda com relação ao fator uso do solo, relacionando-se os resultados obtidos para os parâmetros MS e N<sub>AC</sub> do arroz, com a expectativa de transferência do N mineral do solo para esta cultura, é possível inferir, que tenha ocorrido pouca ou nenhuma contribuição para a cultura do arroz irrigado, do N proveniente da FBN da soja. Esta consideração pode ser feita a partir da condição de uniformização em valores baixos quantificados nas análises de N mineral de todos os tratamentos deste fator, principalmente na época próxima ao período da semeadura da cultura do arroz. Esta hipótese se reforça ao compararmos este desempenho do N mineral aos valores de N presentes no tecido das plantas de arroz irrigado na época de determinação do N<sub>AC</sub>, em que as parcelas previamente cultivadas com soja no verão anterior, apresentaram resultados diferentes estatisticamente.

Com relação à influência das doses de AN<sub>s</sub> sobre os valores de N<sub>AC</sub> no tecido do arroz, Apesar da identificação do efeito do fato doses, o teste estatístico utilizado de forma padrão neste estudo não discriminou as diferenças entre as doses testadas para este parâmetro (Tabela 6). Com isso, obteve-se que tanto a dose sugerida pelas recomendações técnicas, como sua não utilização, ou ainda, sua elevação para 30 kg ha<sup>-1</sup> de AN<sub>s</sub>, não contribuíram para o incremento da quantidade absorvida do N, visto que os valores registrados para N<sub>AC</sub> no tecido por ocasião da avaliação foram todos semelhantes. Aliando-se esta informação ao desempenho do fator doses sobre o parâmetro MS, presume-se que nenhuma delas ofereceu benefícios para diminuir o efeito da imobilização do N no resíduo da Poaceae. No caso da

dosagem mais elevada, estima-se que este comportamento também guarde relação com a utilização da uréia na composição da formulação utilizada nesta dose.

#### **4.5 Análise dos valores obtidos nas leituras de N no arroz utilizando clorofilômetro**

As leituras do clorofilômetro, realizadas no decorrer do cultivo do arroz irrigado, para os diferentes sistemas de rotação, apresentaram a mesma tendência de comportamento geral entre os tratamentos de usos, proporcionando inicialmente valores próximos a 32 unidades SPAD, chegando a apresentar valores próximos a 38 unidades SPAD na última avaliação (Tabela 7).

Na análise de variância das duas primeiras avaliações realizadas com o clorofilômetro (aos 41 e aos 55 DAS, respectivamente), não se identificou efeito significativo das fontes de variação consideradas sobre as médias dos resultados de  $N_{SPAD}$  obtidos. Assim, para as leituras realizadas nestas datas, bloco, uso do solo, doses de N, e interação usos X doses não apresentaram significância sobre os valores quantificados.

Enquanto isso na terceira (76 DAS) e na quarta (88 DAS) avaliações obteve-se efeito significativo para o fator uso do solo, não se evidenciando efeito de doses em nenhuma das avaliações. Embora com valores reais muito próximos, estes resultados permitem inferir algumas relações. No caso dos resultados registrados na da terceira leitura (Tabela 7), não ocorre sequer à influência da segunda aplicação de uréia em cobertura realizada aos 74 DAS, dois dias antecedentes a esta avaliação, sugerindo que os efeitos dos usos do solo sobrepuseram os efeitos das doses de adubação nitrogenada nesta ocasião. Uma explicação razoável seria a equivalência do fornecimento das quantidades de N entre os tratamentos a partir da realização desta aplicação de  $AN_C$ , o que reforça a manutenção dos resultados não significativos estatisticamente dos efeitos da  $AN_S$  através das leituras realizadas com o clorofilômetro nas duas últimas épocas quantificadas. Estes resultados obtidos nas quatro avaliações também fornecem informações que indicam, com base nos resultados até então apresentados, de que não houve aproveitamento do N fornecido nas diferentes doses de  $AN_S$ , durante todo o ciclo produtivo da cultura.

Tabela 7 – Médias das medidas indiretas das leituras SPAD realizadas com clorofilômetro ao longo do ciclo da cultura do arroz irrigado, em função dos tratamentos de sucessão/rotação de cultura (SPAr: soja-pousio-arroz; SAzAr: soja-azevém-arroz; PAzAr: pousio-azevém-arroz e PPAr: pousio-pousio-arroz) aos 41, 55, 76 e 88 dias após a semeadura do arroz (DAS). Cultivar Puitá Intá CL. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS.

Uso do Solo	Coletas (DAS)			
	41	55	76	88
SAzAr	32.58 a	36.69 a	35.70 a	38.86 a
SPAr	33.06 a	37.40 a	35.95 a	38.18 a
PAzAr	32.97 a	36.10 a	35.25 b	38.15 a
PPAr	33.33 a	35.17 a	35.24 b	37.29 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Sobre a identificação dos efeitos estatisticamente significativos do fator uso na terceira avaliação, obtiveram-se os maiores resultados e diferentes dos demais para as duas parcelas cultivadas com arroz em rotação com a soja no verão. No entanto, estes desempenhos não concordam totalmente com o esperado com base nas determinações de MS e  $N_{AC}$  no início do cultivo do arroz irrigado. O único caso em que se pode estabelecer relação de total acordo com a lógica de transferência do nutriente nitrogenado foi identificada na rotação de arroz com soja que contempla cultivo de arroz em sucessão ao pousio de inverno (Anexo U), a qual apresentou baixa produção de MS, obteve valores também elevados para  $N_{AC}$ , e em consequência, para as leituras SPAD. No entanto para as demais, as relações entre estes três parâmetros não são equivalentes em algum sentido quando considerados conjuntamente, buscando estimar o comportamento do N no cultivo do arroz irrigado.

No caso da rotação SAzAr, que também produziu baixa quantidade de MS no início do cultivo, o que fora atribuído à imobilização microbiana, os valores de  $N_{AC}$  obtidos foram inversamente proporcionais aos que justifiquem sua correspondência com a produção de MS, ainda que estejam de acordo com os resultados das leituras SPAD obtidos no efeito de uso discriminado na terceira avaliação. Este

comportamento discrepante também ocorre se avaliarmos os dados da parcela mantida em pousio durante todo o tempo que antecedeu o cultivo do arroz, onde embora os resultados de MS elevados e baixos para leituras SPAD na terceira avaliação estejam de acordo, as relações entre MS e  $N_{AC}$  no início do cultivo, bem como entre este último e as leituras SPAD não condizem. Finalmente, avaliando o conjunto destes mesmos dados para a rotação PAzAr, a única concordância identificada ocorre entre os valores de  $N_{AC}$  e os das leituras SPAD.

Assim, temos que, a relação que parece manter maior frequência é aquela entre MS e leituras SPAD, que fora concordante em três das quatro situações. No entanto, apesar da evidencia da significância estatística dos dados, os diferentes comportamentos nestas relações estabelecidas entre os diferentes parâmetros avaliados prejudicam o entendimento do mecanismo de transferência do N com base nos usos do solo aliando a interpretação dos referidos parâmetros ao longo do ciclo do arroz irrigado.

Já na quarta e última avaliação dos teores de N através das leituras utilizando clorofilômetro (88 DAS), a exemplo das demais, sem efeito significativo de  $AN_S$ , condizendo com a expectativa, de resposta à uniformização das doses dos tratamentos, principalmente se considerarmos ter decorrido período maior após o fornecimento do nutriente pela  $AN_C$ . Enquanto isso, os usos do solo voltaram evidenciar significativamente seu efeito sobre as medidas indiretas dos valores de  $N_{SPAD}$  quantificadas nesses tratamentos (Tabela 7). Nesta ocasião, o tratamento PPAz apresentou as médias mais baixas e diferentes das identificadas nos demais, condizendo com os resultados obtidos para MS no início do ciclo.

Assim, genericamente pode-se dizer a partir das quatro avaliações quantificando indiretamente os valores de N existentes no tecido do arroz com a quantificação dos valores de  $N_{SPAD}$ , obtidas com as leituras em clorofilômetro no decorrer do cultivo do ciclo da cultura, observou-se que apenas o fator uso do solo apresentou influencia significativa, o que aconteceu nas duas últimas avaliações. No entanto, é preciso ressaltar que os valores isolados de leitura utilizando este aparelho mesmo sendo eficientes para predição do teor de N nas plantas, não se relacionam necessariamente com o status nutricional real da planta, devendo ser associados a outros parâmetros quantificados na cultura, como por exemplo, produção de matéria verde e/ou seca (POCOJESKI, 2007). De acordo com esta autora, a mobilidade do N faz com que ele seja transferido das folhas mais velhas

para as mais novas sendo os casos de deficiência observados somente nas folhas mais velhas, geralmente não mensuradas nas quantificações utilizando este equipamento. Esta possivelmente seja uma justificativa razoável para explicar a discrepância entre as relações estabelecidas com dados obtidos utilizando o clorofilômetro, com outros mesurados através de outras técnicas no mesmo cultivo.

#### **4.6 Análise da produtividade do arroz e dos parâmetros de rendimento de grãos**

Em termos de produtividade do arroz irrigado, considerando-se valores médios gerais obtidos superiores a  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 3), não houve diferença significativa para o fator doses de N na semeadura e na interação entre esse fator e o fator uso do solo, constatando-se influência apenas do fator uso (Tabela 6). Obteve-se que apenas o tratamento SPAr apresentou menor produtividade média ( $9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), diferindo dos demais, iguais estatisticamente entre si, ainda que neste tratamento não tenha se evidenciado deficiência do nutriente nitrogenado a partir das quantificações de MS,  $N_{AC}$  e leituras SPAD.

Diante de tais resultados, uma informação relevante que pode ser inferida é a de que a presença da cobertura no inverno, embora tenha interferido no estabelecimento da cultura nas fases iniciais do desenvolvimento do arroz irrigado, não implicou em prejuízos sobre a produtividade da lavoura arroteira obtida neste experimento a campo. Da mesma forma, não ficou evidenciado necessidade de ajuste da adubação na semeadura e nem que a rotação com a soja tenha contribuído com elevação dos rendimentos de produtividade do arroz. No entanto, é conveniente salientar que as produtividades foram altas, refletindo em partes, as ótimas condições edafo-climáticas predominantes no verão no local/ano de cultivo, além da utilização de técnicas de manejo conservacionistas que contribuem para obtenção de altas produtividades.

De qualquer maneira, estima-se que a utilização da rotação e sucessão testadas proporcione incremento econômico e viabilidade produtiva ao longo dos anos, considerando a solubilidade de custos de produção que a sucessão com a forrageira pode promover, o aproveitamento da estrutura disponível na lavoura cultivada com outras culturas de verão, como a da soja que obtém altos rendimentos e atingem regularmente bons preços, aliados aos benefícios técnicos como melhoria

dos atributos do solo, o controle do banco de sementes de invasoras, como o arroz vermelho, e a quebra de ciclo de doenças e pragas, oportunamente obtidos com os cultivos de sucessão e rotação de culturas. Diante dos resultados obtidos, recomenda-se que outros experimentos sejam conduzidos em outros locais para confirmar com segurança as respostas observadas neste trabalho.

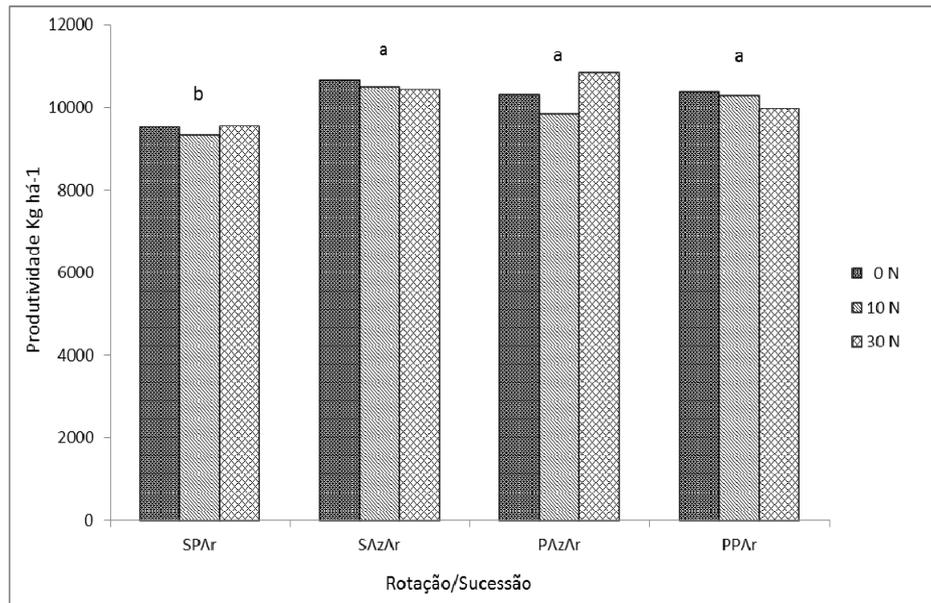


Figura 3 – Produtividade média de grãos de arroz irrigado em função do sistema de cultivo com base em diferentes usos do solo com sucessões/rotações de culturas (SPAr: soja-pousio-arroz; SAzAr: soja-azevém-arroz; PAzAr: pousio-azevém-arroz e PPAr: pousio-pousio-arroz) e diferentes doses de N na base. Cultivar Puitá Intá CL. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS.

Por não ter sido constatada diferença entre as doses de N da semeadura para o parâmetro, infere-se que os efeitos do N fixado pela soja no primeiro cultivo da rotação, não tenha representado benefício para a produtividade do arroz. Isto indica que baseado neste motivo isolado não haveria necessidade de ajuste da adubação nitrogenada na semeadura desta cultura. Da mesma forma, a utilização do cultivo de azevém em sucessão a soja, não refletiu na demanda de ajuste da adubação nitrogenada na semeadura do arroz, comparando-se os valores obtidos nos tratamentos onde foi utilizado o seu cultivo, com os das parcelas deixadas em pousio durante o inverno. Ainda, numa visão mais ampla, reafirma-se a hipótese levantada por ocasião da apresentação dos dados de  $N_{PSAD}$ , que indicavam a ausência de

aproveitamento do N fornecido nas diferentes doses de AN<sub>s</sub>, durante todo o ciclo produtivo da cultura do arroz irrigado.

Em trabalho comparando diferentes sistemas de manejo da palha do azevém em várzeas cultivadas com arroz irrigado, épocas de fornecimento da adubação para o arroz e influência da drenagem do solo, Swarowsky, et al (2004) obtiveram para o rendimento de grãos, valores inferiores nas parcelas precedidas pelo azevém, em comparação com as mantidas em pousio, independente da incorporação ou não da palha da Poaceae, em que a presença da palha ocasionou rendimentos próximos aos obtidos sem a utilização de adubo. Registraram assim que a contribuição da transferência dos nutrientes fornecidos à cultura do azevém foi menos eficiente do que a sua utilização na semeadura, possivelmente pela imobilização ou perda de parte desses nutrientes. O referido experimento confirmou em condições de campo, a influência da presença dos ácidos orgânicos voláteis reduzindo o rendimento de grãos de arroz irrigado em diversos sistemas de implantação da lavoura, mas principalmente naqueles com impedimento de drenagem de água no perfil, como os de várzea. Disso concluíram também que a drenagem interna do perfil do solo pode implicar efeitos negativos sobre a produção de panículas e número de grãos por panícula em arroz, mas não constataram efeito no rendimento de grãos e nos componentes de produção, relativos ao fornecimento da adubação nitrogenada na semeadura do azevém cultivado previamente.

De acordo com Sousa et al. (2008), esses ácidos orgânicos produzidos pela fermentação em condições de alagamento, geralmente, não causam implicações sobre o desenvolvimento das plantas, salvo nas situações em que são incorporados materiais orgânicos ao solo, podendo elevar as concentrações destas substâncias até níveis tóxicos, com intensidade dependente da quantidade e tipo de material adicionado. Em quantificação dos efeitos desses ácidos orgânicos nas partes da planta, Bortolon et al. (2009) obtiveram valores maiores nas raízes em comparação com a parte aérea .

Em experimento conduzido a campo, Vernetti Junior et al. (2009) compararam médias de rendimentos de grãos de arroz obtidos em diferentes sucessões de culturas e obtiveram que o arroz irrigado apresenta maior produtividade quando cultivado em sucessão à cultura do milho do que cultivado em sucessão à soja, sugerindo relação com o fornecimento de nutrientes vinculado à velocidade de decomposição, ou com a manutenção de resíduos na superfície do solo, que é

inversamente relacionada ao teor de lignina e à relação C/N destes materiais. Nessa condição, atribuíram benefícios à cobertura morta estável e a palha de milho apresenta uma relação muito superior a da soja.

Em experimento conduzido em casa de vegetação, avaliando a influência das quantidades 0,00 t ha<sup>-1</sup>, 3,43 t ha<sup>-1</sup> e 6,86 t ha<sup>-1</sup> de palha de azevém no rendimento de grãos e componentes de produção do arroz irrigado no sistema de cultivo mix de pré-germinado, Pinto et al. (2003) obtiveram que o aumento na quantidade de palha de azevém na cultura do arroz, sem fluxo de água em superfície ou drenagem, reduz linearmente o rendimento de grãos.

Em experimento de arroz irrigado com doses de AN<sub>C</sub> e tipos de cobertura de solo no inverno, Jandrey (2008) obteve que os cultivos de inverno não refletiram influência no desempenho agrônômico dos parâmetros avaliados no arroz, tais como rendimento de grãos, número de grãos por panícula e MS da parte aérea, as quais refletiram em apenas o efeito simples da AN<sub>C</sub> quando detectada influência dos tratamentos.

No que tange as análises dos resultados obtidos para os parâmetros de rendimento avaliados, o fator doses na semeadura também não incidiu efeitos sobre nenhuma das variáveis avaliadas. Evidenciou-se efeito do fator uso do solo, para o parâmetro número de grãos por panícula, no entanto o teste estatístico utilizado como padrão no decorrer deste trabalho não discriminou as médias obtidas.

Assim, na análise conjunta dos resultados obtidos para o arroz, incluindo seu desenvolvimento, aproveitamento de N e de produção de grãos (Anexo U), temos que o tratamento doses de AN<sub>S</sub> não apresentou efeito sobre a produtividade média, rendimento de grãos, MS, N<sub>AC</sub> e N<sub>SPAD</sub> do arroz irrigado, nas doses e condições testadas. No entanto, os usos do solo pareceram manter relação mais estreita com os desempenhos obtidos, implicando efeito significativo estatisticamente sobre a maioria destes parâmetros em grande parte das etapas em que foram mensurados, indicando que as práticas de manejo vinculadas as rotações e sucessões com o arroz irrigado podem incidir efeitos no decorrer do seu ciclo. Neste sentido, avaliando o desempenho agrônômico de sistemas de rotação e sucessão de culturas com arroz irrigado e soja, Schoenfeld (2010) obteve resultados promissores referentes aos rendimentos da soja, sugerindo sua utilização nessas áreas como alternativa viável. Quanto ao rendimento do arroz em rotação, houve benefício no sistema utilizando a soja em relação à rotação com arroz. Já para as

coberturas de solo, em todos os tratamentos testados, não ocorreu incidência no estabelecimento da cultura do AI, considerando os procedimentos adequados de manejo dos resíduos.

Diante das recomendações vigentes para adubação do arroz irrigado, baseados em resultados de poucos experimentos, além das possibilidades de obtenção de resultados distintos em experimentos de laboratório e em condições controladas, Genro Junior (2010) avaliaram a eficácia dos sistemas de recomendação de adubação para diferentes expectativas de produtividade de arroz irrigado por inundação, semeado em solo seco nas regiões arrozeiras do RS relatam que apesar de resultarem em incremento relevante de produtividade média na ordem de  $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , as recomendações vigentes não atenderam às respectivas expectativas, pois variaram com as condições edafoclimáticas de cada local.

## 5 CONCLUSÕES

Não está evidenciada a contribuição da FBN realizada no cultivo da soja para o fornecimento de N assimilável aos cultivos subsequentes para as culturas e nas condições testadas neste experimento.

A produtividade do azevém é incrementada quando este é cultivado em sucessão à soja, mesmo que não seja clara a contribuição do fornecimento de N oriundo pela FBN realizada pela cultura de verão.

Apesar da maior produção de azevém cultivado em sucessão à soja, não existe necessidade de ajuste da  $AN_s$  do arroz cultivado em sucessão à forrageira.

A utilização da  $AN_s$  não reflete efeitos sobre produção de MS, acúmulo de N no tecido vegetal, rendimento e qualidade de grãos do arroz irrigado, o que não assinala necessidade de ajuste das recomendações técnicas da cultura vigentes no Sul do Brasil.

As diferentes rotações/sucessões influenciam o crescimento inicial do arroz, obtendo-se nesta época maior produção de MS na condição de manutenção de pousio de verão e inverno anteriores ao seu cultivo, enquanto o incremento no teor de  $N_{AC}$  é impactado positivamente pela ausência do azevém no inverno. Não existe influência clara dos diferentes usos de rotação e sucessão testados neste estudo sobre a produtividade de grãos para arroz irrigado, ocorrendo nas condições testadas, menor produtividade apenas na condição de cultivo que contempla a sequencia SPAr.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A provável desnitrificação intensa ocorrida desde o período do outono estendendo-se por todo o inverno, pode ter uniformizado as quantidades das formas assimiláveis de N mineral, mantendo esses valores baixos em todas as parcelas, independente da sucessão/rotação utilizada. Evidenciou-se que esta disponibilidade foi diminuída logo início do período chuvoso, o que possivelmente intensificou as perdas por desnitrificação e lixiviação das formas voláteis e móveis no solo, respectivamente.

Em se tratando da transferência do N entre os cultivos de soja e azevém, obteve-se que, mesmo com a perceptível diferença nos rendimentos de MS do azevém, cultivado em sucessão à soja, não se evidenciou incremento do acúmulo de  $N_{AC}$  nessa parcela, que apresentou valores semelhantes àquela cultivada em sucessão ao pousio para este parâmetro.

Da mesma forma, não foi evidenciada transferência do N proveniente da contribuição da FBN da soja para a cultura do arroz. Isto pode ser inferido ao considerarmos os teores de N mineral inicialmente elevados em todas as parcelas, seguida de sua diminuição uniforme, mantendo-se em níveis baixos nas duas formas minerais de N quantificadas em todos os tratamentos até o final das avaliações. Este comportamento, principalmente próximo da época ao período da semeadura do arroz, sugere baixa associação entre esta suposta contribuição e o N absorvido pelo arroz irrigado.

As diferenças na produção de MS do arroz irrigado evidenciaram a possível ocorrência de imobilização do N no período inicial de desenvolvimento da cultura, condição que também se refletiu sobre os teores de  $N_{AC}$ , superiores e diferentes nas parcelas precedidas por pousio. Ou seja, a ausência de resíduos de elevada C/N favoreceu o desenvolvimento inicial nas parcelas precedidas por pousio de inverno, embora não tenha refletido benefícios sobre os resultados de rendimento de grãos.

Com relação à influência das doses sobre estes parâmetros avaliados no arroz irrigado, os resultados obtidos indicam que as diferentes doses de  $AN_5$  não apresentaram efeito sobre todos os parâmetros avaliados, inclusive para o rendimento de grãos. Estima-se que o desempenho obtido com a dose para 30 kg

ha<sup>-1</sup> de N ao não se diferenciar das doses menores decorra de possíveis perdas do nutriente em decorrência da formulação conter uréia como fonte de N. De qualquer maneira, nas condições testadas, a elevação da dose não foi eficiente para reduzir os efeitos da imobilização de N nos cultivos precedidos por material de elevada C/N, o que foi confirmado nos resultados de N<sub>AC</sub>, onde também não foram evidenciados efeitos das doses de AN<sub>S</sub> testadas. Isto indica que a não utilização de AN<sub>S</sub> em comparação com a dose atualmente recomendada ou da dose superior a esta testada neste experimento, não interferiram sobre o desenvolvimento inicial da cultura do arroz irrigado, portanto, não sugerindo necessidade de ajuste nas recomendações técnicas atualmente utilizadas.

As interpretações da contribuição do tratamento uso do solo quanto ao fornecimento de N para o arroz não foram claramente evidenciadas neste experimento realizado em condições de campo, concordando com a idéia de que as estimativas da dinâmica do N em nível de experimento de campo são influenciadas por inúmeros fatores, muitas vezes contrariando as tendências normalmente obtidas em condições controladas. Apesar disso, estima-se que a utilização da soja nas rotações e sucessão testadas proporcione incremento econômico e viabilidade produtiva ao longo dos anos, considerando a solubilidade de custos de produção e melhorias no sistema produtivo que a sucessão com a forrageira pode promover.

Diante dos resultados obtidos, recomenda-se que outros experimentos sejam conduzidos em outros locais para confirmar com segurança as respostas observadas neste trabalho.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. J. R. et al. Transformação do nitrogênio em rotações de culturas sob sistemas plantio direto. In: Workshop sobre nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste ; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 9-31. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26 ; Embrapa Agrobiologia. **Documentos, 128**).

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. A Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 21-38.

ANDRES, A. et al. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 85-88, mai./ago. 2001.

ANGHINONI, I. et al. Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa, 2004. 51p.

ARALDI, D. B. **Análise das questões ergonômicas, qualidade de vida no trabalho e diagnóstico sócio econômico que importam aos trabalhadores de uma empresa rural na formação de lavouras de arroz irrigado (oryza sativa L.): um estudo de caso**. 2004. 263f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ARAÚJO, E. S. et al. Importância do N das raízes da soja para a produtividade da cultura sucessora e para o balanço do N no sistema. EMBRAPA: **Circular Técnica nº 14**. Seropédica, RJ, maio de 2006.

ARROZEIRA. IRGA – Instituto Riograndense do Arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, RS, v. 56, n. 443. 2008. 54p.

\_\_\_\_\_. Arroz vermelho: campanha alerta para riscos da resistência do arroz vermelho às lavouras do RS. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, RS. v. 57, n. 448, p. 38-41, mar. 2009a.

\_\_\_\_\_. Arroz vermelho: campanha alerta para riscos da resistência do arroz vermelho às lavouras do RS. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, RS. v. 57, n. 450, p. 38-41, set. 2009b.

\_\_\_\_\_. ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL. IRGA – Rotação de cultura: casamento que deu certo, **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, RS. v. 58, n. 449, junho 2009c, p. 18-19.

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

- AZAMBUJA, I. H. V. et al. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**, Brasília, DF. Embrapa/MAPA. 2004, p. 23-44.
- AZAMBUJA, I. H. V.; MAGALHÃES JR., A. M.; VERNETTI, F. J. Situação da cultura do arroz no mundo e no Brasil. **Série culturas**: arroz. Assembléia legislativa do Estado do Rio Grande do Sul. Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo. Porto Alegre, 2002. p.1-12.
- BARBOSA FILHO, M. P. Calagem e adubação. In: STONE, L. F., et al. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, D.F.: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 35-72.
- BENETTI, M. D. **Evolução recente do setor agropecuário do Rio Grande do Sul 1920-1973**. v. 4. Porto Alegre. (Projeto Evolução Recente do Setor Agrícola: Região Sul — PERSAGRI). 1978.
- BESKOW, P. R. A formação da economia arroseira do Rio Grande do Sul. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 55-84, 1984.
- BISSANI C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**, 2004. 322 p.
- BOENI, M. et al. Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico 9**. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental. Seção de Agronomia, 2010. 40 p.
- BORTOLON, L.; SOUSA, R. O.; BORTOLON, E. S. O. Toxidez por ácidos orgânicos em genótipos de arroz irrigado. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.1, p.081-084, jan./feb. 2009.
- CALEGARI, A. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no centro-sul do cerrado. PAINEL A: Rotação de culturas: base da cobertura permanente do solo e da sustentabilidade em SPD. In: **Encontro Regional de Plantio Direto no Cerrado**. Sustentabilidade, sim!: anais / eds: HERNANI; L. C.; FEDATTO, E. Brasília: APDC; Dourados: UFMS / Embrapa Agropecuária Oeste, Documentos 31, 2001. p. 23-28. Disponível em: <<http://www.cpa.embrapa.br/publicacoes/online/zip/DOC200131.pdf>>. Acesso em: 23.mar.2011.
- CALEGARI, A., RALICH, R. Uso adequado de plantas de cobertura, rotação de culturas e seus benefícios no sistema de plantio direto, Passo Fundo, RS, **Revista Plantio Direto**, ed. 97 p. 13-16, jan./fev, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT, 2004, 400p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento**, julho 2010. Brasília: Conab, 2010. 43 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/1bcbd827bf80c423c09f4adef50fad86..pdf>>. Acesso em: 10.fev 2011.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento**, junho 2011. Brasília: Conab, 2011. 47p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_07\\_04\\_14\\_46\\_46\\_graos\\_-\\_boletim\\_junho-2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_07_04_14_46_46_graos_-_boletim_junho-2011..pdf)>. Acesso em: 17.jul.2011.

COUTO, J. R.; VAHL, L. C.; SIMONETE, M. A. Efeito residual da adubação nitrogenada do azevém sobre arroz subsequente. In: XXII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 231-233.

DIAS, A. D.; GOMES; A. S. Desempenho do arroz irrigado em plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. In: XXI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. **Anais...**, Porto alegre, Anais, IRGA, 1995. 146-149p.

DROZDOWICZ, A. Bactérias do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1997. p. 17-60.

DUARTE, M. F. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade, **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 3, mai./jun. 2007.

EMBRAPA. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. **Sistemas de Produção**, 3, versão eletrônica, nov./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm>>. Acesso em: 15.mar.2010.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FAGERIA, N. K. et al. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás, GO, EMBRAPA/MAPA, 2003. 250 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fao rice Information**. Roma, dez. 2002. v. 3. Disponível em <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/Y4347E/y4347e00.pdf>>. Acesso em 15.mar.2010.

\_\_\_\_\_. **Rice Market Monitor (RMM)**. – abr. 2011, vol. XIV 2011. Disponível em <<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>>. Acesso em: 20.abril 2011b.

\_\_\_\_\_. **Rice and human nutrition**. Roma, Itália, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004/en/f-sheet/factsheet3.pdf>>. Acesso em: 10.fev.2011.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: 45ª REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p. 255-258, 2000.

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**, v. 48, p. 914-920, 1984.

FLORES R. A.; DALL'AGNOL M.; NABINGER C.; MONTARDO, D. P. Produção de forragem de populações de azevém anual no estado do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Zootec.**, v. 37, n.7, p.1168-1175, 2008.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F. **Aptidão dos solos pra o cultivo do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul**: EMBRAPA Clima Temperado: Artigo de Divulgação na Mídia. Pelotas, 1999. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT-2010/12302/1/Fili-Flores-solosarroz.pdf>>. Acesso em: 10.fev.2011.

FREITAS, S. S. Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas. In: SILVEIRA; A. P. D.; FREITAS, S. S. Eds. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 1-20.

GASTAL, M. F. C. et al. Rotação e sucessão de culturas em áreas e várzea. In: GOMES, A. S.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**, Brasília, DF. Embrapa/MAPA. 2004. p.799-829.

GOMES A. S.; TERRES A. L.; AZAMBUJA, I. H. V. O arroz irrigado no Rio Grande do Sul: solo, área, produção, produtividade e perfil do produtor. **Série Culturas: Arroz**. Assembléia legislativa do Estado do Rio Grande do Sul. Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo. Porto Alegre, 2002<sup>a</sup>. p. 13-23.

GOMES A. S. et al. Rotação de culturas em áreas de várzea e indicadores de qualidade do solo. EMBRAPA Clima Temperado, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Documentos 89**: rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz. Pelotas, outubro, 2002b. 65p.

GOMES, A. S. et al. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado. **Documentos, 169**. Pelotas, 2006.40p.

HARRELL, D. Timing is everything with nitrogen fertilizer applications. **Rice Research Station News**, v. 4, n. 2, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal do Rio Grande do Sul**: cereais, leguminosas e oleaginosas 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=pamclo2007>>. Acesso em: 10.fev.2011.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Arroz irrigado: recomendações técnicas para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, 2001. 128 p.

\_\_\_\_\_. **Censo da lavoura arrozeira**. Disponível em:

<[http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=pub\\_censo](http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=pub_censo)>. Acesso em: 21.set.2008.

KITCHEN N. R. **Incorporating nutrient sensing technology in production agriculture**. 2007 Fluid Forum, v.24. CD – ROM.

KLAMT, E.; KÄMPF, N.; SCHEIDER, P. Solos de várzea no Estado do Rio Grande do Sul. UFRGS - Departamento de solos: **Boletim Técnico 4**. Porto Alegre, 1985. 42 p.

KLERING, E. V. et al. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.5, p.549-558, maio 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n5/a01v43n5.pdf>>. Acesso em: 11.mar.2011.

KLUTHCOUSKI, J. Consórcio/rotação. In: STONE, L. F. et al. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, D.F.: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 35 – 72.

LEITE, N. et al. Efeito de diferentes fertilizantes nitrogenados no aumento da produtividade do arroz irrigado. **Bragantia: Boletim Informativo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, Campinas, v. 29, n. 24, p. 263-272, 1970. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v29nunico/24.pdf>>. Acesso em: 10.fev.2011.

LIEVEN, A.; BARROS, A. C. S. A. Agricultura: principais cultivos do Brasil. **Anuário da ABRASEM**: Ed. Becker e Peske, p. 26-27, jul. 2010.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**, 3 ed. 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

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

MALHI, S.S. et al. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian great plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v. 60, p. 101–122, 2001.

MALLA, G. et al. Mitigating nitrous oxide and methane emissions from soil in rice-wheat system of the Indo-Gangetic plain with nitrification and urease inhibitors. **Chemosphere**, n. 58, p.141-147, 2005.

MALUF, J. R. T.; WESTPHALEN, S. L. Regiões agroecológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, dezembro, 1999. (Embrapa Trigo: Pesquisa em Andamento On-Line, Nº 9). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_pa09.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_pa09.htm)>. Acesso em: 10.fev.2011.

MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; CAIAFFO, M.R. Análise da temperatura do solo desnudo a 5 cm de profundidade visando antecipação da semeadura de culturas de verão no estado do Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online 2). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_ci02.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci02.htm)>. Acesso em 10.fev.2011.

MARCHESAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A. S.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**, Brasília, DF: Embrapa/MAPA. 2004. p.547-577.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V. R.; ZIMMERMANN, F. L. Produção de forrageiras de inverno em diferentes espaçamentos entre drenos superficiais sob pisoteio animal em várzea. **Ciência Rural**, v. 28, n.3, p. 393-397, 1998.

MARION FILHO, P. J.; EICH EINLOFT, N. A competitividade do arroz irrigado brasileiro no MERCOSUL. **Organizações Rurais & Agroindustriais**. Universidade Federal de Lavras, Brasil, v. 10, n. 1, pp. 11-22, 2008. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/878/87812566001.pdf>>. Acesso em: 10.fev.2011.

MARIOT, C. H. P. et al. Práticas de manejo integradas para produção de arroz irrigado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.3, p.243-250, mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n3/v44n3a04.pdf>>. Acesso em: 11.mar.2011.

MARQUES, J. B. B. Possibilidades de aplicação de sistemas de produção integrados de bovinocultura de corte e de arroz no Bioma Pampa. In: **Comunicado Técnico 78**, Embrapa Pecuária Sul. Bagé, 2008. 28p. Disponível em: <<http://www.cppsul.embrapa.br/unidade/publicacoes:list/187>>. Acesso em: 20.jun.2011.

MARTHA JÚNIOR, G. et al. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, 2004.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.A. Importância da avaliação da fixação biológica do nitrogênio em soja transgênica. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. p. 148-167. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/seminariotransgenicos/livrotransgbiosseg.pdf>>. Acesso em: 20.jun.2011.

MENEZES, V.G.; MACEDO, V.R.M.; ANGHINONI, I. **Projeto 10: estratégias de manejo para o aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa, 2004. 32p.

MONTARDO, D. P.; MITTELMANN, A. Avaliação da cultivar de azevém BRS Ponteio na Região da Campanha do Rio Grande do Sul. Embrapa Pecuária Sul - **Comunicado Técnico 58**, Bagé, novembro, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 163-202, p. 203-262 e p. 313-404.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. p. 41.

NASSAR, A. M.; BACHION, L.C. Arroz brasileiro no mercado internacional: mito ou realidade? **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 57, n. 448, p. 15-17, mar. 2009.

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.

PADILHA, C.S. **Uniformidade de aplicação de fertilizantes com diferentes características físicas**. 2005. 83 p. (Relatório de estágio do curso de Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PEREIRA, A. A. et al. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 31, p. 1397-1412, 2007.

PETRINI, J. A.; AZAMBUJA, I. H. V.; GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR., A. M. Situação atual do arroz irrigado no Rio Grande do Sul e perspectivas futuras. **Série Culturas: arroz**. Assembléia legislativa do Estado do Rio Grande do Sul. Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo. Porto Alegre, 2002. p. 59-65.

POCOJESKI, E. **Estimativa do estado nutricional de arroz irrigado por alagamento**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. 95p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, Nobel, 2002. 537p.

RADICIONE, L. Milho na Várzea é alternativa rentável. **Revista Arrozeira**, v. 51, n. 434. IRGA: Instituto Riograndense do Arroz, Porto Alegre, 2000. p. 20-21.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. rev., e ampl. Campinas, Fundação Cargil, 1985. p. 381-383.

REIS, M. S.; SOARES, A. A. Resposta de cultivares de arroz irrigado por inundação a adubação nitrogenada. In: XXII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 225-227.

REIS, M. S.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, C. M. Plantio direto em arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 49-57, 2004.

REIS, J. C. L. O uso de herbicidas para introdução de forrageiras nos campos e seus efeitos na flora campestre. In: PILLAR, V. P. et al. (Eds). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. O patrimônio florístico dos Campos: potencialidades de uso e a conservação de seus recursos genéticos. p. 266-273.

SALTON, J. C. O plantio direto no Brasil. In: I Seminário Internacional sobre Plantio Direto nos Trópicos Sul-Americanos. **Anais...** Embrapa Agropecuária: Oeste, Documentos 301. Dourados, 2001. p. 13-18.

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.

SCHMIDT, F. et al. Resíduos de azevém na superfície de um planossolo alagado e seus efeitos na concentração de nutrientes na solução do solo e em plantas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2080-2086, out. 2009.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S. Manejo do nitrogênio para a cultura do arroz irrigado. **Comunicado Técnico 125**, Pelotas, RS, dez. 2005. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/comunicados/comunicado\\_125.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/comunicados/comunicado_125.pdf)>. Acesso em: 20.jun.2011.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. S. MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Ed. Tércs. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica., 2004. P. 259-303.

SILVA, C. A. S, et al. Drenagem superficial para cultivos rotacionados em solos de várzea. **Documentos**, 237. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2008.22 p. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento\\_237.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_237.pdf)>. Acesso em: 13.mar.2010.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. Irrigação por inundação intermitente para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul. **Circular técnica 46**, Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Embrapa Clima temperado, Pelotas, RS, dez. 2005. 12p.

SILVA, J. L. S. Manejo sustentável de pastagens de estação fria em integração com arroz irrigado em uma unidade de transferência de tecnologias, Santa Vitória do Palmar, RS. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, 2009. 33 p. - (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 262). Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento\\_262.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_262.pdf)>. Acesso em: 13.mar.2010.

SILVA, L. S. et al. Modelos matemáticos para a estimativa do potencial de mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 32, p. 1513-1520, 2008.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, F.A. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. rev. e ampl, Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.525-543.

SILVA, L. S.; POCOJESKI, E.; RHODEN, A. C. Dinâmica de nitrogênio mineral após alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 583-590, abr./jun. 2011.

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas para o Sul do Brasil**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2005. 159p.

\_\_\_\_\_. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 164 p.

\_\_\_\_\_. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2007, 159p.

\_\_\_\_\_. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves; Porto Alegre: SOSBAI, 2010.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. O.; VAHL, L. C. Solos alagados (reações de Redox). In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos da química do solo**. Porto Alegre, 2008. p.185-210.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2008. p. 144-173.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 222p.

SWAROWSKY, A. et al. Manejo da palha do azevém, da produção de base e da água de drenagem na produção do arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 393-397, mar./abr, 2004. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33134209>>. Acesso em: 20.jun.2011.

TOWNSEND, A. R.; HOWARTH, R. W. Nitrogênio, de fertilizante a poluidor. **Scientific American Brasil**, ano I, n° 5, p. 44-51, 2010.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do Solo**. Trad: DOURADO NETO, D.; DOURADO, M. N. 6. ed. São Paulo: Andrei, p. 311-342.

VALLS, J. F. M.; et al. O patrimônio florístico dos Campos: potencialidades de uso e a conservação de seus recursos genéticos In: PILLAR, V. P. et al. (Eds). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009 O patrimônio florístico dos Campos: potencialidades de uso e a conservação de seus recursos genéticos. p. 139-154.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**, Planaltina, DF. EMBRAPA – CPAC, 1997. p. 295-369.

VERNETTI JUNIOR, F. J; LAZARI, R. Linhagens de soja convencional na Embrapa Clima Temperado: 2008/ 2009. In: VERNETTI JUNIOR, Francisco de Jesus. **Soja: resultados de pesquisa na Embrapa Clima Temperado; 2009**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 78p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 273). Disponível em: <Linhagens de Soja Convencional na Embrapa Clima Temperado – 2008/ 2009>. Acesso em: 20.junho.2011.

VERNETTI JUNIOR, F. J. ; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 15, n.1-4, p.37-42, jan./dez. 2009.

WERLANG, A. Controle da redução econômica da lavoura orizícola. **Ciência e Conhecimento – Revista Eletrônica da ULBRA São Jerônimo**, v. 01, 2007a. 12p. Disponível em: <[http://www.cienciaeconhecimento.com.br/pdf/vol001\\_AdA3.pdf](http://www.cienciaeconhecimento.com.br/pdf/vol001_AdA3.pdf)>. Acesso em: 14.mar.2011.

WERLANG, A. A cadeia produtiva da lavoura orizícola. **Ciência e Conhecimento – Revista Eletrônica da ULBRA São Jerônimo**, v. 02, 2007b. 8p. Disponível em: <[http://www.cienciaeconhecimento.com.br/pdf/vol002\\_AdA1.pdf](http://www.cienciaeconhecimento.com.br/pdf/vol002_AdA1.pdf)>. Acesso em: 14.mar.2011.

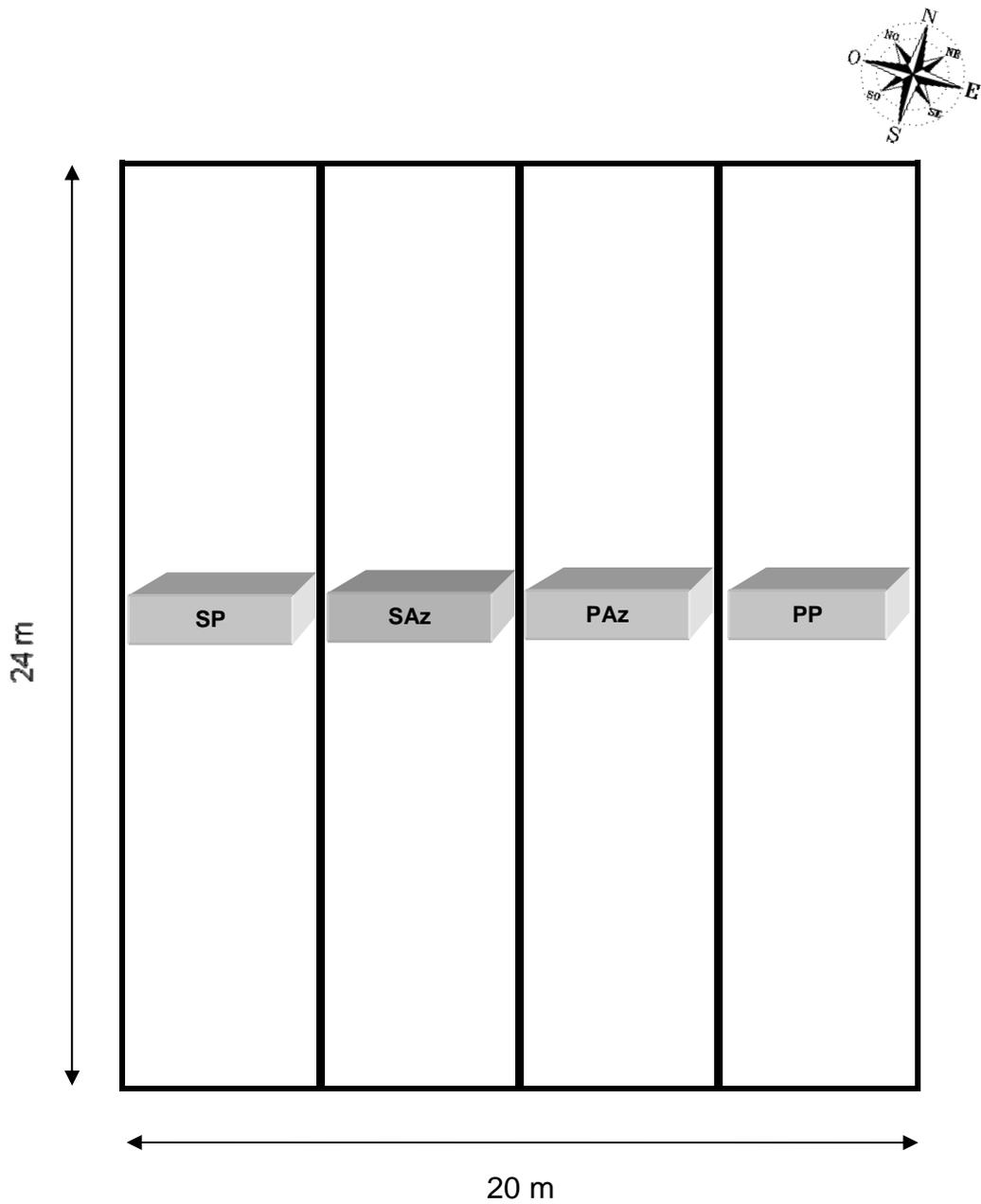
YAMADA, T. et al. Informações recentes para otimização da produção agrícola. **International Plant Nutrition Institute**, n. 144, 2007. 14 p. Disponível em: <[http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Page1-21--117.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Page1-21--117.pdf)>. Acesso em: 10.mar.2011.

ZOTARELLI, L. Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

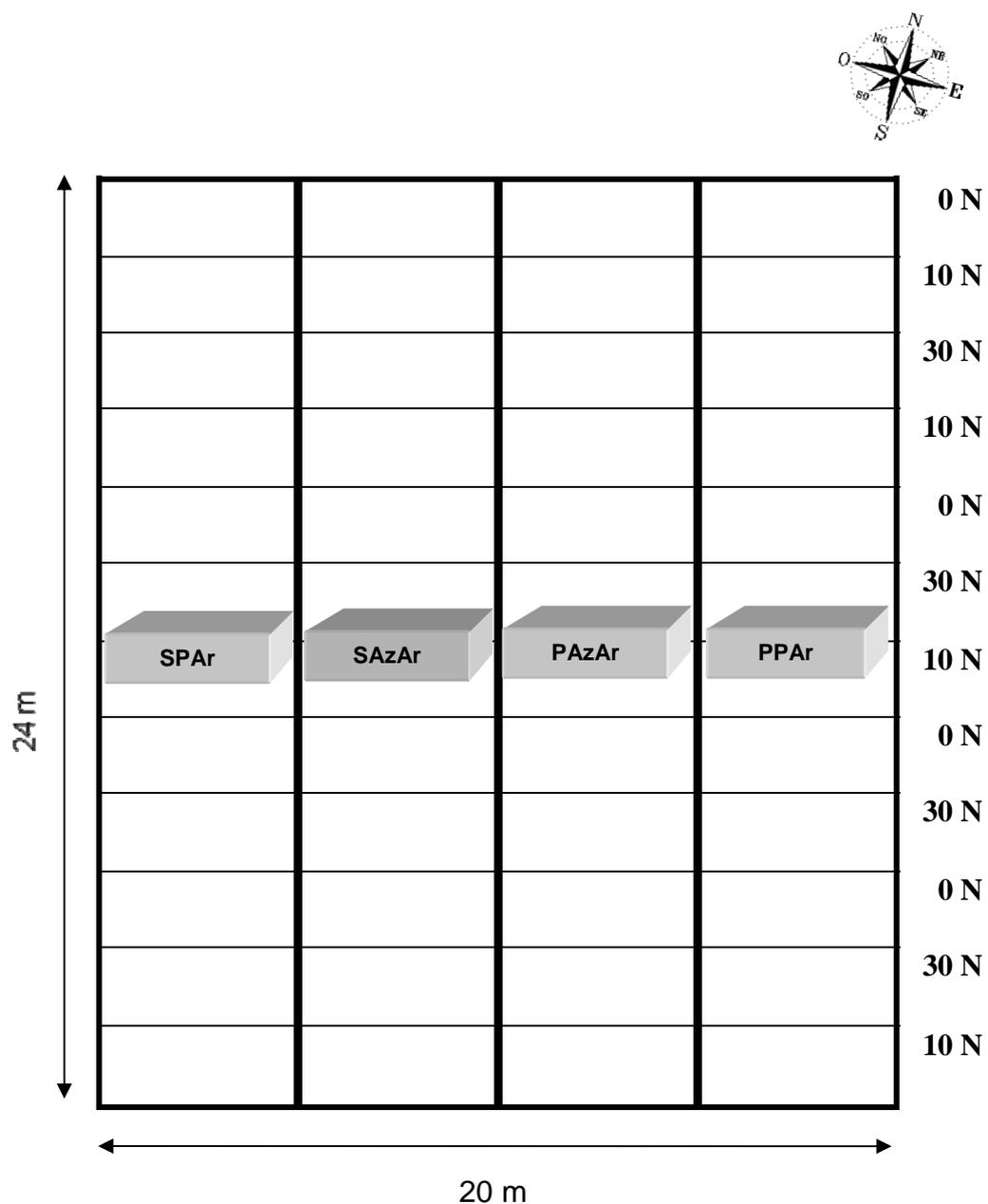
ZOTARELLI, L. et al. Balanço de N em rotação de culturas sob plantio direto em Dourados. In: ALVES, B. J. R. org. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). Embrapa Agrobiologia, 2005. 21 p. (Embrapa Agrobiologia: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 07**). Disponível em: <<http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/>>. Acesso em 10.sete.2011.

## **ANEXOS**

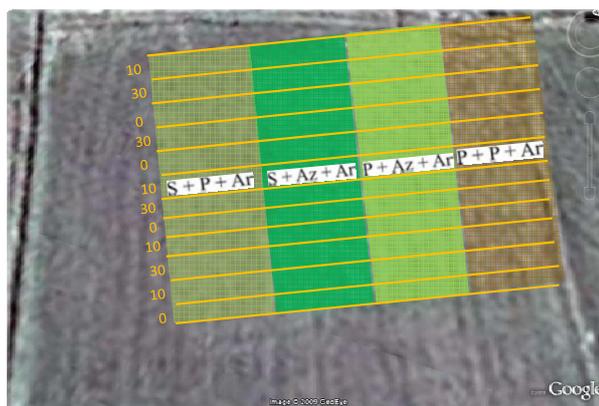




Anexo A – Croqui com a sequência de usos do solo (verão 2008/inverno 2009) na implantação da cultura de inverno em que: S-soja, P-pousio, Az-azevém.



Anexo B – Croqui com a sequência de usos do solo (verão 2008/inverno 2009/verão 2009) na implantação do experimento de arroz, em que S-soja, P-pousio, Az-azevém e Ar-arroz e 0 N, 10 N, 30 N referem-se as doses 0 kg ha<sup>-1</sup> N, 10 kg ha<sup>-1</sup> N e 30 kg ha<sup>-1</sup> N, respectivamente.



Anexo C – Esquema representativo da área do experimento com os tratamentos rotação/sucessão X doses de N na semeadura.



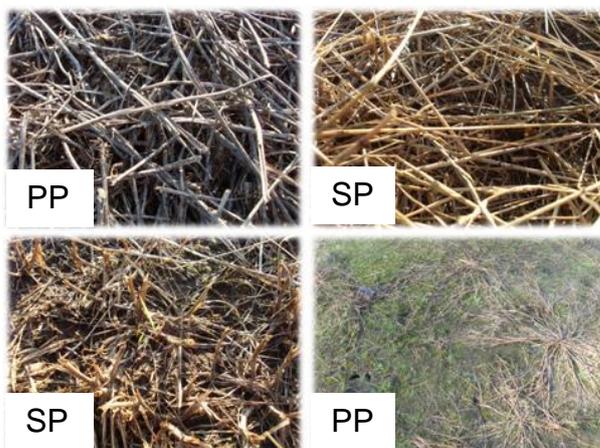
Anexo D – Esquema representativo das profundidades amostradas e número de coletas por parcela para avaliação do teor de N mineral.



Anexo E - Detalhamento da coleta de solo para avaliação do teor de N mineral nas duas profundidades amostradas.



Anexo F – Área de plantas coletada para quantificação da matéria seca do azevém.



Anexo G – Diferentes coberturas do solo após o período de inverno utilizadas como um dos tratamentos do experimento em que P - pousio; S - soja.



Anexo H – Área pronta para implantação da cultura do arroz irrigado, utilizando as diferentes doses de N na sementeira.



Anexo I – Semeadura do arroz irrigado sobre as diferentes sucessões de culturas antecedentes.



Anexo J – Detalhe da semeadura do arroz irrigado em uma das parcelas do experimento.



Anexo K – Cultura do arroz irrigado após emergência nas parcelas do experimento.



Anexo L – Efeito das diferentes doses de N, utilizadas na semeadura, no desenvolvimento inicial das plantas de arroz irrigado.



Anexo M – Cultura do arroz irrigado na fase de início do perfilhamento, antes da entrada da lâmina d'água na lavoura.



Anexo N – Cultura do arroz irrigado após alagamento da lavoura.



Anexo O – Leituras SPAD nas folhas do arroz irrigado utilizando o medidor portátil Clorofilômetro.



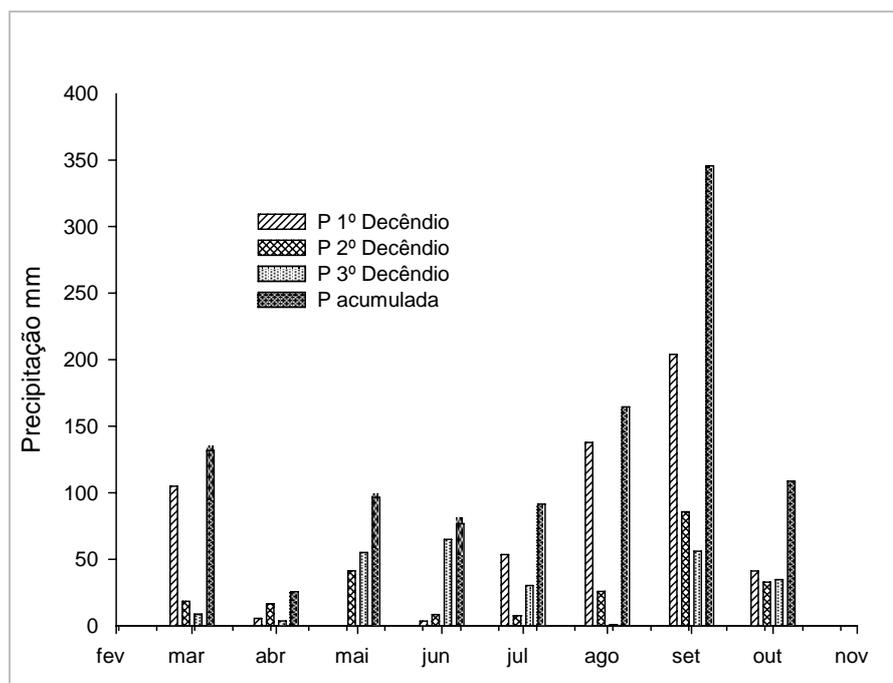
Anexo P – Visão da Área experimental na maturidade fisiológica do arroz irrigado.



Anexo Q – Colheita das panículas de arroz irrigado nas parcelas experimentais.



Anexo R – Detalhamento das etapas de limpeza e beneficiamento de grãos de arroz, para determinação dos índices de produtividade.



Anexo S – Precipitação pluviométrica por decênios e mensais, acumuladas durante o período de coletas das amostras de solo para determinação do teor de N mineral, realizadas do outono à primavera. Safra 2009/2010. Santa Maria – RS.

Anexo T – Características químicas dos solos de várzea coletados na profundidade de 0 - 10cm, nas sucessões: SP – Soja-Pousio, SAz – Soja-Azevém, PAz – Pousio-Azevém e PP – Pousio-Pousio, no município de Santa Maria – RS, em 2009.

<b>SP</b>							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.. % ..		.... mg dm <sup>-3</sup> ....		... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	
5,1	6,1	26	2,5	6,0	48	5,5	2,8
<b>SAz</b>							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.. % ..		.... mg dm <sup>-3</sup> ....		... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	
5,3	5,8	26	2,1	1,5	40	5,4	2,8
<b>PAz</b>							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.. % ..		.... mg dm <sup>-3</sup> ....		... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	
5,3	6,0	28	2,4	3,0	44	4,9	2,5
<b>PP</b>							
pH água 1:1	Índice SMP	Argila	M.O.	P*	K*	Ca**	Mg**
		.. % ..		.... mg dm <sup>-3</sup> ....		... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ...	
5,4	6,0	25	2,1	6,0	44	5,4	2,4

Segundo CQFS os teores de P, K, Ca e Mg são: SP - médio, baixo, alto, alto; SAz – muito baixo, baixo, alto, alto; PAz – baixo, baixo, alto, alto; PP - médio, baixo, alto, alto, respectivamente.

\* extraído com solução Mehlich<sup>-1</sup>

\*\* extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Anexo U – Interpretação conjunta dos resultados das avaliações dos teores indiretos de N obtidos pelas leituras do clorofilômetro (NSPAD - Unidades SPAD), Matéria seca (MS - kg ha<sup>-1</sup>); N acumulado no tecido (NAC - kg ha<sup>-1</sup>) e rendimento de grãos (Mg ha<sup>-1</sup>), obtidos para o arroz irrigado, cultivar Puitá CL, em função das doses de nitrogênio na sementeira (kg ha<sup>-1</sup>) e da rotação / sucessão de culturas, cultivada em Santa Maria/RS, no ano agrícola 2009/2010.

	1 <sup>a</sup> avaliação	2 <sup>a</sup> avaliação	3 <sup>a</sup> avaliação	4 <sup>a</sup> avaliação			
<b>Trat. Doses</b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>MS</b>	<b>N<sub>AC</sub></b>	<b>Rendimento de Grãos</b>
0	32.604 a	35.811 a	35.426 a	38.262 a	2.440 a	55,2 a	10,0 a
10	33.045 a	35.811 a	35.009 a	37.603 a	2.649 a	43,9 a	10,2 a
30	33.306 a	36.335 a	36.165 a	38.480 a	2.294 a	50,9 a	10,2 a
<b>Trat. Uso</b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>N<sub>SPAD</sub></b>	<b>MS</b>	<b>N<sub>AC</sub></b>	<b>Rendimento de Grãos</b>
SAzAr	32.575 a	36,690 a	35.699 a	38,856 a	2.148 a	45,1 b	10,5 a
PAzAr	32.973 a	36,096 a	35.246 b	38,146 a	2.112 a	39,4 b	10,3 a
SPAr	33.059 a	37,396 a	35.950 a	38,175 a	2.520 a	61,7 a	9,5 b
PPAr	33.333 a	35,165 a	35.235 b	37,285 b	3.065 b	53,9 a	10,2 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.