

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DOUTORADO EM MANEJO DO SOLO**

PAULA BIANCHET

**DISPONIBILIDADE DE N AO ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA
INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO E DO MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS**

LAGES, SC

2012

PAULA BIANCHET

**DISPONIBILIDADE DE N AO ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA
INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO E DO MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências
Agroveterinárias da Universidade do Estado de
Santa Catarina – UDESC para a obtenção do
título de Doutor em Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Ph.D. Luis Sangoi

LAGES, SC

2012

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Bianchet, Paula

Disponibilidade de N ao arroz irrigado em função da inoculação com
bactérias promotoras de crescimento e do manejo dos resíduos culturais
/ Paula Bianchet ; orientador: Luis Sangoi. – Lages, 2012.
118f.

Inclui referências.

Tese (doutorado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UDESC.

1. *Oriza sativa* . 2. Insumo biológico. 3. Crescimento vegetal.
4. Resíduos culturais. 5. Rendimento de grãos. I. Título.

CDD – 633.18

PAULA BIANCHET

**DISPONIBILIDADE DE N AO ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA
INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO E DO MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC para a obtenção do título de Doutor em Manejo do Solo.

**Aprovado em:
Pela Banca Examinadora:**

**Homologada em:
Por:**

Ph.D. Luis Sangoi
Orientador – UDESC

Dr. David José Miquelluti
Coordenador Técnico do Curso de Doutorado
em Manejo do Solo

Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC

Dr. Leo Rufato
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias

Dr. Ronaldir Knoblauch
EPAGRI

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias

Dr. Moacir Antônio Schiocchet
EPAGRI

Dr. David José Miquelluti
UDESC/Lages-SC

A meu marido, Carlos Eduardo Israel, pelo incentivo e apoio incondicional, **DEDICO**.

A meus pais, Aldo Bianchet (*in memoriam*) e Marlene Bianchet, pelo incentivo ao estudo e pela paixão pela agricultura, **OFEREÇO**.

AGRADECIMENTOS

À UDESC pelo ensino gratuito e de qualidade.

À UNITO pela possibilidade de pesquisa no exterior.

À FAPESC pela concessão da bolsa de doutorado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estágio de doutorando no exterior.

Ao professor orientador Luis Sangoi pela orientação e por sua fundamental participação na minha formação profissional e acadêmica desde a graduação. Por sua amizade e carinho de pai.

Ao professor Osmar Klauberg Filho, pelo convite de trabalho com as bactérias promotoras de crescimento e pelos ensinamentos durante o doutorado.

Ao professor David José Miquelutti pela ajuda fundamental na análise estatística dos dados.

Ao professor orientador Dario Sacco por aceitar a minha proposta de pesquisa, pela recepção na UNITO e pela orientação.

A professora Luisella Roberta Celi e ao pesquisador Daniel Said-Pullicino pela orientação, apoio e por disponibilizar os laboratórios da UNITO para o desenvolvimento das análises químicas.

Ao professor Carlo Grignani pela recepção na UNITO e por seu incentivo.

Aos amigos da UNITO: Daniel, Simone, Teresa, Delia, Stefano, Paolo, Andrea, Natale, Emiliano, Paolo Montersino, pelo apoio nas atividades no campo experimental de Vercelli e nos laboratórios da universidade.

Aos amigos de Turin: Helena, Magda, Maria Alexandra, Monia, Piera e Vincenzo, por tornarem a minha estadia na Itália muito agradável.

Aos amigos do programa da pós-graduação, Luciane, Karine, Letícia, Rodrigo, Fabrício, Priscila, Camila e Ronaldir.

Aos amigos do laboratório de Microbiologia, em especial, Dalciana, James, Isabel, Gessiane, Sabrina e Daisy.

Aos irmãos da equipe de pesquisa, Amauri, Cleber, Daniéli, Jeferson, Gilmar, Sérgio, Vitor, Mariana, Alexandre, Rodolfo, Eduardo, Giovane, Anderson, pelo apoio nas atividades de casa de vegetação e laboratório.

À amiga Luciane e a sua família pelos momentos compartilhados, pela força nos momentos difíceis e pelo carinho de sempre.

A minha família, em especial a minha mãe, Marlene, e aos meus irmãos, Monica e Afonso, pelo carinho e apoio.

Ao meu marido Carlos Eduardo Israel, pelo apoio incondicional, nas atividades de casa de vegetação e por me acompanhar no estágio de doutorando sanduíche na Itália, cujo apoio foi fundamental para esta conquista.

RESUMO GERAL

BIANCHET, Paula. **Disponibilidade de N ao arroz irrigado em função da inoculação com bactérias promotoras de crescimento e do manejo dos resíduos culturais**. 2012. 117 p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC., 2012.

A utilização de bactérias diazotróficas como insumo biológico para a produção de grãos e o manejo adequado dos resíduos culturais da safra anterior podem contribuir para atender a demanda nitrogenada e aumentar o rendimento de grãos do arroz irrigado. Este trabalho foi conduzido objetivando avaliar os efeitos da inoculação de isolados de bactérias diazotróficas sobre o crescimento de cultivares de arroz no sistema pré-germinado e a influência do manejo dos resíduos culturais antes da semeadura sobre a disponibilidade de N e o rendimento de grãos da cultura. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, no município de Lages, Santa Catarina, e um terceiro a campo, no município de Vercelli, Itália. No primeiro experimento, os tratamentos foram: duas cultivares (Epagri 109 e SCS 115 CL); três inoculações (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27 e com o isolado UDESC AI 32); e cinco doses de N mineral (0, 20, 40, 60 e 80 mg kg⁻¹ de N). No segundo experimento, os tratamentos foram: quatro inoculações (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27, isolado UDESC FE 22 e uma formulação mista composta pelos isolados UDESC AI 27 e UDESC FE 22); e duas doses de N mineral (30 e 60 mg kg⁻¹ de N). A cultivar utilizada foi a Epagri 109. No terceiro experimento, os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo dos resíduos culturais e dois níveis de N. Foram testados os seguintes sistemas: AUT - incorporação da palha no outono, preparo do solo seco e posterior alagamento com semeadura em solo inundado; PRI - incorporação da palha com aração na primavera, durante o preparo do solo, com posterior alagamento e semeadura em solo inundado; BRU - queima da palha logo após a colheita, preparo do solo a seco na primavera e alagamento com semeadura em solo inundado; ASC - incorporação da palha com aração na primavera, durante o preparo do solo, semeadura em solo seco com semente enterrada e alagamento após 20 dias. Para cada sistema de manejo testaram-se duas doses de N: 0 e 130 kg de N ha⁻¹. No primeiro experimento, a inoculação com bactérias diazotróficas aumentou a área e o volume radiculares da cultivar SCS 115 CL e acelerou o seu desenvolvimento fenológico, em relação a cultivar Epagri 109. Nas parcelas inoculadas, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior produção de fitomassa de parte aérea do que a cultivar Epagri 109, o que não ocorreu nas parcelas não inoculadas. No segundo experimento, a inoculação com os isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal reduziu em 18% a produção de massa seca da parte aérea e em 26% da fitomassa radicular das plantas de arroz. Portanto, os isolados utilizados no trabalho não foram efetivos para estimular o crescimento de parte aérea e raiz da cultivar Epagri 109, independentemente do tipo de formulação e da dose de N. No terceiro experimento, a incorporação dos resíduos da cultura do arroz ou a sua queima no outono, com semeadura em solo inundado, proporcionam maior rendimento de grãos que incorporação na primavera e semeadura em solo seco. A incorporação dos resíduos próximo da semeadura reduziu a produção de biomassa e a absorção de N pelas plantas. Os resultados dos dois primeiros experimentos confirmaram a importância do estudo da interação planta-microrganismo, devido ao comportamento específico dos diferentes isolados inoculados nos diferentes genótipos de arroz. Os dados do terceiro experimento demonstraram que o manejo antecipado dos resíduos culturais favorece a obtenção de maiores

produtividades e aumenta a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado, em relação a sua incorporação próxima da semeadura do arroz.

Palavras chave: *Oriza sativa*. Insumo biológico. Crescimento vegetal. Resíduos culturais. Rendimento de grãos.

ABSTRACT

BIANCHET, Paula. **N availability to paddy rice as affected by the inoculation with growth promoting bacteria and management of crop residues**. 2012. 119 f. Thesis (Ph.D. in Soil Management Course) - University of Santa Catarina. Post Graduation Program in Agriculture Science, Lages, SC. 2012.

The use of promoting growth bacteria as a biologic input to produce grains and the proper management of crop residues may contribute to meet paddy rice nitrogen demand and to increase its grain yield. This work was carried out aiming to evaluate the inoculation effect of promoting growth bacteria isolates on the growth of rice cultivars in the water seeded system and the influence of crop residue management on nitrogen availability and grain yield of paddy rice. Two green-house experiments were set in Lages, Santa Catarina, Brazil, and a field trial was set in Vercelli, Italy. In the first experiment treatments were: two cultivars (Epagri 109 and SCS 115 CL); three inoculations (no inoculation, inoculation with isolate UDESC AI 27 and inoculation with isolate UDESC AI 32); and five nitrogen rates (0, 20, 40, 60 and 80 mg kg⁻¹ of N). In the second experiment treatments were: four inoculations (no inoculation, inoculation with isolate UDESC AI 27, inoculation with isolate UDESC FE 22 and inoculation with a mixture of isolates UDESC AI 27 and UDESC FE 22); and two nitrogen rates (30 and 60 mg kg⁻¹ of N). The cultivar was Epagri 109. In the third experiment, four crop residue management systems and two nitrogen rates were tested. The following systems were assessed: AUT – straw incorporation in fall, dry soil tillage in spring, flooding and rice sowing in flooded soil; PRI – straw incorporation during soil tillage in spring, flooding and rice sowing in flooded soil; BRU – straw burning in fall, soil tillage in spring, flooding and rice sowing in flooded soil; ASC – straw incorporation during soil tillage in spring, rice sowing in dry soil with buried seeds and flooding 20 days after sowing. For each crop residue management system, the rates of 0 and 130 kg of N ha⁻¹ were used. In the first experiment, the inoculation with diazotrophic bacteria increased root area and volume of cultivar SCS 115 CL and speeded up its development in comparison to Epagri 109. In inoculated plots, cultivar SCS 115 CL presented higher shoot biomass production than Epagri 109 which did not happen in non inoculated treatments. In the second experiment, the inoculation with diazotrophic bacteria reduced in 18% and 26% shoot and root biomass, respectively. Therefore, the isolates tested on the trial were not effective to stimulate shoot and root growth of cultivar Epagri 109, regardless of the kind of formulation and nitrogen rate. In the third experiment, rice straw incorporation or burning in fall, with sowing in flooded soil, promoted higher grain yield than straw incorporation in spring and sowing in dry soil. The incorporation of crop residues in spring reduced rice biomass production and nitrogen uptake. Results of the green-house experiments confirmed the importance of studying the plant/microorganisms interaction due to the specific behavior of isolates on the growth of rice cultivars. Data from the field experiment showed that the anticipation of crop residue management favors the obtention of higher grain yield and increases the efficiency use of nitrogen fertilizers in comparison to straw incorporation close to rice sowing.

Key-words: *Oriza sativa*. Biological input. Plant growth. Crop residues. Grain yield.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Massa seca de parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral. Lages, SC, 2009.....	29
Tabela 2.	Nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	33
Tabela 3.	Nitrogênio acumulado nas raízes de plantas de arroz, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e cinco doses crescentes de N mineral, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	34
Tabela 4.	Nitrogênio acumulado nas raízes das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses crescentes de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	35
Tabela 5.	Número de folhas totais das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	38
Tabela 6.	Número de folhas senescidas das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	38
Tabela 7.	Estatura de plantas das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL em função da aplicação de cinco doses de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.....	39
Tabela 8.	Estatura de plantas de arroz submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	40
Tabela 9.	Estádio de desenvolvimento das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	41

Tabela 10.	Índice relativo de clorofila das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	41
Tabela 11.	Área radicular das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	43
Tabela 12.	Volume radicular das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	44
Tabela 13.	Número mais provável de bactérias promotoras de crescimento vegetal (\log_{10}) obtidas a partir dos meios NFb e LGI nas raízes de arroz submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	45
Tabela 14.	N no solo cultivado com as cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, aos 30 dias após a semeadura e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.....	46
Tabela 15.	Massa seca de parte aérea e radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	56
Tabela 16.	Nitrogênio acumulado na parte aérea e radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N. Lages, SC, 2010.....	58
Tabela 17.	Número de folhas verdes e senescidas da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal e duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	59
Tabela 18.	Número de folhas totais e perfilhos da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	59

Tabela 19.	Estatura e índice relativo de clorofila da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	60
Tabela 20 -	Estatura e índice relativo de clorofila da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	61
Tabela 21.	Número mais provável de bactérias promotoras de crescimento vegetal (\log_{10}) obtidas a partir dos meios NFb e LGI nas raízes da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	62
Tabela 22.	Nitrogênio no solo aos 60 dias após a semeadura da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal e duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.....	64
Tabela 23 -	Data, época, umidade do solo e momento da adubação para cada coleta de solo e planta realizada durante o ciclo da cultura do arroz.....	78
Tabela 24.	Rendimento de grãos de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.....	80
Tabela 25.	Componentes do rendimento de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.....	82
Tabela 26.	Produção de biomassa de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.....	83
Tabela 27.	Nitrogênio acumulado na parte aérea de plantas de arroz irrigado, cultivadas em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Massa seca de parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.....	30
Figura 2.	Massa seca radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	31
Figura 3.	Massa seca radicular da cultivar de arroz SCS 115 CL, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	32
Figura 4.	Números de perfilhos produzidos por planta de arroz da cultivar Epagri 109, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	36
Figura 5.	Números de perfilhos produzidos por planta de arroz da cultivar SCS 115 CL, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	36
Figura 6.	Números folhas senescidas por planta de arroz das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.....	39
Figura 7.	Comprimento radicular das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.....	42
Figura 8.	Nitrogênio mineral no solo no momento da colheita da cultivar Epagri 109 submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	47
Figura 9.	Nitrogênio mineral no solo no momento da colheita da cultivar SCS 115 SC submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.....	47
Figura 10.	Curva de crescimento da biomassa total e dos grãos de arroz para os quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.....	87

Figura 11.	Curva de crescimento da biomassa total e dos grãos de arroz para os quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.....	88
Figura 12.	Curva de concentração de N na planta e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.....	90
Figura 13.	Curva de concentração de N na planta e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.....	91
Figura 14.	Curva de absorção de N, biomassa total e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.....	92
Figura 15.	Curva de absorção de N, biomassa total e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.	94
Figura 16.	Curva de absorção de N pelas plantas de arroz derivado da fertilização mineral nos quatro tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), calculado pelo método isotópico ¹⁵ N.....	96
Figura 17.	Curva de eficiência da fertilização nitrogenada mineral (FUE-N) durante a estação de crescimento da cultura do arroz para os tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), calculado a) pelo método isotópico ¹⁵ N e b) método da diferença.....	97
Figura 18.	Eficácia da fertilização nitrogenada mineral relativa à produção de grãos e biomassa total do arroz para os quatro tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera).....	99
Figura 19.	Quantidade de nitrogênio amoniacal (a) e nítrico (b) no solo em função dos diferentes manejos da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI=	

incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas..... 101

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1	20
CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO INOCULADAS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS SOB DOSES CRESCENTES DE N MINERAL	20
1.1 Resumo	20
CHAPTER 1	21
GROWTH OF PADDY RICE CULTIVARS INOCULATED WITH DIAZOTROPHIC BACTERIA UNDER INCREASING DOSES OF MINERAL N	21
1.2 Summary	21
1.3 INTRODUÇÃO	22
1.3.1 Considerações gerais	22
1.3.2 Bactérias endofíticas	22
1.3.2.1 Bactérias promotoras de crescimento vegetal	23
1.3.2.2 Fixação biológica de nitrogênio	24
1.3.3 Interação planta-microorganismo	25
1.3.4 Competência rizosférica da bactéria	25
1.3.5 Bactérias endofíticas e a cultura do arroz	26
1.4 MATERIAL E MÉTODOS	26
1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
1.5.1 Produção de fitomassa	29
1.5.2 Nitrogênio acumulado	33
1.5.3 Parâmetros morfológicos de parte aérea	35
1.5.4 Parâmetros morfológicos de raiz	42
1.5.5 Presença de bactérias nas raízes das plantas de arroz	44
1.5.6 Nitrogênio mineral no solo	46
1.6 CONCLUSÕES	48
CAPÍTULO 2	49
FORMULAÇÕES SIMPLES E MISTA DE INOCULANTE A BASE DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO	49
2.1 Resumo	49
CHAPTER 2	49
SIMPLE AND MIXED FORMULATIONS OF THE BASIS OF DIAZOTROPHIC BACTERIA INOCULANTS ON THE GROWTH OF PADDY RICE PLANTS	50
2.2 Summary	50
2.3 INTRODUÇÃO	51
2.3.1 Considerações gerais	51
2.3.2 Estabelecimento endofítico de bactérias diazotróficas em plantas de arroz	51
2.3.3 Fatores que determinam a interação planta-bactéria	52
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	53

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.5.1 Produção de fitomassa	55
2.5.2 Nitrogênio acumulado	57
2.5.3 Parâmetros morfológicos de parte aérea.....	58
2.5.4 Parâmetros morfológicos de raiz	60
2.5.5 Presença de bactérias nas raízes das plantas de arroz.....	62
2.5.6 Nitrogênio no solo	63
2.6 CONCLUSÕES	65
CAPÍTULO 3	66
PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS	66
3.1 Resumo	66
CHAPTER 3	67
PADDY RICE PRODUCTIVITY AND NITROGEN FERTILIZER EFFICIENCY USE AT DIFFERENT CROP RESIDUE MANAGEMENT SYSTEMS	67
3.2 Summary.....	67
3.3 INTRODUÇÃO	68
3.3.1 Considerações gerais	68
3.3.2 Sistemas de cultivo	68
3.3.3 Alterações do solo decorrentes do alagamento.....	69
3.3.4 Nitrogênio e o cultivo do arroz.....	70
3.3.5 Matéria orgânica (M.O.) e várzeas cultivadas com arroz.....	72
3.3.6 Decomposição dos resíduos culturais em ambiente alagado.....	73
3.3.7 Manejo dos resíduos culturais nas lavouras de arroz irrigado.....	75
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	76
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.5.1 Rendimento de grãos	80
3.5.2 Componentes do rendimento	81
3.5.3 Produção de biomassa	83
3.5.4 Nitrogênio absorvido	84
3.5.5 Evolução dos parâmetros avaliados em função do ciclo de crescimento da cultura	86
3.5.5.1 Biomassa.....	86
3.5.6 Eficiência e eficácia da utilização do fertilizante nitrogenado	95
3.5.7 Nitrogênio mineral no solo	100
3.6 CONCLUSÕES	103
CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa L.*) é cultivado em todos os continentes, numa área de 158 milhões de hectares, alcançando uma produção de 662 milhões de toneladas ao ano (SOSBAI, 2010). Este cereal é base alimentar para mais de três bilhões de pessoas, desempenhando papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar.

No Brasil, o arroz é uma das principais culturas anuais produzidas, com produção entre 11 e 13 milhões de toneladas, correspondendo a 15-20% do total de grãos colhidos no país. Além de ser cultivado em quase todos os estados, é consumido por todas as classes sociais (EMBRAPA, 2004).

Em Santa Catarina, o arroz irrigado é cultivado por 8.499 agricultores, numa área de 158.000 ha, distribuídos em 142 municípios do Estado (SOSBAI, 2010). A produção de SC é de aproximadamente 1 milhão de toneladas, com pouca variação ao longo dos anos. Ela é realizada principalmente por pequenos produtores rurais. Nos últimos anos vem crescendo o arrendamento de áreas para cultivo de arroz no Estado em virtude dos altos custos de produção que limitam o cultivo em pequenas áreas.

O arroz é produzido sob diferentes sistemas de cultivo. Estes sistemas se diferenciam quanto a irrigação, a forma e a época de preparo do solo e aos métodos de semeadura. Dentre eles podem ser citados: o cultivo de sequeiro, convencional, cultivo mínimo, plantio direto e pré-germinado. O cultivo predominante em SC é o sistema pré-germinado, que surgiu no Estado no início do século XX, com a chegada dos imigrantes italianos ao Vale do Itajaí. Estes passaram a cultivar o arroz em áreas com solos argilosos e mal drenados, onde não era possível realizar as práticas convencionais de preparo do solo (EMBRAPA, 2004).

A produtividade das lavouras de arroz de Santa Catarina cresceu muito nas últimas décadas, em virtude da utilização de cultivares com características melhoradas, adaptadas às condições ambientais do Estado, de alto potencial produtivo, superando 10 t ha^{-1} . Apesar do alto potencial produtivo, o rendimento médio das lavouras catarinenses é 7 t ha^{-1} (CONAB, 2010). Esta média pode ser melhorada através do manejo adequado da lavoura.

A produção integrada de arroz irrigado (PIA) é um sistema que visa à segurança ambiental, a segurança alimentar e a segurança dos trabalhadores envolvidos na produção de

arroz. Além disso, objetiva a redução de custos, a agregação de valor, a padronização e a qualidade dos grãos. Este projeto é uma parceria entre diversas instituições de pesquisa que busca a redução da aplicação de insumos químicos nas lavouras através de tecnologias e manejo adequado.

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do arroz, proporcionando maiores respostas em produtividade. Desta forma, altas doses de N são aplicadas nas lavouras, promovendo perdas por volatilização e através da drenagem da água de irrigação, elevando o custo de produção devido à baixa eficiência agrônômica dos fertilizantes nitrogenados.

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é um importante processo realizado por microorganismos diazotróficos, que são capazes de reduzir N_2 atmosférico tornando-o assimilável as plantas. Plantas que apresentam capacidade de associação com estas bactérias podem obter N através da FBN. Muitas bactérias diazotróficas têm sido isoladas da rizosfera do arroz irrigado, principalmente as endofíticas. As bactérias endofíticas são assim denominadas por colonizarem o interior dos tecidos vegetais e não causarem danos aparentes (GRAY & SMITH, 2005). Estas bactérias, além de fixadoras de N, apresentam mecanismos que podem contribuir para o desenvolvimento das plantas. Um destes mecanismos é a produção de fitohormônios que contribuem para o crescimento da parte aérea e do sistema radicular. Para alguns gêneros destas bactérias foram observadas respostas positivas mesmo em plantas cultivadas com altos níveis de N, indicando que as plantas também respondem a produção de outras substâncias pela bactéria (DOBBELAERE et al., 2003). O principal hormônio produzido por estirpes de *Azospirillum* é uma auxina, o ácido indol-acético, que promove divisão e alongação celular, aumentando o comprimento radicular e o número de pêlos absorventes.

A utilização de bactérias diazotróficas como insumo biológico para a produção de grãos pode contribuir para a produção integrada de arroz irrigado, aumentando a sustentabilidade desta importante atividade e incrementando a margem bruta obtida pelo orizicultor catarinense.

A eficiência da utilização de tecnologias nas lavouras depende da aplicação correta no momento adequado, ou seja, do manejo dado à cultura, incluindo não somente a aplicação de produtos químicos, mas também as práticas de irrigação, de preparo do solo e de manejo dos resíduos culturais. As práticas de manejo influenciam o rendimento de grãos das culturas. No arroz irrigado essa influencia é ainda mais importante devido ao ambiente alagado de desenvolvimento da cultura. A forma e o momento adequado da incorporação da palha ao

solo é uma prática que pode interferir no desenvolvimento inicial da cultura, nas perdas de N e na emissão de gases de efeito estufa. A incorporação dos resíduos pouco antes da semeadura e em ambiente alagado pode promover redução do crescimento das plântulas devido à produção de ácidos orgânicos tóxicos e pela imobilização de N por microorganismos do solo. Contudo, os estudos sobre o comprometimento da produtividade e a qualidade dos grãos produzidos nestas condições são escassos. Além disso, a incorporação da palha em ambiente alagado pode aumentar a emissão de metano nas lavouras (EBERHARDT, et al 2009). A queima da palha antes do preparo do solo é outra prática que libera grande quantidade de CO₂ para atmosfera e gera perda de material orgânico, reduzindo a ciclagem de nutrientes.

O manejo adequado da palha antes da semeadura do arroz pode proporcionar melhor desenvolvimento das plântulas devido à maior disponibilidade de N e outros nutrientes e pela redução da formação de ácidos orgânicos que são tóxicos às plântulas. O melhor estabelecimento da lavoura pode reduzir as quantidades de sementes lançadas na semeadura sem prejuízos a produtividade.

Este trabalho é dividido em três capítulos. Os dois primeiros relatam os resultados de dois experimentos com a inoculação de isolados de bactérias diazotróficas, previamente selecionados por outros estudos, em cultivares de arroz de Santa Catarina. No primeiro experimento avaliou-se o desenvolvimento da bactéria em duas cultivares de arroz com a aplicação de cinco doses crescentes de N. No segundo experimento estudou-se o desenvolvimento dos mesmos isolados em formulações individuais e mistas de inoculante em uma cultivar de arroz com aplicação de duas doses de N. O terceiro capítulo se refere ao experimento a campo que avaliou as formas e o momento adequado da incorporação dos resíduos culturais do arroz, visando maior disponibilidade de N à cultura e maior rendimento de grãos.

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO INOCULADAS COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO SOB DOSES CRESCENTES DE N MINERAL

1.1 Resumo

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo arroz irrigado. A aplicação de altas doses de N nas lavouras promove perdas, além de elevar o custo de produção. A associação com bactérias promotoras de crescimento vegetal pode contribuir com o suprimento de N da cultura, além de promover o crescimento do sistema radicular. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de isolados de bactérias diazotróficas encontrados nas regiões produtoras de Santa Catarina e da aplicação de doses crescentes de N mineral sobre o crescimento de duas cultivares de arroz no sistema pré-germinado. O experimento foi implantado em casa de vegetação. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares: Epagri 109 e SCS 115 CL; três inoculações (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27 e com o isolado UDESC AI 32); e cinco doses de N mineral (0, 20, 40, 60 e 80 mg kg⁻¹ N). Os tratamentos foram arrançados num fatorial (2x3x5) com cinco repetições. O delineamento experimental foi completamente casualizado. A aplicação de doses crescentes de nitrogênio estimulou o perfilhamento e a produção de fitomassa da parte aérea e das raízes, tanto nas parcelas inoculadas quanto nas não inoculadas. Quando as plantas foram inoculadas, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior desenvolvimento fenológico, maior produção de massa seca da parte aérea, maior área e volume radicular do que a cultivar Epagri 109. Não houve diferenças consistentes entre os dois isolados para os parâmetros radiculares e de parte aérea avaliados no trabalho. Estes resultados confirmam a importância do estudo da interação planta-microrganismo, devido ao comportamento específico dos diferentes isolados inoculados nos diferentes genótipos de arroz. Esta relação é fundamental para definir um inoculante eficiente à base de bactérias promotoras de crescimento para a cultura do arroz irrigado.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Fixação biológica de nitrogênio. Crescimento radicular. Sustentabilidade.

CHAPTER 1

GROWTH OF PADDY RICE CULTIVARS INOCULATED WITH GROWTH PROMOTING BACTERIA UNDER INCREASING DOSES OF MINERAL N

1.2 Summary

Nitrogen is the nutrient taken up in higher amounts by paddy rice. The use of high nitrogen rates in the field promotes N losses and increases crop production cost. The association between rice and growth promoting bacteria may contribute to supply N to the crop and to stimulate its root system growth. This work was carried out aiming to evaluate the effect of inoculating diazotrophic bacteria isolates found in production regions of Santa Catarina State, Brazil, and the application of increasing rates of mineral N on the growth of rice cultivars grown in the pre-germinated system. The experiment was set in a green-house. The following treatments were tested: two cultivars (Epagri 109 and SCS 115 CL); three inoculations (no inoculation, inoculation with isolate UDESC AI 27 and inoculation with isolate UDESC AI 32); and five nitrogen rates (0, 20, 40, 60 and 80 mg kg⁻¹ of N). Treatments were arranged in a (2 x 3 x 5) factorial design with five replications. The application of increasing N rates stimulated tillering and increased rice shoot and root dry mass production on inoculated and non inoculated plots. When plants were inoculated, cultivar SCS 115 CL presented faster development, greater shoot dry mass production and higher root area and volume than Epagri 109. There were no consistent differences between isolates for the root and shoot parameters evaluated on the experiment. Such results confirmed the importance of studying the interaction between plants and microorganisms due to the specific behavior of *Azospirillum* isolates on the growth of rice cultivars. This relation is fundamental to identify efficient growth promoting bacteria inoculants to paddy rice.

Key-words: *Oryza sativa* . Biological nitrogen fixation. Root growth. Sustainability.

1.3 INTRODUÇÃO

1.3.1 Considerações gerais

Em muitas regiões do estado de Santa Catarina, o arroz irrigado é uma das principais atividades econômicas, predominando o cultivo do arroz pré-germinado. Nos últimos anos foram lançadas cultivares modernas adaptadas ao sistema pré-germinado e às condições ambientais de Santa Catarina. Estas cultivares promoveram incrementos de produtividade. Contudo, elas também apresentam maior necessidade de adubação nitrogenada para expressar o seu potencial produtivo. Devido a esta característica, as aplicações de N aumentaram e a baixa eficiência da aplicação provoca a adição de doses acima do recomendado à cultura.

A aplicação de altas doses de N nas lavouras de arroz promove perdas por volatilização (KNOBLAUCH, 2011), aumentando o custo de produção da cultura. Outro desafio da orizicultura é o cultivo de arroz no sistema orgânico, pela dificuldade de se obter N através de fontes orgânicas. Muitos agricultores abandonam a produção orgânica pela baixa produtividade do sistema em lavouras pré-germinadas devido a dificuldade de adicionar N ao cultivo.

Existem estudos que indicam a possibilidade de se utilizar bactérias endofíticas como insumo biológico, disponibilizando nutrientes e promovendo crescimento de plantas de arroz, aumentando a eficiência da aplicação de N nas lavouras, além de promover melhorias na produtividade da cultura de forma sustentável (LADHA et al., 1997).

1.3.2 Bactérias endofíticas

As bactérias endofíticas são assim denominadas por colonizarem o interior dos tecidos vegetais e não causarem danos aparentes (GRAY & SMITH, 2005).

Muitas bactérias endofíticas são diazotróficas, pois são capazes de fixar N₂ atmosférico. Algumas plantas podem formar associações com estas bactérias e obter N por meio da fixação biológica. Diversas bactérias têm sido isoladas da rizosfera do arroz irrigado. Entre elas destacam-se os gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Herbaspirillum*, *Burkholderia* e *Pseudomonas* (KENNEDY et al., 2004).

As bactérias diazotróficas podem ainda contribuir para o crescimento vegetal através da síntese de fitormônios, envolvendo a produção de várias substâncias, tais como auxinas (ALI et al., 2009), citocininas (TIEN et al., 1979), giberelinas (BOTTINI et al., 1989) e o etileno (STRZELCZYK E KAMPER, 1994).

As bactérias diazotróficas são microaerofílicas (BODDEY & DÖBEREINER, 1995). Elas crescem em ambientes onde a taxa de difusão de O₂ não pode superar a taxa de utilização do O₂ no seu processo respiratório. Isto ocorre devido à sensibilidade da nitrogenase ao O₂ (DÖBEREINER et al., 1995). Os solos alagados do cultivo do arroz garantem um gradiente de O₂ ao redor das raízes que possibilita o crescimento de organismos diazotróficos em microzonas onde a concentração de O₂ é adequada (OLIVEIRA, 1992), devido a menor concentração e difusão do O₂ no sistema.

1.3.2.1 Bactérias promotoras de crescimento vegetal

As bactérias que colonizam a rizosfera apresentam mecanismos de ação direta e indireta na promoção do crescimento vegetal (OLIVEIRA et al., 2003). Dentre os mecanismos de ação direta pode-se citar a fixação biológica de nitrogênio, produção de fitormônios, síntese de sideróforos, solubilização de fosfatos e aceleração da mineralização de nutrientes. Indiretamente, elas atuam nos mecanismos de indução de resistência sistêmica das plantas, antagonismo à patógenos, aumento da resistência das plantas a situações de estresse e produção de antibióticos (CATTELAN & HARTEL, 2000).

A auxina é o hormônio produzido em maior quantidade pela maioria das bactérias endofíticas diazotróficas. É um hormônio que promove divisão e alongação celular. As raízes são mais sensíveis a adição de auxinas que as células da parte aérea, promovendo aumento no comprimento radicular (RADWAN et al., 2004) e no número de pêlos absorventes, podendo melhorar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (KUSS, 2006). Beneduzi et al. (2008) verificou que a inoculação com *Bacillus* sp melhorou o desenvolvimento das raízes de arroz quando comparada às plantas do tratamento controle e com adubação mineral. Efeitos negativos da produção de auxinas pelas bactérias foram encontrados por alguns autores (RODRIGUES et al., 2008; EL-KHAWAS & ADASHI, 1999 e BIANCHET et al., 2011). Lambrecht et al., (2000) explicam que altas quantidades de auxinas exógenas podem inibir o desenvolvimento das raízes.

A citocinina é um hormônio que contribui para o processo de desenvolvimento de clorofilas e retarda a senescência dos órgãos vegetais. A giberelina é um hormônio ligado à quebra de dormência, à promoção da germinação de sementes e ao desenvolvimento inicial de plântulas.

A síntese de sideróforos ocorre através da secreção de moléculas pelas bactérias que secretam o ferro (Fe) de baixo peso molecular e o disponibilizam para as plantas na forma do complexo sideróforo-Fe³⁺ (WANG, et al., 1993).

A solubilização de fósforo (P) ocorre através da secreção de ácidos orgânicos e fosfatases que facilitam a conversão das formas insolúveis do P, aumentando a disponibilidade para as plantas (KHAN ET AL., 2009).

Elas podem propiciar mecanismos de aumento da resistência às doenças pela produção de antibióticos, competição por substrato e antagonismo à nematóites, verificado pela utilização de *Burkholderia* (KENNEDY, CHOUDHURY & KECSKÉS, 2004).

1.3.2.2 Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é o processo realizado por bactérias diazotróficas que convertem N₂ atmosférico em NH₃ assimilável pelas plantas. Este N pode ser transferido diretamente para as plantas ou ser liberado com a morte das bactérias, contribuindo para o suprimento de N de plantas capazes de formar associações com estas bactérias.

As bactérias diazotróficas possuem um complexo enzimático chamado nitrogenase, responsável pela redução do N₂ atmosférico através da quebra da ligação tríplex do N. Após a reação de redução, a amônia é rapidamente convertida a NH₄⁺ que ao ser transportado para fora da célula bacteriana, é assimilado pela célula vegetal sob a forma de glutamina. A enzima nitrogenase é uma molibdênio ferro proteína que hidrolisa 16 adenosinas trifosfatos (ATP) e transfere 8 elétrons por molécula de N fixado. Este processo metabólico é o de maior demanda energética para a célula. Na ausência de molibdênio, o mesmo pode ser substituído por vanádio ou ferro. Devido ao alto custo energético da FBN, alguns fatores regulam a atividade da nitrogenase. Entre eles merecem destaque a concentração de O₂, disponibilidade energética da célula, idade fisiológica (RODRIGUES et al., 2006), disponibilidade de N, principalmente na forma de amônio (PRAKAMHANG et al., 2009).

A atividade da nitrogenase é inibida de forma rápida e reversível pela adição de N ao sistema. Entretanto, como se trata de uma associação entre planta e bactéria, o melhor desenvolvimento da planta melhora os resultados da FBN. Desta forma, a aplicação de uma pequena dose de (até 50 kg ha⁻¹ N), pode contribuir para resultados positivos (SABINO, 2003).

1.3.3 Interação planta-microorganismo

A interação planta-microorganismo é muito importante para o sucesso da associação. A qualidade dos exsudatos radiculares é responsável pela preferência de bactérias por cultivares e espécies vegetais (NEHL et al., 1996).

Diferentes respostas entre genótipos de arroz à inoculação são observadas em muitos experimentos. A ocorrência de bactérias nas plantas varia conforme o genótipo (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2004). Estes resultados confirmam a importância da interação planta-bactéria que pode definir o sucesso da inoculação (GUIMARÃES et al., 2000). Desta forma, a seleção de bactérias nativas e que já formam associações naturais com plantas de arroz cultivadas é extremamente importante para definir isolados promissores em estudos de inoculação.

Rodrigues et al. (2006), avaliando a diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas no arroz irrigado através da inundação, encontrou maior número de isolados para a variedade IR 42 cultivada num solo de Goiás. Isto confirma que o genótipo da planta influencia na população de diazotróficos presente na rizosfera.

1.3.4 Competência rizosférica da bactéria

Competência rizosférica é a capacidade do microrganismo de colonizar o sistema radicular (CATTELAN & HARTEL, 2000) e sobreviver no solo ou rizosfera, na presença da microbiota nativa, que é altamente competitiva por ser adaptada aquele ambiente.

A falta de competência rizosférica de algumas bactérias afeta a interação planta-microorganismo e confere o insucesso de algumas inoculações (COMPANT, 2005). Sem o estabelecimento adequado, a contribuição das bactérias com N₂ fixado ou através dos fitormônios às plantas é pequena.

Os microrganismos apresentam características e necessidades distintas para cada espécie e até mesmo para cada raça. O solo é um sistema aberto com diversos organismos presentes. É um ambiente extremamente heterogêneo, com variações de pH, umidade, textura, teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, concentrações de O₂ e que sofre constantes mudanças ocasionadas pelo homem para que possa ser cultivado (DOBBELAERE et al., 2002). Desta forma, os isolados utilizados como inoculantes devem ser adaptados ao

local onde serão implantados e apresentar alta capacidade de sobrevivência, conseguindo competir com microorganismos nativos (BALDANI et al., 1986). Isto é essencial para manter uma população mínima inicial, garantindo posterior crescimento e desenvolvimento para que possa expressar o objetivo de sua aplicação.

1.3.5 Bactérias endofíticas e a cultura do arroz

A cultura do arroz irrigado apresenta uma ecologia microbiana especial, com diversidade estrutural e de dinâmica de comunidades (KUSS, 2006). Para otimizar os resultados das inoculações, é ideal utilizar isolados que foram encontrados nas áreas produtoras, adaptados às condições de solos alagados.

Através do estudo da ocorrência e diversidade de bactérias endofíticas na cultura de arroz irrigado de Santa Catarina, Cardoso (2008) encontrou grande diversidade nas regiões produtoras do estado. A caracterização fisiológica dos isolados encontrados permitiu identificar aqueles mais promissores na fixação biológica de nitrogênio e na produção de auxinas. Com isto, selecionaram-se os isolados mais promissores para avaliar o comportamento dos mesmos sob diferentes níveis de disponibilidade de N e a sua interação com genótipos de arroz cultivados em Santa Catarina.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de isolados de bactérias diazotróficas encontrados nas regiões produtoras de Santa Catarina e da aplicação de doses crescentes de N mineral sobre o crescimento de duas cultivares de arroz no sistema pré-germinado.

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no município de Lages/SC.

As unidades experimentais foram constituídas por baldes plásticos contendo 4 kg de solo seco e peneirado e quatro plantas por balde. O solo utilizado foi coletado em área de várzea no município de Pouso Redondo, sendo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de arroz: Epagri 109, de ciclo tardio (superior a 140 dias) e SCS 115 CL, de ciclo médio (130-135 dias), destinada ao sistema de produção clearfield de controle de arroz-vermelho; três inoculações com rizobactérias (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27 e com o isolado UDESC AI 32); e cinco doses de N mineral (0, 20, 40, 60 e 80 mg kg⁻¹ N). Os tratamentos

foram arrançados num fatorial (2x3x5) com cinco repetições. O delineamento experimental foi completamente casualizado.

O solo foi inundado 30 dias antes da sementeira para simular a condição de campo, onde os quadros são inundados durante o preparo do solo para estabilização das reações de redução antes da sementeira. A sementeira foi realizada no dia 28 de novembro de 2008. As sementes não receberam tratamento com fungidas e inseticidas, foram apenas desinfetadas, pré-germinadas e inoculadas com os isolados AI 27 e AI 32. Primeiramente procedeu-se a desinfecção das sementes através da imersão em álcool por 5 minutos e após em hipoclorito de sódio por 30 segundos. Posteriormente, elas foram lavadas com água destilada. A pré-germinação ocorreu em duas etapas hidratação e incubação. Na hidratação, as sementes permaneceram submersas em água por 48h para absorção da quantidade necessária de água para sua embebição. Para a incubação retirou-se as sementes da água deixando-as em local arejado, a sombra, por 48h até a emissão do coleótilo e/ou radícula. Após a pré-germinação, as sementes foram imersas em inoculante líquido por 3 horas. Para o preparo do inoculante, colônias purificadas foram multiplicadas em meio de cultura DYGS (DOBEREINER et al., 1995) por 24h sob agitação constante e temperatura de 28°C. A concentração do inoculante era de 10^8 células mL⁻¹ no momento da inoculação.

A análise da fertilidade do solo foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento, para definição da adubação necessária. A análise apresentou os seguintes valores: argila= 230 g kg⁻¹; pH H₂O= 4,7; índice SMP= 4,7; P= 4,0 mg dm⁻³; K= 95 mg dm⁻³; Ca= 1,9 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,6 cmol_c dm⁻³ e matéria orgânica= 23 g kg⁻¹. A adubação foi definida através da necessidade indicada pela análise de fertilidade do solo. Foram aplicadas quantidades equivalentes a 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 50 kg K₂O ha⁻¹, as quais foram corrigidas para 4 kg de solo em cada unidade experimental. O fósforo e o potássio foram incorporados ao solo dois dias antes da sementeira. Sendo a adubação nitrogenada parte dos tratamentos, utilizou-se 5 doses crescentes dentre elas a dose recomendada de 120 kg N ha⁻¹. A adubação nitrogenada foi realizada em duas aplicações de cobertura quando as plantas estavam no estágio V4 (1/2 dose) e V8 (1/2 dose), conforme escala proposta por Counce et al. (2000). Em cada estágio aplicou-se 0, 10, 20, 30 e 40 mg kg⁻¹ de N (correspondentes à metade da dose por tratamento), via líquida.

A colheita foi realizada no dia 28 de janeiro de 2009 quando as plantas estavam com 60 dias. No momento da colheita foram realizadas avaliações morfológicas de parte aérea, utilizando-se as quatro plantas contidas em cada repetição. Foram feitas as seguintes avaliações: estatura de plantas, medindo-se a distância da base do colmo até a ponta da última

folha totalmente expandida; número de perfilhos por planta; estágio de desenvolvimento das plantas de arroz, conforme escala desenvolvida por Counce et al. (2000); número de folhas totais, contando as folhas totalmente expandidas de cada planta de arroz; número de folhas senescentes, considerando as folhas com mais 50% da área senescente; e o número de folhas verdes, obtido através da diferença do número de folhas totais e o número de folhas senescentes.

Quando concluídas as avaliações morfológicas, foi realizada a determinação do índice relativo de clorofila, com clorofilômetro portátil, marca Clorofilog 1030 Falker, realizando a leitura na última folha completamente expandida das plantas de arroz. Após foram realizadas coletas de amostras de solo para a determinação da quantidade de N mineral, conforme Tedesco et al., (1995).

As quatro plantas foram cortadas, separando-se raiz e parte aérea. As raízes foram lavadas e deixadas durante dois minutos em papel toalha e pesadas, obtendo-se o peso úmido. Após foi retirada uma amostra de 10g para a série de diluições e 0,2g para determinação dos parâmetros morfológicos de raiz.

As amostras contendo 10g de raízes foram desinfetadas pela imersão em solução de hipoclorito de sódio (1%) por 30 segundos, enxaguadas com água destilada e trituradas em 90 mL de solução de sacarose (4%) com o auxílio de um misturador. Em sequência procedeu-se as diluições seriadas até obter 10^{-7} , inoculando-se alíquotas de 0,1 mL em frascos contendo 5mL de cada meio semi-sólido para a determinação do crescimento de rizobactérias nos meios NFb e LGI (DOBEREINER et al., 1995). A contagem das bactérias foi realizada utilizando o método do número mais provável de microorganismos (NMP), consultando a tabela de Mc Crady (DOBEREINER et al., 1995), para três repetições por diluição. Considerou-se crescimento positivo a formação de uma película acetotóxica típica próximo da superfície do meio após sete dias de incubação a 32°C.

Os parâmetros morfológicos da raiz foram determinados conforme metodologia apresentada por Schenk & Barber (1979). O comprimento (L) de raiz foi determinado pelo método de intersecção descrito por Tennant (1975). O raio médio (R) da raiz foi calculado pela fórmula $R=(P_f/L \pi)^{1/2}$, onde P_f é o peso fresco da raiz. Essa fórmula pressupõe a forma cilíndrica das raízes com densidade de $1,0g\text{ cm}^{-3}$. A área foi calculada segundo Rossiello et al. (1995) pela fórmula $A=(2\pi RL)$ e o volume $V=(\pi R^2)L$.

O restante das raízes e a parte aérea foram levados a estufa a 60°C até atingirem peso constante para determinação da massa seca (MS). Após, as amostras foram moídas para a determinação da percentagem de N no tecido conforme metodologia descrita por Tedesco et

al. (1995), através de digestão sulfúrica e destilação por arraste de vapores de NH_3 , utilizando o método semi-micro Kjehldahl. Para a determinação do N acumulado nas plantas multiplicou-se o teor de N no tecido pela biomassa seca da raiz e da parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando alcançada a significância estatística, foram ajustadas curvas de regressão para as doses de N e contrastes de médias para as inoculações e teste DMS para as cultivares, a 5% de probabilidade.

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.5.1 Produção de fitomassa

A massa seca de parte aérea foi afetada pelas interações entre cultivar x dose e cultivar x inoculante. Quando as plantas não foram inoculadas, a produção de fitomassa foi igual para as duas cultivares. Para as plantas inoculadas com os dois isolados, a produção de fitomassa da cultivar SCS 115 Cl foi superior a da cultivar Epagri 109 (Tabela 1).

Tabela 1. Massa seca de parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Massa seca parte aérea	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	2,6 A	2,7 A
UDESC AI 27	2,6 B	2,9 A
UDESC AI 32	2,3 B	3,0 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

A produção de massa seca da cultivar Epagri 109 aumentou linearmente e a da cultivar SCS 115 CL de forma quadrática com o aumento da dose de N, na média das três inoculações (Figura 1). Não houve diferença entre cultivares na fitomassa de parte aérea quando não se aplicou nitrogênio mineral. Nas demais doses, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior produção de massa seca que a Epagri 109 (Figura 1).

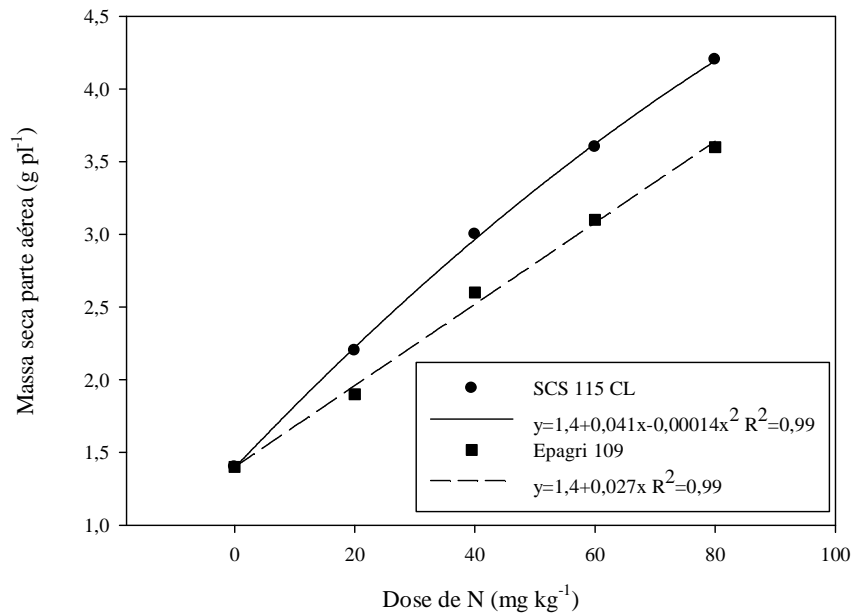


Figura 1. Massa seca de parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelo arroz irrigado, proporcionando os maiores retornos em produtividade (SANTOS et al., 2011) e a maior produção de fitomassa pelas plantas (CORREIA et al., 2011). Desta forma, quanto maior a dose de N maior a produção de massa seca das cultivares de arroz. Diferentes genótipos de arroz respondem de forma distinta à adubação nitrogenada (FAGERIA et al., 2007). A cultivar SCS 115 CL apresenta maior precocidade do que a Epagri 109. Isto fomentou um crescimento mais rápido da SCS 115 CL, promovendo maior produção de massa seca aos 60 dias após a semeadura quando se aplicou nitrogênio em cobertura.

A inoculação não promoveu aumentos na produção de fitomassa de parte aérea nas cultivares de arroz pré-germinado utilizadas neste ensaio. Porém outros estudos confirmam os benefícios da inoculação em arroz. Guimarães et al. (2003), estudando a inoculação de bactérias em arroz cultivado no sistema sequeiro, verificaram incremento de 111% na fitomassa de plantas inoculadas com estirpes de *Herbaspirillum* e cultivadas em casa de vegetação por 40 dias. Possivelmente o cultivo pré-germinado possibilite melhor desenvolvimento das plantas, devido aos benefícios do alagamento, reduzindo a percepção de benefícios através da inoculação (SABINO, 2003; KUSS, 2006; ARAÚJO, 2008). Resultados positivos são mais frequentes quando a cultura é cultivada em solo seco (GUIMARÃES et al., 2003).

A massa seca de raízes da cultivar Epagri 109 variou conforme o aumento da dose N nas parcelas inoculadas e não inoculadas (Figura 2). Quando não houve inoculação, a produção de massa seca de raiz aumentou linearmente com o aumento da dose de N mineral. Já quando as sementes forma inoculadas, o comportamento foi quadrático. Na inoculação feita com o isolado UDESC AI 27, a produção de massa seca de raiz aumentou até a dose de 60mg kg⁻¹ de N. Quando inoculadas com o isolado UDESC AI 32, a massa seca radicular decresceu inicialmente até a dose 20 mg kg⁻¹ de N e aumentou posteriormente conforme o incremento da dose de N.

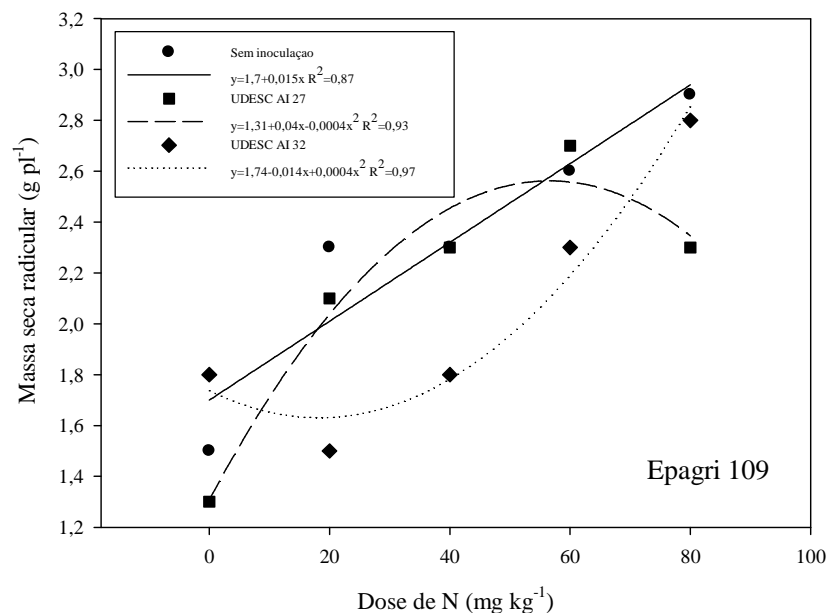


Figura 2. Massa seca radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

A diferença no comportamento dos isolados pode estar relacionada com a produção de auxinas, sendo o isolado UDESC AI 27 mais eficiente do que o UDESC AI 32 neste quesito. A auxina é um hormônio que promove divisão e alongação celular nas raízes, aumentando o comprimento radicular (RADWAN et al., 2004) e o número de pêlos absorventes (MATTOS et al., 2008). A resposta da planta às auxinas liberadas pelas bactérias pode variar do efeito benéfico a inibitório, dependendo da concentração e da cultivar de arroz utilizada (ARAÚJO, 2008). Além disso, o desenvolvimento da bactéria pode ser influenciado pelo teor de N disponível no solo que interfere na liberação de auxina para as plantas.

A massa seca de raízes também apresentou comportamento diferenciado para a cultivar SCS 115 CL, conforme o aumento da dose N nas parcelas inoculadas e não

inoculadas. Ela aumentou com o aumento da dose da N mineral tanto nas parcelas inoculadas quanto nas não inoculadas. Contudo, o aumento ocorreu de forma linear quando não inoculada e inoculada com o isolado UDESC AI 32 e quadrática para as plantas isoladas com UDESC AI 27 (Figura 3). A inoculação promoveu incremento da massa radicular para todas as doses de N. Nas plantas que não receberam adubação nitrogenada não houve diferença na massa radicular entre parcelas inoculadas e não inoculadas (Figura 3).

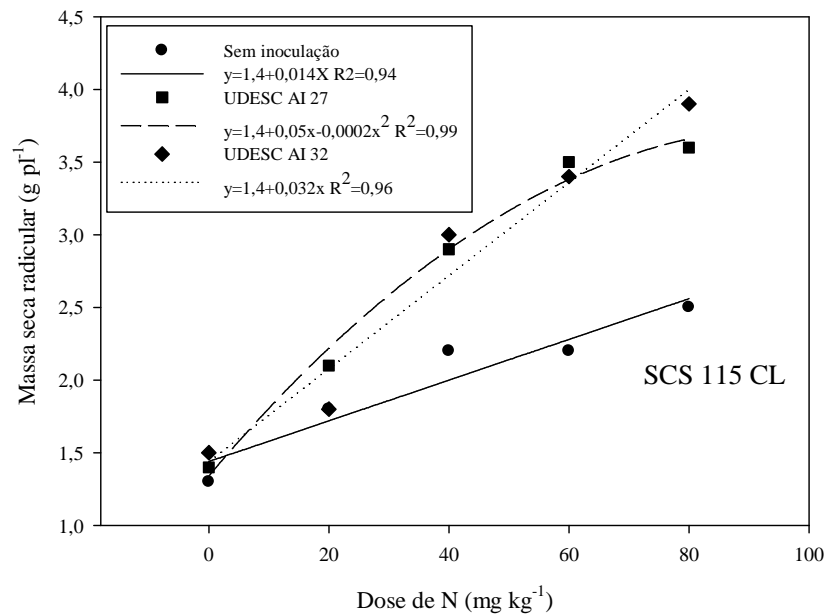


Figura 3. Massa seca radicular da cultivar de arroz SCS 115 CL, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

Os resultados da inoculação sobre a produção de fitomassa da cultivar SCS 115 CL confirmaram a necessidade da aplicação de N para melhor resposta da inoculação. Diferentes respostas entre genótipos de arroz à inoculação também foram observadas por Sabino (2007). Neste estudo, não houve acréscimo de fitomassa da cultivar IAC 4440 quando recebeu inoculação. A cultivar IR 42 apresentou comportamento distinto quando inoculada com as diferentes estirpes, apresentando melhor resultado com a estirpe ZAE 94. Sun et al. (2007), estudando a diversidade de bactérias endofíticas em arroz na China, verificaram a existência de um grau de especificidade entre a bactéria e a planta hospedeira. Estes resultados confirmam a importância da interação planta-bactéria (GUIMARÃES et al., 2000) que pode definir o sucesso da inoculação e explicar as diferenças do efeito da inoculação entre cultivares verificadas no presente estudo.

1.5.2 Nitrogênio acumulado

Houve interação entre cultivar e inoculações sobre o nitrogênio acumulado na parte aérea. Para a cultivar Epagri 109, as inoculações reduziram em 9% a absorção de N pela parte aérea das plantas, sendo o acúmulo de N foi menor ainda quando o arroz foi inoculado com o isolado AI 32 (Tabela 2). Para a cultivar SCS 115 CL, o acúmulo de N diferiu apenas entre os isolados, sendo o maior valor obtido com o isolado AI 32.

O acúmulo de N foi similar para as duas cultivares nas parcelas não inoculadas e inoculadas com o isolado AI 27. Quando as cultivares foram inoculadas com o isolado AI 32, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior acúmulo (Tabela 2).

Tabela 2. Nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	N acumulado (mg pl ⁻¹)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	35,1 A	34,7 A
UDESC AI 27	33,5 A	33,5 A
UDESC AI 32	30,4 B	36,7 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,011*	0,735 ns
C2	0,028*	0,020 *

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

O N acumulado na parte aérea das plantas de arroz aumentou linearmente conforme o acréscimo na dose de N mineral (dados não apresentados).

Para os resultados de N acumulado nas raízes houve interação entre cultivar, dose e inoculações. A influência das doses de N nos resultados das diferentes inoculações foi confirmada neste ensaio. Para a dose 0 mg kg⁻¹ de N, não houve diferença para as plantas inoculadas ou não (Tabela 3), confirmando a necessidade de uma dose de N mínima para melhores resultados da utilização de isolados de bactérias promotoras de crescimento. Para a dose 20 mg kg⁻¹ de N, o isolado AI 32 apresentou menor acúmulo de N nas raízes do que o AI 27. A dose 60 mg kg⁻¹ de N foi a que proporcionou maior diferença no N acumulado nas raízes entre as parcelas inoculadas e não inoculadas (Tabela 3).

Tabela 3. Nitrogênio acumulado nas raízes de plantas de arroz, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e cinco doses crescentes de N mineral, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	N acumulado raízes (mg pl ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
Sem Inoculação	4,7	7,0	8,0	8,7	10,7
UDESC AI 27	5,0	8,0	10,4	11,6	10,9
UDESC AI 32	5,7	6,2	8,3	10,4	13,4
Contrastes	Probabilidades				
C1	0,31 ns	0,96 ns	0,07 ns	0,003 *	0,057 ns
C2	0,42 ns	0,04 *	0,01 *	0,179 ns	0,005*

C1= não inoculado x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Considerando o comportamento das cultivares frente às inoculações, verificou-se que o N acumulado nas raízes da cultivar Epagri 109 não sofreu influência da inoculação (Tabela 4). Já a cultivar SCS 115 CL teve um incremento na absorção de N pelas raízes quando foi inoculada com os isolados de bactérias promotoras de crescimento. Quando as plantas não foram inoculadas, o acúmulo de N foi maior nas raízes da cultivar Epagri 109. Quando as plantas foram inoculadas, o acúmulo de N foi maior nas raízes da cultivar SCS 115 CL (Tabela 4).

Em arroz de sequeiro, Guimarães et al. (2003) encontraram um acúmulo de N nas plantas inoculadas 32% superior que no tratamento controle. As plantas cultivadas em solo seco dependem mais de um maior sistema radicular, para aumentar a capacidade de absorção de nutrientes. No solo alagado, a disponibilidade de nutrientes é aumentada pelo ambiente reduzido (PONNAMPERUMA, 1972) e o meio aquoso facilita a absorção de nutrientes pelas plantas, garantindo um bom desenvolvimento vegetal e boa produtividade (MARCHESAN et al., 2007).

Tabela 4. Nitrogênio acumulado nas raízes das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses crescentes de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	N acumulado raízes (mg pl ⁻¹)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	8,0 A	7,7 B
UDESC AI 27	8,0 B	10,4 A
UDESC AI 32	7,3 B	10,3 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,51 ns	0,0001*
C2	0,26 ns	0,82 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Os resultados distintos para as duas cultivares estão relacionados às suas diferenças genéticas (REIS et al., 2005) e aos ciclos diferentes. A cultivar SCS 115 CL apresenta ciclo menor que Epagri 109, o que gera maior absorção de N pela cultivar mais precoce no período avaliado. Sabino (2007), estudando duas cultivares de arroz, verificou que a IR 42 apresentou maior acúmulo de N quando não inoculada e a cultivar IAC 4440 maior acúmulo quando inoculada com a estirpe M 130.

1.5.3 Parâmetros morfológicos de parte aérea

O número de perfilhos produzidos por planta foi afetado pela interação tríplice entre cultivar x inoculante x dose de N mineral. Ele aumentou linearmente para as duas cultivares conforme o incremento na dose de N (Figuras 4 e 5). Para a cultivar Epagri 109, a inoculação com os isolados de bactérias promotoras de crescimento não favoreceu o incremento no número de perfilhos em todas as doses de N mineral aplicadas (Figura 4).

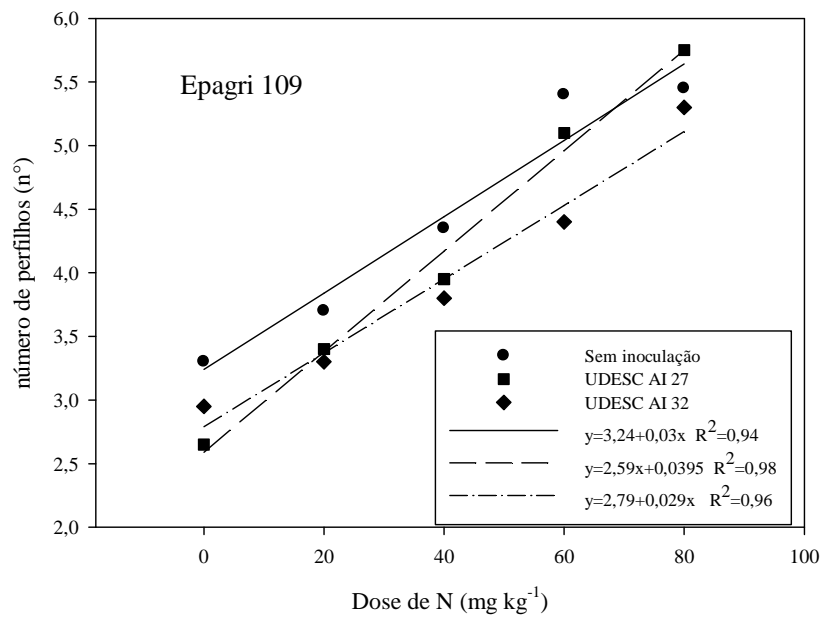


Figura 4. Números de perfilhos produzidos por planta de arroz da cultivar Epagri 109, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

Para a cultivar SCS 115 CL, as plantas inoculadas apresentaram maior número de perfilhos do que as não inoculadas nas doses 0 e 20 mg kg⁻¹ de N (Figura 5).

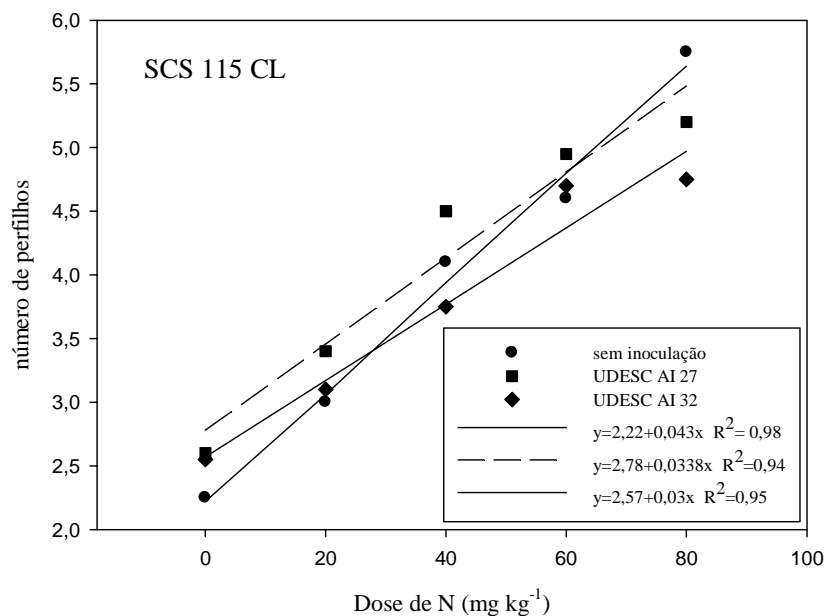


Figura 5. Números de perfilhos produzidos por planta de arroz da cultivar SCS 115 CL, submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

O perfilhamento depende, entre outros fatores, da disponibilidade de N nas lavouras (KNOBLAUCH et al., 2009). Isto explica o aumento no número de perfilhos produzidos com a aplicação de doses crescentes de N. As bactérias promotoras de crescimento apresentam melhor desenvolvimento em ambientes onde se aplicam pequenas doses de N. No entanto,

não houve um aumento consistente no número de perfilhos produzidos por planta com o uso dos isolados UDESC AI 27 e UDESC AI 32, em relação às parcelas não inoculadas, independentemente da dose de N mineral, principalmente na cultivar Epagri 109. A contribuição da fixação biológica de N₂ associativa à nutrição vegetal não é tão significativa como as simbioses (MOREIRA et al., 2010). Isto pode explicar a falta do efeito benéfico no perfilhamento da cultura. Outro fator que pode ter contribuído para o comportamento observado foi que o período avaliado não foi suficiente para que a bactéria expressasse seu potencial de fixação de N, já que a fase de perfilhamento não havia sido concluída quando se efetuou a colheita do trabalho.

Em ensaio realizado a campo com arroz cultivado em terras altas com irrigação por aspersão, Reichembach et al. (2011) verificaram aumento de 25% na produção de grãos pela inoculação com *Azospirillum brasiliense*. Este acréscimo foi devido ao aumento no número de panículas por área, componente definido na fase de perfilhamento da cultura. O sistema de irrigação por inundação proporciona melhores condições de fertilidade do solo para o desenvolvimento da cultura do arroz. Isto pode mitigar resultados positivos da inoculação com bactérias promotoras de crescimento.

Para o número total de folhas das plantas de arroz, houve interação entre cultivares e inoculações e efeito principal das doses de N mineral. Houve redução no número total de folhas produzidas pela cultivar Epagri 109 quando as plantas foram inoculadas com bactérias promotoras de crescimento. O mesmo não ocorreu na cultivar SCS 115 CL, que não apresentou diferenças para plantas inoculadas ou não (Tabela 5). Quando as plantas de SCS 115 CL foram inoculadas, elas apresentaram número total de folhas semelhante ao da Epagri 109. Quando as plantas não foram inoculadas, o valor foi maior para a cultivar Epagri 109 (Tabela 5). O número total de folhas aumentou linearmente conforme o aumento da dose de N mineral aplicada, variando entre 16,3 a 25,3.

Tabela 5. Número de folhas totais das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Folhas totais (n°)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	21,8 A	20,5 B
UDESC AI 27	20,5 A	20,9 A
UDESC AI 32	20,0 A	21,4 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,00008 *	0,174 ns
C2	0,345 ns	0,381 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

O número de folhas senescidas da cultivar SCS 115 CL foi maior do que o da cultivar Epagri 109 tanto nas parcelas inoculadas quanto nas não inoculadas (Tabela 6). Não houve diferença entre os dois inoculados quanto ao número de folhas senescidas.

Tabela 6. Número de folhas senescidas das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Folhas senescidas (n°)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	5,8 B	6,3 A
UDESC AI 27	5,7 B	6,5 A
UDESC AI 32	5,2 B	6,9 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,177 ns	0,164 ns
C2	0,08 ns	0,156 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

A cultivar SCS 115 CL apresenta ciclo médio e, conseqüentemente, um desenvolvimento fenológico mais rápido que a cultivar Epagri 109 (STRECK et al., 2006). Isto pode ter acelerado a senescência foliar desta cultivar ao final do período de avaliação.

O número de folhas senescidas da cultivar SCS 115 CL aumentou linearmente com o aumento da dose de N (Figura 6). Já para a cultivar Epagri 109 não houve efeito das doses de N.

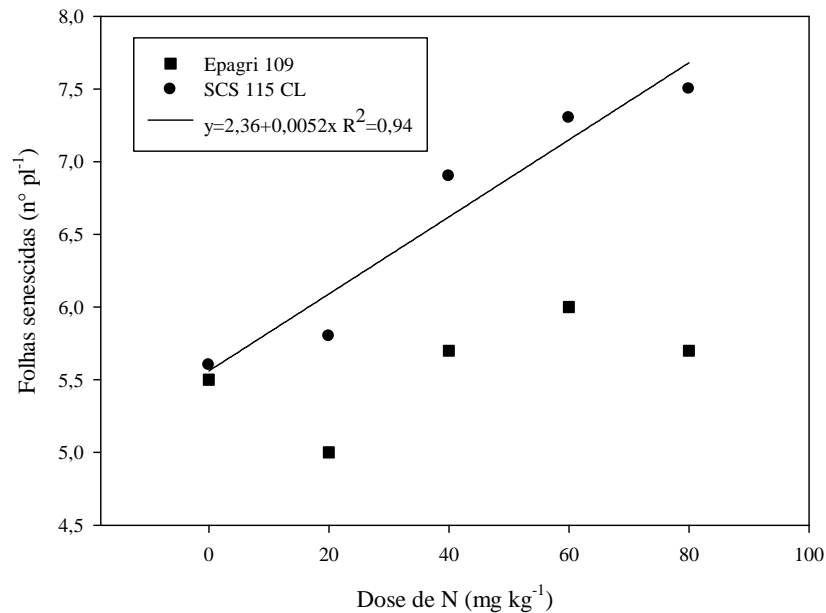


Figura 6: Números folhas senescidas por planta de arroz das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.

O número de folhas verdes aumentou linearmente com o incremento na dose de N, na média de duas cultivares e três inoculações.

Houve interação entre cultivar e dose de N mineral e efeito simples da inoculação sobre a estatura de planta. A cultivar SCS 115 CL apresentou maior estatura do que a Epagri 109 em todas as doses de N (Tabela 7). A estatura também aumentou de forma linear para a cultivar Epagri 109 e quadrática para a SCS 115 CL, conforme o incremento na dose de N mineral.

Tabela 7. Estatura de plantas das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL em função da aplicação de cinco doses de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.

Cultivar	Dose de N (mg kg ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
	Estatura (cm)				
Epagri 109	44,4 B	46,0 B	49,9 B	52,2 B	54,8 B
SCS 115 CL	46,5 A	52,7 A	55,0 A	56,2 A	59,2 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

A cultivar SCS 115 CL, por ter ciclo mais curto, apresentou desenvolvimento vegetativo mais rápido (STRECK et al., 2006), denotando maior estatura de plantas em todas as doses de N mineral. O N é um importante componente estrutural de moléculas essenciais

ao metabolismo vegetal. Por isto, o acréscimo na dose de N promove maior estatura de plantas.

A inoculação com o isolado AI 32 promoveu o crescimento em estatura das plantas de arroz, na média das cultivares e doses de N (Tabela 8).

Tabela 8. Estatura de plantas de arroz submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Imoculações	Estatura (cm)	C1	C2
Sem inoculação	51,2	2	0
UDESC AI 27	51,2	-1	1
UDESC AI 32	52,6	-1	-1
Probabilidade		0,021*	0,0001*

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Kuss (2006) também verificou maior estatura de plantas apenas para um isolado quando inoculado numa das cultivares estudadas. Já Araújo (2008) não encontrou diferenças significativas para estatura de plantas entre os tratamentos de inoculação. Os dados do presente trabalho confirmam discrepância entre os resultados de diferentes ensaios devido à interação planta-bactéria das inoculações.

Para o estágio de desenvolvimento das plantas de arroz houve interação entre a cultivar e inoculação e efeito principal da dose de N mineral. Quando as plantas das duas cultivares não foram inoculadas, elas apresentaram o mesmo estágio fenológico na colheita (Tabela 9). Porém, com a inoculação dos dois isolados, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior desenvolvimento fenológico que a Epagri 109 (Tabela 9). As inoculações não promoveram mudanças no estágio de desenvolvimento da cultivar Epagri 109, mas aumentaram o desenvolvimento da cultivar SCS 115 CL (Tabela 9).

O desenvolvimento fenológico das plantas de arroz foi acelerado com o incremento na dose de N, variando entre 9,1 e 10,2 no momento da colheita do experimento. Os dados de fenologia das cultivares corroboram o comportamento da fitomassa da parte aérea. Os inoculados aceleraram o desenvolvimento fenológico da cultivar SCS 115, fazendo com que ela se destacasse na produção de massa seca de parte aérea da cultivar Epagri 109 (Tabelas 1 e 9).

Tabela 9. Estádio de desenvolvimento das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Estádio de desenvolvimento ^{1/}	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	9,5 A	9,7 A
UDESC AI 27	9,4 B	10,2 A
UDESC AI 32	9,2 B	10,5 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,11 ns	0,001*
C2	0,36 ns	0,109 ns

1/ De acordo com escala proposta por Counce et al. (2000).

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

O índice relativo de clorofila variou com a interação entre cultivar e inoculação, além de ser afetado pelo efeito simples das doses de N mineral. Ele aumentou de forma quadrática conforme o aumento na dose de N. O índice relativo de clorofila foi sempre maior na cultivar SCS 115 CL do que na Epagri 109 (Tabela 10). Para as inoculações, houve diferença apenas na cultivar SCS 115 CL entre as inoculações com os dois isolados de bactérias, sendo maior para a inoculação com o isolado AI 32 (Tabela 10).

Tabela 10. Índice relativo de clorofila das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Índice relativo de clorofila	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	27,7 B	29,1 A
UDESC AI 27	27,9 B	28,8 A
UDESC AI 32	27,4 B	29,8 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,955 ns	0,667 ns
C2	0,216 ns	0,017 *

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS ($P < 0,05$).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

O índice relativo de clorofila é medido com o clorofilômetro, que é um aparelho que permite a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente nas folhas. Este valor é um indicador do nível de N dos cereais (ARGENTA et al., 2001). O índice relativo de

clorofila foi mensurado para ajudar na avaliação do benefício nutricional proporcionado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento em plantas. Os maiores valores foram encontrados na cultivar de ciclo precoce, possivelmente pela maior absorção de N aos 60 dias após a semeadura. Para a inoculação, o maior valor do índice relativo de clorofila foi encontrado na cultivar SCS 115 CL, inoculada com o isolado AI 32, que apresenta maior potencial de fixação de N que o isolado AI 27. Santos et al. (2011) relatou, em ensaio conduzido a campo, que os tratamentos que receberam N baseados nas leituras do clorofilômetro apresentaram massa seca e produtividade similares aos tratamentos que foram adubados de acordo com a recomendação à cultura. Isto confirma que a leitura fornecida pelo clorofilômetro é indicativa do teor de N nas folhas.

1.5.4 Parâmetros morfológicos de raiz

O comprimento radicular variou com a interação entre cultivar e dose de N mineral. Ele teve incremento linear para as duas cultivares com o aumento da dose de N mineral (Figura 7). As taxas de incremento no comprimento radicular em função do aumento na dose de N foram maiores na cultivar SCS 115 CL. Isto fez com que o comprimento radicular fosse maior para a cultivar Epagri 109 nas menores doses de N mineral e maior para a cultivar SCS 115 CL nas maiores doses de N mineral (Figura 7).

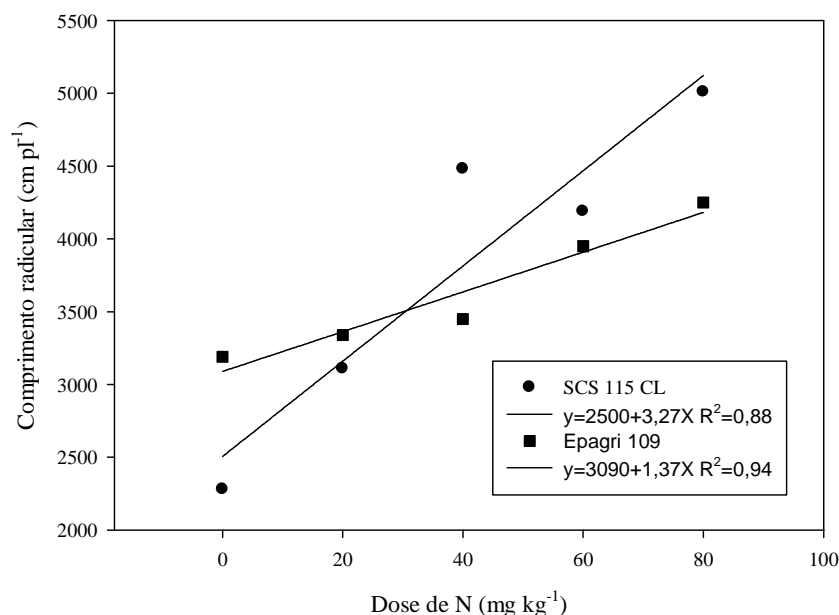


Figura 7. Comprimento radicular das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a doses crescentes de N mineral, na média de três inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal. Lages, SC, 2009.

A área radicular variou com a interação entre cultivar e dose e cultivar e inoculação. A área radicular foi similar para as duas cultivares quando não inoculadas com bactérias promotoras de crescimento (Tabela 11). Quando as plantas foram inoculadas, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior área radicular que a Epagri 109 (Tabela 11). Houve redução da área radicular quando a cultivar Epagri 109 foi submetida à inoculação (Tabela 11). Para a cultivar SCS 115 CL não se constatou diferença quando as plantas foram inoculadas ou não (Tabela 11). A área radicular das duas cultivares apresentou um incremento linear conforme o aumento na dose de N mineral aplicada.

Quando as plantas não foram inoculadas, as duas cultivares apresentaram volume radicular similar. Quando foram inoculadas com os dois isolados, a cultivar SCS 115 CL apresentou maior volume radicular (Tabela 12). A inoculação das bactérias promotoras de crescimento em plantas promoveu efeito distinto para as duas cultivares de arroz, incrementando o volume radicular na SCS 115 CL e reduzindo o mesmo na Epagri 109 (Tabela 12). O volume radicular das duas cultivares aumentou linearmente com o incremento na dose de N mineral.

Tabela 11. Área radicular das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Área radicular (cm ² pl ⁻¹)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	98 A	91 A
UDESC AI 27	87 B	100 A
UDESC AI 32	83 B	96 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,02 *	0,22 ns
C2	0,57 ns	0,58 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Tabela 12. Volume radicular das cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	Volume radicular (cm ³ pl ⁻¹)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	19 A	18 A
UDESC AI 27	18 B	21 A
UDESC AI 32	16 B	20 A
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,02 *	0,02*
C2	0,22 ns	0,30 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Mattos et al. (2008) confirmaram que a colonização endofítica é diretamente associada ao aumento no desenvolvimento da planta, através da produção do fitohormônio auxina/ácido 3-indolacético pela *Burkholderia kururiensis* verificado pela utilização de plântulas de arroz transgênicas, contendo o repórter responsivo para auxina (DR5-GUS). Neste trabalho verificou-se um aumento significativo do número e volume de pêlos radiculares nas plantas de arroz inoculadas com esta bactéria, através de imagens obtidas por microscopia eletrônica. Zanatta et al. (2011), em ensaio conduzido em laboratório, verificaram, através de microscopia eletrônica de varredura, a formação de pêlos radiculares e raízes laterais com a inoculação de bactérias promotoras de crescimento em sementes de arroz.

As diferenças observadas no desenvolvimento radicular entre as duas cultivares são explicadas pelas características genéticas de cada genótipo de arroz (FRANÇA et al., 1999). A presença de bactérias nos tecidos radiculares das plantas podem modificar a expressão dos genes que codificam o desenvolvimento radicular (ZONTA et al., 2006), determinando mudanças nos arranjos celulares e no tamanho radicular com respostas distintas para diferentes genótipos (DOBBELAERE & OKON, 2007).

1.5.5 Presença de bactérias nas raízes das plantas de arroz

Houve efeito principal da inoculação sobre a quantidade de bactérias presentes nas raízes das plantas de arroz.

A presença de bactérias promotoras de crescimento vegetal no tratamento controle foi menor que nos tratamentos com inoculação para os dois meios de crescimento, NFb e LGI (Tabela 13), confirmando a presença dos isolados inoculados nas sementes de arroz e a

presença de bactérias nativas do solo.

Para o meio NFB, a presença de bactérias nas raízes das plantas de arroz não diferiu para os dois isolados inoculados (Tabela 13). No meio LGI, a presença de bactérias foi maior quando as plantas foram inoculadas com o isolado UDESC AI 32 (Tabela 13).

Tabela 13. Número mais provável de bactérias promotoras de crescimento vegetal (\log_{10}) obtidas a partir dos meios NFB e LGI nas raízes de arroz submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média das cultivares Epagri 109 e SCS 115 CL e cinco doses de N mineral, e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Imoculações	NFb	C1	C2
Sem inoculação	4,3	2	0
UDESC AI 27	6,3	-1	1
UDESC AI 32	6,5	-1	-1
Probabilidade		0,0004*	0,637 ns
Imoculações	LGI	C1	C2
Sem inoculação	4,6	2	0
UDESC AI 27	5,7	-1	1
UDESC AI 32	6,6	-1	-1
Probabilidade		0,0003*	0,013*

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Espécies de bactérias diazotróficas e/ou promotoras de crescimento são encontradas associadas as raízes de diversas espécies de plantas de importância agrícola (MOREIRA et al., 2010) ou ainda em plantas selvagens (SUN et al., 2007). São encontradas até mesmo em áreas degradadas, como solos de mineração (MELLONI et al., 2004), o que sugere a presença destas bactérias no solo usado neste ensaio, explicando a presença de bactérias nos tratamentos controle nos dois meios de cultivos utilizados.

A dose de N não influenciou a presença de bactérias nas raízes de arroz, confirmando resultados obtidos por Kuss (2006). Contudo, outros autores relatam a limitação imposta pela adubação nitrogenada no desenvolvimento das bactérias endofíticas. Mattos et al. (2008), quando adicionaram uma fonte de nitrogênio no cultivo de plantas de arroz inoculadas com *Burkholderia kururiensis*, verificaram que esta prática foi um fator limitante para a colonização endofítica, embora não tenha influenciado no crescimento bacteriano. Outro ponto relevante se refere a uma dose mínima para desenvolvimento das bactérias. Possivelmente o ambiente alagado proporcionou uma quantidade mínima de N para o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, da bactéria. Para bactérias associativas a influencia da dose de N é menor que para as simbioses entre plantas e bactérias.

A utilização de cepas isoladas da mesma cultivar e posteriormente inoculada apresenta resultados benéficos a interação e ao crescimento das plantas inoculadas (BENEDUZI et al., 2008).

1.5.6 Nitrogênio mineral no solo

A avaliação do N mineral no solo feita aos 30 dias após a semeadura e antes da primeira adubação nitrogenada mostrou interação entre cultivar e inoculação. A quantidade de N no solo aos 30 dias foi maior para a cultivar Epagri 109 do que para a SCS 115 CL (Tabela 14). Para a cultivar Epagri 109, a quantidade de N no solo foi menor nas parcelas inoculadas do que nas não inoculadas (Tabela 14). Já para a cultivar SCS 115 CL, a quantidade de N no solo foi maior quando as plantas foram inoculadas com os dois isolados (Tabela 14).

A cultivar SCS 115 CL apresenta ciclo precoce. Ela se desenvolve mais rapidamente e seu período vegetativo é menor que o da Epagri 109. Devido a esta característica, possivelmente SCS 115 CL absorveu mais N que a Epagri 109 nos primeiros 30 dias de desenvolvimento das plantas de arroz, restando menos N no solo. Outro fator a considerar foi o maior desenvolvimento radicular da cultivar SCS 115 CL, principalmente quando inoculada com os isolados de bactérias promotoras de crescimento, que pode ter contribuído para a maior absorção de N do solo.

Tabela 14. N no solo cultivado com as cultivares de arroz Epagri 109 e SCS 115 CL, submetidas a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de cinco doses de N mineral, aos 30 dias após a semeadura e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2009.

Inoculações	N solo (mg kg ⁻¹)	
	Epagri 109	SCS 115 CL
Sem Inoculação	4,0 A	2,7 B
UDESC AI 27	3,5 A	3,3 B
UDESC AI 32	3,5 A	3,3 B
Contrastes	Probabilidades	
C1	0,002*	0,001*
C2	0,69 ns	0,17 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= isolado AI 27 x isolado AI 32

*significativo a 5%

ns não significativo

Na avaliação do N mineral no solo no momento da colheita foram detectados valores muito baixos, para as duas cultivares independente da inoculação (Figura 8 e 9). Isto ocorreu

devido à presença das plantas de arroz que absorveram grande parte do N disponível.

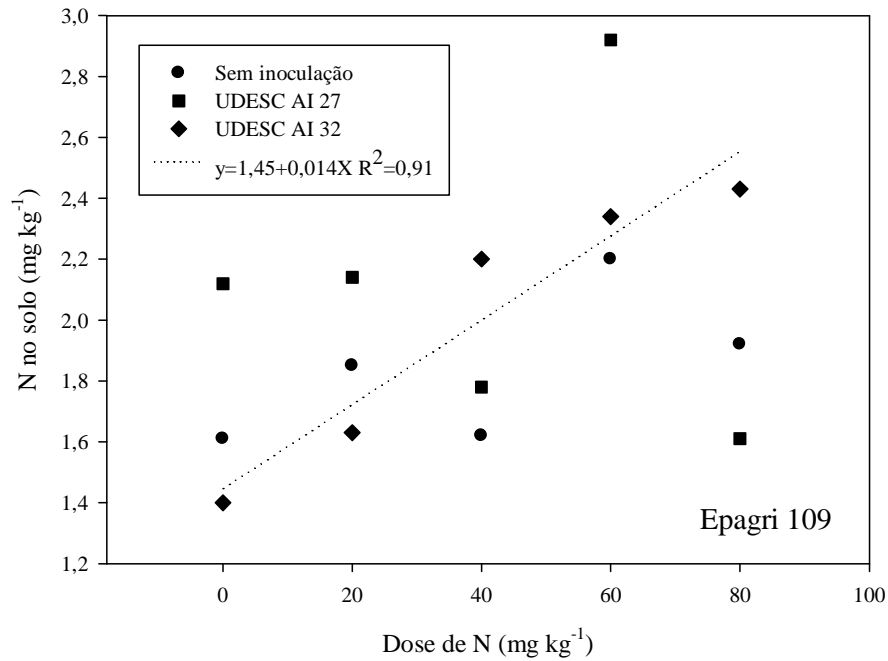


Figura 8. Nitrogênio mineral no solo no momento da colheita da cultivar Epagri 109 submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

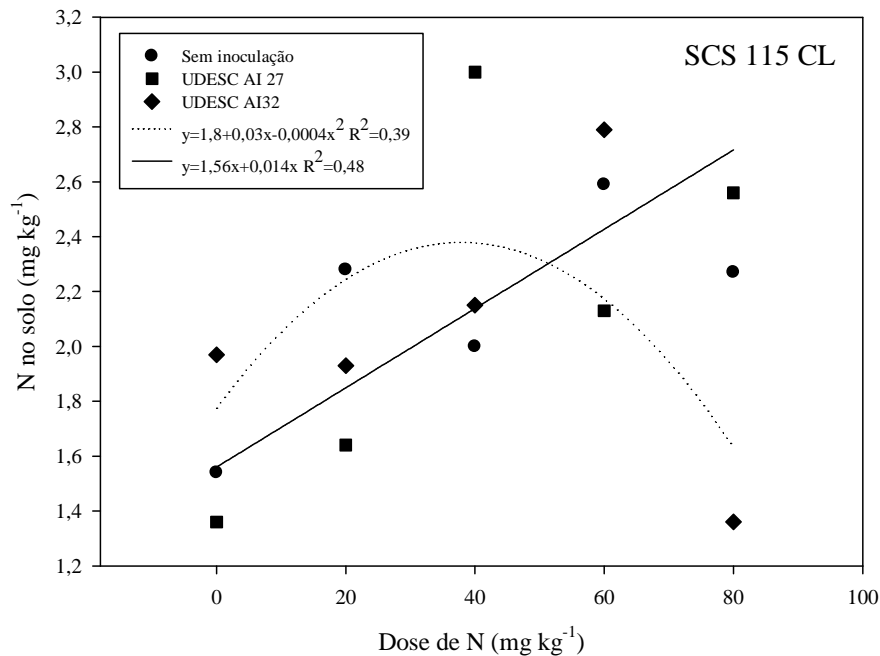


Figura 9. Nitrogênio mineral no solo no momento da colheita da cultivar SCS 115 SC submetida a inoculações com bactérias promotoras de crescimento vegetal e a doses crescentes de N mineral. Lages, SC, 2009.

1.6 CONCLUSÕES

A inoculação com bactérias diazotróficas aumentou a área e o volume radiculares da cultivar SCS 115 CL e acelerou o seu desenvolvimento fenológico, em relação a cultivar Epagri 109. Isto fez com que a cultivar de ciclo médio apresentasse maior produção de fitomassa de parte aérea do que a cultivar de ciclo tardio, o que não ocorreu nas parcelas não inoculadas.

A aplicação de doses crescentes de nitrogênio estimulou o perfilhamento e a produção de fitomassa da parte aérea e das raízes, tanto nas parcelas inoculadas quanto nas não inoculadas.

Não houve diferenças consistentes entre os dois inoculados para os parâmetros morfológicos de parte aérea e radiculares avaliados no trabalho.

Os resultados obtidos reforçam a importância da interação planta-bactéria para o sucesso das inoculações com bactérias diazotróficas na cultura do arroz irrigado.

CAPÍTULO 2

FORMULAÇÕES SIMPLES E MISTA DE INOCULANTES COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO E DOSES DE NITROGÊNIO PARA O ARROZ IRRIGADO

2.1 Resumo

A utilização de bactérias diazotróficas como insumo biológico para a produção de arroz irrigado pode reduzir as aplicações de fertilizantes nitrogenados e contribuir para o desenvolvimento da planta. O uso de formulações mistas de inoculantes pode aumentar a eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de formulações simples e mistas de inoculantes a base de bactérias diazotróficas sobre o desenvolvimento inicial do arroz irrigado sob diferentes níveis de N. O experimento foi implantado em casa de vegetação. Os tratamentos foram constituídos por quatro tipos de inoculação (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27, isolado UDESC FE 22 e uma formulação mista composta pelos isolados UDESC AI 27 e UDESC FE 22) e duas doses de nitrogênio mineral (30 e 60 mg kg⁻¹ de N). A cultivar utilizada foi a Epagri 109. Os tratamentos foram arrançados num fatorial (4 x 2) com cinco repetições. O delineamento experimental foi completamente casualizado. A inoculação com os isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal reduziu em 18% a produção de massa seca da parte aérea e em 26% da fitomassa radicular das plantas de arroz. A área e o volume radicular também foram reduzidos com a inoculação dos isolados. O nitrogênio acumulado na parte aérea não foi afetado pela dose de N e inoculações. Os resultados obtidos demonstraram que os isolados utilizados no trabalho não foram efetivos para estimular o crescimento de parte aérea e raiz da cultivar Epagri 109, independentemente do tipo de formulação e da dose de N.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Insumo biológico. Fixação biológica de nitrogênio. Crescimento vegetal

CHAPTER 2

SINGLE AND MIXED FORMULATIONS OF INOCULANTS WITH GROWTH PROMOTING BACTERIA AND NITROGEN RATES TO PADDY RICE

2.2 Summary

The use of growth promoting bacteria as a biological input to paddy rice production may reduce nitrogen fertilizer application. It can also contribute to enhance plant development. The use of mixed inoculation formulations may increase the efficiency of this nitrogen biological fixation process. This work was carried out aiming to evaluate the effect of single and mixed inoculants formulations of diazotrophs bacterial on the initial development of paddy rice under different levels of N supply. The experiment was set in a green-house. The following treatments were tested: four inoculations (no inoculation, inoculation with isolate UDESC AI 27, inoculation with isolate UDESC FE 22 and inoculation with a mixture of isolates UDESC AI 27 and UDESC FE 22); and two nitrogen rates (30 and 60 mg kg⁻¹ of N). Treatments were arranged in a (4 x 2) factorial design with five replications. The inoculation with plant growth promoting bacteria reduced in 18% and 26% shoot and root biomass, respectively. Root area and volume were also decreased with the isolates inoculation. Nitrogen accumulated on the shoot was not affected by N rate and inoculation. The results showed that the isolates tested in the trial were not effective to stimulate shoot and root growth of Epagri 109, regardless of the kind of formulation and N rate.

Key-words: *Oryza sativa*. Biological input. Biological nitrogen fixation. Plant growth.

2.3 INTRODUÇÃO

2.3.1 Considerações gerais

As bactérias promotoras de crescimento vegetal podem contribuir para o desenvolvimento das plantas de diversas formas, tais como a fixação biológica de nitrogênio (N) e a produção de fitormônios, principalmente auxinas (RODRIGUES, 2004).

A utilização destas bactérias como insumo biológico para a produção de arroz irrigado pode reduzir as aplicações de fertilizantes nitrogenados e contribuir para o desenvolvimento da planta, aumentando a sustentabilidade desta atividade e incrementando a margem bruta obtida pelo orizicultor catarinense.

A produção de um inoculante a base de bactérias promotoras de crescimento para o arroz irrigado depende de diversos estudos de ocorrência, diversidade e estabelecimento da bactéria, além da sua contribuição à planta. Para atingir este objetivo, são necessários estudos específicos com a cultura, considerando a região de cultivo, o clima, tipo de solo, manejo e as cultivares utilizadas em determinada região (SALA et al., 2007).

2.3.2 Estabelecimento endofítico de bactérias diazotróficas em plantas de arroz

A infecção das raízes por bactérias é uma condição essencial para o estabelecimento de uma associação eficiente entre bactérias hospedeiras (PERIN et al., 2003; ARAÚJO, 2008).

As bactérias diazotróficas apresentam a capacidade de infectar e colonizar plantas de arroz e se estabelecer nos espaços intercelulares do córtex, xilema e aerênquima (KENNEDY et al., 2004).

A eficiência da infecção e a colonização das plantas são processos que dependem de movimentação das bactérias em direção as plantas, adesão à superfície das raízes e posterior penetração e multiplicação no seu interior (STEENHOUDT & VANDERLEYDEN, 2000). A movimentação dos microrganismos em direção as raízes é dependente do reconhecimento químico, chamado quimiotaxia. Esta etapa é comandada por sinais moleculares emitidos pelas raízes da planta hospedeira que atravessam o ambiente extracelular e são percebidas por microrganismos das proximidades (DECHO et al., 2009). A etapa posterior de sobrevivência do microrganismo depende de fatores bióticos e abióticos (DOBBELAERE et al., 2003).

2.3.3 Fatores que determinam a interação planta-bactéria

Vários fatores afetam a interação entre bactérias e a planta em associação. Entre eles destacam-se a genética do isolado e da planta (GUIMARÃES et al., 2000), o tipo de solo, o clima, a dose de N aplicada à cultura e a inoculação de dois ou mais isolados, chamada de formulações mistas.

Muitas bactérias podem ser isoladas de raízes de arroz, mas nem todas apresentam potencial fixador de N ou produtor de auxinas. Cardoso (2008), avaliando fisiologia de 25 isolados in vitro, determinou que 21 apresentavam potencial promotor de crescimento em pelo menos uma característica avaliada. Somente duas tiveram resultados positivos nas três avaliações (produção de auxina, fixação de N e solubilização de fosfatos), sendo 52% capazes de FBN e 64% capazes de produzir auxinas.

O genótipo da planta é fundamental no estabelecimento desta associação. A especificidade de hospedeiros é verificada para diferentes espécies de plantas estudadas (COELHO et al., 2007) e pode ter resultados diferentes dentro da mesma espécie para cultivares distintas (SABINO, 2007). Kuss et al (2007), estudando a ocorrência de bactérias endofíticas em nove cultivares de arroz, verificaram afinidade de isolados por algumas cultivares. Nehl et al. (1996) consideram que a qualidade dos exsudatos radiculares determina a preferência das bactérias por algumas espécies e até mesmo cultivares distintas.

O uso de formulações mistas de inoculantes é comum e pode aumentar a sua eficiência. A Embrapa Agrobiologia desenvolveu recentemente um inoculante para aplicação na cultura da cana-de-açúcar, contendo as bactérias diazotróficas: *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Azospirillum amazonense* e *Burkholderia tropica* (REIS, PEREIRA & HIPÓLITO, 2009). Cada isolado de bactéria apresenta uma característica distinta de produção de fitormônios, fixação de N e solubilização de fosfatos que em associação pode aumentar a resposta da planta à inoculação (Perrig et al., 2007).

Outro fator está relacionado com a nitrogenase, que é composta por dois componentes proteicos. O primeiro componente é composto de dois átomos de molibdênio e 33 de ferro, MoFe-proteína, que se liga ao N promovendo sua redução. O segundo componente é composto de quatro átomos de ferro, Fe-proteína, e transfere elétrons para a MoFe-proteína. Os dois componentes da nitrogenase podem ser separados, mas isoladamente não são capazes de reduzir o N. Os dois componentes podem ser provenientes de espécies diazotróficas distintas. A atividade da nitrogenase é incrementada quando são cultivadas numa mistura de

bactérias, mesmo que estas sejam provenientes de habitats diferentes (Bashan & Holguin, 1997).

Este experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de formulações simples e mistas de inoculantes a base de bactérias promotoras de crescimento vegetal sobre o desenvolvimento inicial da cultura do arroz irrigado sob diferentes níveis de N.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias CAV-UDESC, no município de Lages/SC.

As unidades experimentais foram constituídas por baldes plásticos com 4 kg de solo seco e peneirado e quatro plantas por balde. O solo utilizado foi coletado em área de várzea no município de Pouso Redondo, sendo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Os tratamentos foram constituídos por quatro inoculações com rizobactérias (sem inoculação, inoculação com o isolado UDESC AI 27, isolado UDESC FE 22 e uma formulação mista composta pelos isolados UDESC AI 27 e UDESC FE 22 e duas doses de N mineral (30 e 60 mg kg⁻¹ N, correspondentes a 60 e 120 kg de N ha⁻¹, que representam metade da dose e a dose recomendada para a cultura no Alto Vale do Itajaí). A cultivar utilizada foi a Epagri 109, de ciclo tardio (superior a 140 dias), sendo esta uma das mais utilizadas nas lavouras de Santa Catarina e que apresenta alto potencial produtivo. Os tratamentos foram arrançados num fatorial (4 x 2) com cinco repetições. O delineamento experimental foi completamente casualizado.

O solo foi inundado 30 dias antes da sementeira para simular a condição de campo, onde os quadros são inundados durante o preparo do solo para estabilização das reações de redução antes da sementeira. A sementeira foi realizada no dia 28 de novembro de 2009. As sementes não receberam tratamento com fungidas e inseticidas, foram apenas desinfetadas, pré-germinadas e inoculadas com os isolados AI 27 e FE 22 e a formulação mista. Primeiramente procedeu-se a desinfecção das sementes através da imersão em álcool por 5 minutos e após em hipoclorito de sódio por 30 segundos. Em seguida, as sementes foram lavadas com água destilada. A pré-germinação ocorreu em duas etapas hidratação e incubação. Na hidratação, as sementes permaneceram submersas em água por 48h para que absorvessem a quantidade de água necessária para sua embebição. Para a incubação retirou-se as sementes da água deixando-as em local arejado, a sombra, por 48h até a emissão do

coleóptilo e/ou radícula. Após a pré-germinação, as sementes foram imersas em inoculante líquido por 3 horas. Para o preparo do inoculante colônias purificadas foram multiplicadas em meio de cultura DYGS (DOBEREINER et al., 1995) por 24h sob agitação e temperatura de 28°C. A concentração do inoculante era de 10^8 células mL^{-1} .

A análise da fertilidade do solo foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento, para definição da adubação necessária. A análise apresentou os seguintes valores: argila= 280 g kg^{-1} ; pH H_2O = 4,8; índice SMP= 5,0; P= 12,5 mg dm^{-3} ; K= 105 mg dm^{-3} ; Ca= 6,38 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg= 1,67 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e matéria orgânica 27 g kg^{-1} . Conforme a necessidade, foram aplicadas quantidades equivalentes a 50 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e 50 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, as quais foram corrigidas para 4 kg de solo em cada unidade experimental. O fósforo e o potássio foram incorporados ao solo dois dias antes da semeadura. A adubação nitrogenada foi realizada em duas aplicações de cobertura quando as plantas estavam no estágio V4 (1/2 dose) e V8 (1/2 dose), conforme escala proposta por Counce et al. (2000), aplicando-se as quantidades de 15 e 30 mg kg^{-1} de N (correspondentes à metade da dose por aplicação), via líquida, conforme os tratamentos.

A colheita foi realizada no dia 28 de janeiro de 2010. No momento da colheita foram realizadas avaliações morfológicas de parte aérea, utilizando-se as quatro plantas contidas em cada repetição. Dentre elas determinaram-se: estatura de plantas, medindo-se a distância da base do colmo até a ponta da última folha totalmente expandida; número de perfilhos por planta; estágio de desenvolvimento das plantas de arroz, conforme escala desenvolvida por Counce et al. (2000); número de folhas totais, contando as folhas totalmente expandidas de cada planta de arroz; número de folhas senescidas, considerando as folhas com mais 50% da área senescida; e número de folhas verdes, obtido através da diferença entre o número de folhas totais e o número de folhas senescidas.

Quando concluídas as avaliações morfológicas foi realizada a determinação do índice relativo de clorofila, com clorofilômetro portátil, marca Clorofilog 1030 Falker, realizando a leitura na última folha completamente expandida das plantas de arroz. Após foram realizadas coletas de amostras de solo para a determinação da quantidade de N mineral, conforme Tedesco et al., (1995).

As quatro plantas foram colhidas, separando-se raiz e parte aérea. As raízes foram lavadas, deixadas 2 minutos em papel toalha e pesadas, obtendo-se o peso úmido. Após foi retirada uma amostra de 10g para a série de diluições e 0,2g para determinação dos parâmetros morfológicos de raízes.

Com a amostra de 10g de raízes procedeu-se as diluições seriadas até obter 10^{-7} , inoculando-se alíquotas de 0,1 mL em frascos contendo meios semi-sólidos para a determinação do crescimento de rizobactérias nos meios NFb e LGI (DOBEREINER et al., 1995). A contagem das bactérias foi realizada utilizando o método do NMP, consultando a tabela de Mc Crady (DOBEREINER et al., 1995), para 3 repetições por diluição. Considerou-se crescimento positivo a formação de uma película acetotóxica típica próximo da superfície do meio após sete dias de incubação a 32°C.

Os parâmetros morfológicos da raiz foram determinados conforme metodologia apresentada por Schenk & Barber (1979). O comprimento (L) de raiz foi determinado pelo método de intersecção descrito por Tennant (1975). O raio médio (R) da raiz foi calculado pela fórmula $R=(P_f/L \pi)^{1/2}$, onde P_f é o peso fresco da raiz. Essa fórmula pressupõe a forma cilíndrica das raízes com densidade de $1,0\text{g cm}^{-3}$. A área foi calculada segundo Rossiello et al. (1995) pela fórmula $A=(2\pi RL)$, e o volume $V=(\pi R^2)L$.

O restante das raízes e a parte aérea foram levados a estufa a 60°C até atingirem peso constante para determinação da massa seca (MS). Após, as amostras foram moídas para a determinação da percentagem de N no tecido conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando alcançada a significância estatística, aplicaram-se contrastes de médias para as inoculações e o teste DMS para as doses de N, a 5% de probabilidade.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Produção de fitomassa

Não houve diferença entre as doses de N na produção de fitomassa da cultura. A colheita das plantas foi realizada antes do final do período de desenvolvimento vegetativo, quando as mesmas se encontravam no estágio V10 da escala de Counce et al. (2000). No momento da colheita, as plantas não haviam atingido a máxima produção de fitomassa. A maior demanda por nitrogênio do arroz irrigado está concentrada entre os estádios V3 e R1 (SOSBAI, 2010). Este fator possivelmente contribuiu para a não constatação de efeitos das doses de N aplicadas.

Também não houve efeito significativo da interação entre a adubação nitrogenada e a

inoculação sobre as variáveis de fitomassa. As massas secas da parte aérea e radicular foram afetadas apenas pelo efeito principal da inoculação. A inoculação com os isolados de bactérias promotoras de crescimento vegetal reduziu em 18% a produção de massa seca da parte aérea e em 26% da fitomassa radicular das plantas de arroz (Tabela 15).

Tabela 15. Massa seca de parte aérea e radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Parte aérea			
	(g pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	3,44	3	0	0
UDESC AI 27	2,78	-1	-1	1
UDESC FE 22	2,93	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	2,8	-1	2	0
Probabilidade		0,002*	0,769 ns	0,491 ns
Inoculações	Raízes			
	(g pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	2,53	3	0	0
UDESC AI 27	1,76	-1	-1	1
UDESC FE 22	2,1	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	1,75	-1	2	0
Probabilidade		0,0003*	0,320 ns	0,100 ns

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo a 5%.

Este resultado contraria os reportados por Didonet et al. (2003) e Sabino et al. (2000) que constataram efeito positivo da inoculação destas bactérias. A sensibilidade de genótipos de arroz a altas concentrações de fitormônios pode explicar os efeitos negativos da inoculação sobre a produção de massa seca nas plantas. Segundo Lambrecht et al. (2000), quando são produzidas altas quantidades de auxinas exógenas, pode ocorrer inibição do desenvolvimento das raízes. O isolado AI 27 foi analisado *in vitro* e a sua produção de auxinas foi de 120 µg mL⁻¹. Esta é a maior produção auxínica para os isolados encontrados no estudo de ocorrência em lavouras de arroz irrigado no Estado de Santa Catarina (CARDOSO, 2008). O isolado FE 22 foi encontrado em lavouras de feijão e apresentou produção de auxinas de 30 µg mL⁻¹. Estes valores indicam uma alta capacidade de produção de auxinas que poderiam ser mais efetivas na contribuição do crescimento das plantas de arroz. Contudo, a resposta das plantas as auxinas liberadas pelas bactérias pode variar do efeito benéfico ao inibitório, dependendo da concentração (ARAÚJO, 2008).

Outros estudos relatam efeitos negativos da inoculação de bactérias promotoras de

crescimento. Neste sentido, Bacilio-Jiménez et al. (2001), testando a inoculação de *Azospirillum brasiliense* em plântulas de arroz, verificaram uma redução do crescimento das plântulas, em relação às não inoculadas.

Segundo Kuss et al. (2007) e Sabino (2007), além da sensibilidade de alguns genótipos de arroz a concentrações de auxinas exógenas, outro fator que influencia no resultado das inoculações de bactérias em plantas é a interação planta-bactéria. O mesmo isolado inoculado em diferentes genótipos de arroz responde de forma distinta. No estudo realizado por Bacilio-Jimenez et al. (2001) foi verificado que dois isolados de *Azospirillum brasiliense* apresentaram comportamento distintos para as duas cultivares inoculadas, sendo o isolado A 9-81 mais inibidor para a cultivar Morelos e o isolado UAP- 154 mais inibidor para a cultivar Apatzingán. Alguns estudos constaram a influencia da genética da planta e da bactéria no sucesso da inoculação. Nehl et al. (1996) consideram que a qualidade dos exsudatos radiculares determina a preferência das bactérias por algumas espécies e até mesmo cultivares distintas. A cultivar Epagri 109 não respondeu positivamente a inoculação nos dois ensaios deste estudo. É possível que os exsudatos radiculares por ela liberados não sejam favoráveis ao desenvolvimento dos isolados utilizados no trabalho.

2.5.2 Nitrogênio acumulado

O nitrogênio acumulado na parte aérea não foi afetado pelas doses de N e inoculações (Tabela 16). Por outro lado, houve efeito principal da inoculação para o N absorvido pelas raízes. O N acumulado nas raízes foi 21% superior quando as plantas não receberam inoculante. A redução da massa seca de raiz nos tratamentos com inoculação (Tabela 15) pode ser responsável pela menor absorção de N pelas raízes (Tabela 16). Mesmo com a inoculação do isolado FE 22, que apresentou alta produção de N *in vitro* em trabalho realizado por Neves (2009), não houve acréscimo no acúmulo de N da parte aérea e radicular. Este resultado pode ter sido influenciado pela interação planta-bactéria ou ainda devido ao isolado não expressar na planta seu potencial de fixação de N. Genótipos de arroz recebem diferentes contribuições da fixação de N pelas bactérias, sendo alguns mais eficientes que outros (CAMPOS et al., 2003). Esta característica enfatiza a importância da interação planta-bactéria no sucesso da associação.

Tabela 16. Nitrogênio acumulado na parte aérea e radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Parte aérea			
	(mg pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	50,8	3	0	0
UDESC AI 27	48,8	-1	-1	1
UDESC FE 22	47,5	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	53,4	-1	2	0
Probabilidade	Ns			
Inoculações	Raízes			
	(mg pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	23,6	3	0	0
UDESC AI 27	18,0	-1	-1	1
UDESC FE 22	21,8	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	16,4	-1	2	0
Probabilidade		0,025*	0,118 ns	0,144 ns

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo a 5%.

2.5.3 Parâmetros morfológicos de parte aérea

Não houve influência dos tratamentos sobre o estágio de desenvolvimento em que se encontravam as plantas no momento da colheita. Todas elas apresentavam-se no estágio V10 da escala de Counce et al. (2000) quando foram colhidas.

O número de folhas verdes não diferiu quando as plantas de arroz foram ou não inoculadas (Tabela 17). Para as doses de N, o número de folhas verdes foi menor para a dose de 30 mg kg⁻¹ de N quando o isolado UDESC FE 22 foi inoculado.

O número de folhas senescidas variou para as diferentes inoculações e doses de N aplicadas (Tabela 17). Quando as plantas receberam metade da dose de N recomendada, verificou-se que quando não inoculadas as plantas apresentavam 23% mais de folhas senescidas que as que receberam inoculante. Quando as plantas foram inoculadas com o inoculante misto UDESC AI 27 + UDESC FE 22, a redução na senescência foliar foi de 24%. Para as plantas adubadas com a dose recomendada não houve diferença entre os contrastes de médias.

Tabela 17. Número de folhas verdes e senescidas da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal e duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Folhas verdes (n°)		Folhas senescidas (n°)	
	30	60	30	60
Sem Inoculação	4,5 A	4,7 A	2,2 A	1,6 B
UDESC AI 27	4,6 A	4,5 A	1,8 A	1,6 A
UDESC FE 22	4,4 B	4,7 A	1,9 A	1,7 A
AI 27 + FE 22	4,6 A	4,5 A	1,4 B	1,8 A
C1	0,93 ns	0,08 ns	0,002*	0,52 ns
C2	0,19 ns	0,54 ns	0,021*	0,32 ns
C3	0,10 ns	0,10 ns	0,53 ns	0,39 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo a 5%

Nas plantas não inoculadas, houve diferença entre doses de N. Quando elas receberam a dose recomendada o percentual de senescência foi 27% menor do que quando meia dose foi aplicada (Tabela 17). Para os inoculantes de formulações simples, não houve efeito significativo da dose de N sobre a senescência foliar. Para a inoculação do inoculante misto, a senescência foi 22% menor quando se aplicou metade da dose recomendada à cultura.

Não houve efeito significativo dos tratamentos de inoculação e adubação nitrogenada sobre o número de folhas totais e de perfilhos (Tabela 18). Um dos fatores que influenciam na emissão de perfilhos é a absorção de N (LARROSA et al., 2001). Como não ocorreram diferenças no acúmulo de N na parte aérea (Tabela 16), a emissão de perfilhos não foi afetada. Provavelmente a colheita efetuada antes do final do período de perfilhamento favoreceu a ausência de efeito significativo dos tratamentos sobre o número de perfilhos produzidos.

Tabela 18. Número de folhas totais e perfilhos da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Folhas totais (n°)	Perfilhos (n°)
Sem Inoculação	24,0 ns	4,7 ns
UDESC AI 27	25,2	4,6
UDESC FE 22	23,9	4,4
AI 27 + FE 22	23,0	4,3

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

ns não significativo a 5%.

A estatura de plantas foi afetada pelo efeito da inoculação. Verificou-se que as plantas foram 7% mais altas quando inoculadas com o isolado FE 22 do que com o AI 27 (Tabela 19). Os demais contrastes não foram significativos. Araujo (2008) não encontrou diferença na

estatura de plantas de diversos genótipos de arroz inoculadas com oito isolados de bactérias diazotróficas. Entretanto, Kuss (2006) avaliando cinco isolados e um controle verificou aumento na estatura de plantas de arroz de três cultivares do IRGA quando as plantas foram cultivadas em solução nutritiva. Já quando as plantas foram cultivadas em solo houve diferença significativa apenas para uma cultivar, sendo que um isolado promoveu aumento na estatura de planta.

O índice relativo de clorofila também foi afetado pelo efeito principal da inoculação. A inoculação com a formulação mista propiciou maior índice relativo de clorofila do que a inoculação com as formulações simples (Tabela 19). O índice relativo de clorofila se correlaciona positivamente com o teor de clorofila e o teor de N dos tecidos. Isto sugere que o teor de N na última folha completamente expandida foi maior quando utilizou-se a formulação mista na inoculação do arroz. Quando o índice é avaliado na folha bandeira do arroz, ele se correlaciona diretamente com o rendimento de grãos (TURNER & JUND,1991).

Tabela 19. Estatura e índice relativo de clorofila da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Estatura			
	(cm)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	59,4	3	0	0
UDESC AI 27	58,8	-1	-1	1
UDESC FE 22	63,4	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	59,9	-1	2	0
Probabilidade		0,226 ns	0,307 ns	0,002*
Inoculações	Índice relativo de clorofila			
		C1	C2	C3
Sem Inoculação	33,1	3	0	0
UDESC AI 27	34,1	-1	-1	1
UDESC FE 22	33,4	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	36,0	-1	2	0
Probabilidade		0,08 ns	0,01*	0,47 ns

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo

2.5.4 Parâmetros morfológicos de raiz

A área e o volume radicular foram afetados pelo efeito principal da inoculação. (Tabela 20). Estes parâmetros radiculares reduziram 21% e 23%, respectivamente, com a inoculação de bactérias promotoras de crescimento, em relação ao tratamento não inoculado. As menores área e volume de raízes contribuíram para reduzir a fitomassa radicular nos

tratamentos inoculados (Tabela 15). Já o raio médio radicular foi maior com a utilização da formulação mista AI 27+ FE 22 do que com as formulações simples.

Estes resultados podem ser explicados pela sensibilidade das raízes à alta concentração de auxinas, que pode causar efeito oposto ao desejado, pois o hormônio liberado em altas quantidades pode provocar efeitos negativos de crescimento das plantas. El-Khawas & Adachi (1999), testando *Azospirillum brasiliense* e *Klebsiella pneumoniae* em raízes de arroz, observaram um estímulo no comprimento e área radicular a pequenas concentrações de AIA. Mas com o aumento da concentração de AIA houve redução no comprimento radicular das plantas, sendo menor que no tratamento não inoculado.

Tabela 20. Área, volume e raio médio radicular da cultivar de arroz Epagri 109, submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	Área radicular			
	(cm ² pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	100	3	0	0
UDESC AI 27	82	-1	-1	1
UDESC FE 22	83	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	71	-1	2	0
Probabilidade		0,004*	0,115 ns	0,852 ns
Inoculações	Volume radicular			
	(cm ³ pl ⁻¹)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	20	3	0	0
UDESC AI 27	15	-1	-1	1
UDESC FE 22	16	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	15	-1	2	0
Probabilidade		0,001*	0,682 ns	0,400 ns
Inoculações	Raio médio			
	(mm)	C1	C2	C3
Sem Inoculação	0,41	3	0	0
UDESC AI 27	0,37	-1	-1	1
UDESC FE 22	0,39	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	0,43	-1	2	0
Probabilidade		0,493 ns	0,008*	0,223 ns

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo

O comprimento radicular não foi afetado pelos tratamentos. Este resultado contrariou os obtidos em estudos com bactérias promotoras de crescimento em arroz por Beneduzi et al. (2008), onde a inoculação de plantas com bactérias promotoras de crescimento nativas dos locais de produção de arroz do Rio Grande do Sul aumentou o comprimento radicular, mesmo as plantas sendo cultivadas por apenas 30 dias.

Por outro lado, Kuss (2006) não encontrou diferenças significativas para o comprimento radicular de plantas de arroz de três cultivares utilizadas no Rio Grande do Sul (IRGA-417, IRGA-419 E IRGA-420) que haviam ou não sido inoculadas com bactérias diazotróficas promotoras de crescimento vegetal.

2.5.5 Presença de bactérias nas raízes das plantas de arroz

A população de bactérias nas raízes das plantas de arroz foi afetada pelo efeito principal da inoculação. A presença de bactérias promotoras de crescimento vegetal no tratamento controle foi menor que nos tratamentos com inoculação quando avaliada em meio NFb (Tabela 21), confirmando a presença dos isolados inoculados nas sementes de arroz. Perin et al (2003), estudando a presença de bactérias diazotróficas em milho e arroz pelo método de imunolocalização, verificaram a ocorrência de bactérias nos tecidos de plantas que não haviam sido inoculados, comprovando o estabelecimento de bactérias nativas do solo nas plantas cultivadas e justificando a presença de bactérias no tratamento controle.

Tabela 21. Número mais provável de bactérias promotoras de crescimento vegetal (\log_{10}) obtidas a partir dos meios NFb e LGI nas raízes da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal, na média de duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	NFb	C1	C2	C3
Sem Inoculação	1,5	3	0	0
UDESC AI 27	3,3	-1	-1	1
UDESC FE 22	4,9	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	5,9	-1	2	0
Probabilidade		0,001*	0,07 ns	0,147 ns

Inoculações	LGI	C1	C2	C3
Sem Inoculação	5,2	3	0	0
UDESC AI 27	5,3	-1	-1	1
UDESC FE 22	6,4	-1	-1	-1
AI 27 + FE 22	6,5	-1	2	0
Probabilidade	ns			

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significante a 5%
ns não significante

Nas determinações com o meio LGI, a presença de bactérias foi similar para todos os tratamentos, incluindo o controle sem inoculação (Tabela 21). Isto ocorreu devido a utilização de solo não esterilizado que apresenta bactérias nativas que podem atingir populações

semelhantes às observadas nos tratamentos inoculados. Outros autores também encontraram presença similar de bactérias para tratamentos com e sem inoculação de bactérias diazotróficas (SABINO, 2007). Para a avaliação de um inoculante para o cultivo de arroz no sistema pré-germinado não é possível proceder a esterilização do solo. As características deste cultivo são dependentes das reações de redução que ocorrem no solo após o alagamento, devido a atividade microbiana no solo. Além disso, a utilização de solo não esterilizado promove um ambiente mais competitivo e semelhante às condições encontradas a campo. Contudo, a presença das bactérias não significa que as plantas estão sendo beneficiadas pela fixação biológica do N ou pela produção de fitohormônios (BODDEY, 1995).

A associação entre bactérias diazotróficas e o arroz não é tão eficiente quanto à simbiose. A alta concentração de bactérias no interior da planta não significa que elas estejam contribuindo com a nutrição nitrogenada do vegetal.

2.5.6 Nitrogênio no solo

A quantidade de nitrogênio no solo estimada antes da primeira adubação nitrogenada não diferiu entre os tratamentos, variando entre 70 e 92 mg kg⁻¹ de N. Já a quantidade de N no solo no momento da colheita das plantas foi afetada pela interação entre a dose aplicada e a inoculação. Quando as plantas não receberam inoculante, a quantidade de N no solo foi maior quando se aplicou 60 mg kg⁻¹ de N (Tabela 22). Já quando as plantas foram inoculadas com AI 27 não houve diferença na quantidade de N encontrada no solo. Para as inoculações com FE 22 e a formulação com os dois isolados a quantidade de N no solo foi maior quando se aplicou meia dose da recomendada para a cultura (Tabela 22). Possivelmente a fixação de N foi maior nestes dois tratamentos, assim como a contribuição para a nutrição das plantas, fazendo com que menos N fosse absorvido do solo.

Tabela 22. Nitrogênio no solo aos 60 dias após a semeadura da cultivar de arroz Epagri 109 submetida a inoculações com diferentes formulações de bactérias promotoras de crescimento vegetal e duas doses de N e seus contrastes de médias. Lages, SC, 2010.

Inoculações	N no solo (mg kg ⁻¹)	
	30	60
Sem Inoculação	81 B	118 A
UDESC AI 27	70 A	70 A
UDESC FE 22	92 A	75 B
AI 27 + FE 22	91 A	66 B
C1	0,11 ns	0,01 *
C2	0,27 ns	0,44 ns
C3	0,33 ns	0,55 ns

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo Teste DMS (P<0,05).

C1= sem inoculação x inoculado; C2= formulação mista x simples C3= isolado AI 27 x isolado FE 22

*significativo a 5%

ns não significativo a 5%

Não houve diferença entre as inoculações na quantidade de nitrogênio presente no solo na dose de 30 mg kg⁻¹ de N (Tabela 22). Quando foi aplicada a dose recomendada para a cultura (60 mg kg⁻¹ de N), a quantidade de N encontrada no solo foi maior para o tratamento sem inoculação.

Os resultados obtidos no trabalho evidenciam a complexidade do sistema alagado para o estudo da contribuição de inoculações com bactérias promotoras de crescimento em arroz irrigado. As alterações químicas, físicas e biológicas promovidas pelo alagamento do solo, influenciam no desenvolvimento das bactérias, reduzindo a possibilidade de resultados positivos.

2.6 CONCLUSÕES

Os isolados utilizados neste experimento inibiram o desenvolvimento vegetativo inicial da cultivar de arroz Epagri 109, tanto nas formulações simples quanto na mista.

CAPÍTULO 3

PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS

3.1 Resumo

O manejo adequado dos resíduos culturais do arroz irrigado pode contribuir com a fertilidade do solo, através da ciclagem de nutrientes e da manutenção do teor de matéria orgânica, favorecendo a sustentabilidade do sistema de produção orizícola, principalmente em áreas de monocultivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo dos resíduos culturais, com e sem fertilização nitrogenada, sobre a eficiência de absorção do N aplicado, o rendimento de grãos e componentes do arroz irrigado. O experimento foi implantado a campo, no município de Vercelli, Itália. Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo dos resíduos culturais, com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N e sem aplicação de N. Foram testados os seguintes manejos dos resíduos: AUT - incorporação da palha no outono, e preparo do solo seco e posterior alagamento com semeadura em solo inundado; PRI - incorporação da palha com aração na primavera, durante o preparo do solo seco, com posterior alagamento e semeadura em solo inundado; BRU - queima da palha logo após a colheita, preparo do solo a seco na primavera e alagamento com semeadura em solo inundado; ASC - incorporação da palha com aração na primavera, durante o preparo do solo seco, semeadura em solo seco com semente enterrada e alagamento após 20 dias. Os tratamentos foram arrançados num fatorial 4x2 com três repetições. A incorporação dos resíduos da cultura do arroz e a sua queima no outono, com semeadura em solo inundado, proporcionaram maior rendimento de grãos que a incorporação da palha na primavera, o preparo e a semeadura em solo seco. A queima dos resíduos culturais não reduziu o rendimento de grãos e a absorção de N pelas plantas de arroz. A incorporação dos resíduos próximo da semeadura reduziu a produção de biomassa e a absorção de N pelas plantas. A incorporação da palha no outono favoreceu a sua decomposição, incrementando a absorção de N pelas plantas, bem como, a eficiência de utilização do N derivado do fertilizante. O manejo dos resíduos culturais logo após a colheita favorece a obtenção de maiores produtividades e aumenta a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado, em relação a sua incorporação próxima à semeadura do arroz.

Palavras-chave: *Oriza sativa*. Restos culturais. Nitrogênio. Rendimento de grãos. Sustentabilidade.

CHAPTER 3

PADDY RICE PRODUCTIVITY AND NITROGEN FERTILIZER EFFICIENCY USE AT DIFFERENT CROP RESIDUE MANAGEMENT SYSTEMS

3.2 Summary

The proper management of crop residues of paddy rice can contribute to soil fertility through nutrient cycling and maintenance of the organic matter content, favoring the sustainability of rice production systems, especially in areas without crop rotation. The objective of this study was to evaluate the effect of different management systems of crop residues, with and without nitrogen fertilization, on rice nitrogen uptake efficiency, grain yield and components. A field experiment was set in the city of Vercelli, Italy. Treatments consisted of four management systems of crop residues, with the application of 130 kg N ha⁻¹ and without application of N. The following crop residue management systems were tested: AUT - incorporation of straw in the fall, soil tillage and subsequent flooding with sowing in flooded soil; PRI - incorporation of straw with spring plowing, during the preparation of dry soil, with subsequent flooding and sowing in flooded soil; BRU - straw burning in fall after harvest, soil tillage in spring, flooding and sowing in flooded soil; ASC – incorporation of straw with spring plowing, sowing in dry soil with seed buried and flooding 20 days after sowing. Treatments were arranged in a 4x2 factorial design with three replications. The incorporation of crop residues and its burning in fall followed by rice sowing in flooded soil promoted higher grain yield than the incorporation of straw in spring with rice sowing in dry soil. The burning of crop residues after harvesting did not reduce grain yield and nitrogen uptake by rice plants. The incorporation of crop residues close to rice sowing decreased biomass production and plant nitrogen uptake. The incorporation of straw in fall favored its decomposition, increased plant nitrogen uptake and enhanced the efficiency use of N derived from the fertilizer. The management of crop residues right after harvest favors the obtention of higher productivities and increases the efficiency use of nitrogen fertilizers in comparison to straw incorporation close to the rice sowing date.

Keywords: *Oryza sativa*. Crop residues. Nitrogen. Waste management. Sustainability.

3.3 INTRODUÇÃO

3.3.1 Considerações gerais

O arroz é o único cereal com capacidade de desenvolvimento em solo saturado ou submerso. Esta capacidade se deve à presença de estruturas que transportam o oxigênio das folhas até as raízes, os aerênquimas, que garantem a atividade metabólica mesmo na condição de solo saturado com água. O arroz irrigado ocupa 48% da área total cultivada com arroz no mundo, sendo responsável por 75% da produção mundial (FERRERO & NGUYEN, 2008).

Para o cultivo do arroz irrigado, as áreas produtoras são alagadas em diferentes momentos de acordo com cada sistema de cultivo. O alagamento pode ocorrer antes ou depois da semeadura, causando importantes alterações no solo independente da época de inundação.

3.3.2 Sistemas de cultivo

No mundo existem diversos sistemas de cultivo de arroz irrigado que variam conforme o país e a região produtora.

No Brasil também existem vários sistemas de cultivo de arroz irrigado. Um deles é o sistema convencional, onde o preparo do solo é feito sem inundação. A irrigação é iniciada a partir dos 15-20 dias após a emergência das plântulas e cessa durante o período de enchimento de grãos, quando os grãos estão pastosos. No sistema de cultivo mínimo, a semeadura é direta em solo previamente preparado, com menor revolvimento do solo do que no cultivo convencional e a irrigação é semelhante ao sistema convencional. O sistema de plantio direto segue basicamente três princípios: movimentação mínima do solo, permanente cobertura do mesmo, rotação e sucessão de culturas, sendo a irrigação semelhante ao sistema convencional. No sistema pré-germinado, o preparo do solo e a semeadura ocorrem com solo inundado e utiliza-se sementes em fase adiantada de germinação, decorrente do contato com água, oxigênio e temperatura ideal (SOSBAI, 2010).

Na Itália existem três diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado. O sistema mais utilizado nas áreas produtoras prevê o preparo e nivelamento do solo seco, com posterior alagamento e semeadura a lanço sob lâmina de água. A água permanece nos quadros até o período de enchimento de grãos. O segundo sistema utilizado prevê o preparo do solo seco,

semeadura em linha com semeadora e alagamento da área quando as plantas apresentam três a quatro folhas completamente expandidas e a área é drenada no enchimento de grãos. O terceiro sistema é utilizado apenas em regiões com problemas de irrigação das lavouras. O preparo e o nivelamento são realizados com o solo seco, a semeadura em linha com semeadora. Este sistema difere dos demais devido ao alagamento intermitente com entrada da água por três a seis vezes durante o ciclo da cultura (ROMANI, 2008).

3.3.3 Alterações do solo decorrentes do alagamento

O alagamento do solo promove mudanças físicas, biológicas e químicas, tornando-o um sistema complexo que difere dos demais sistemas de cultivo de grãos. A primeira mudança é a substituição do ar pela água nos espaços porosos (CAMARGO et al., 1999).

Sem a presença de oxigênio, ocorrem mudanças no metabolismo microbiano do solo, passando de aeróbico para o anaeróbico (LIESACK et al., 2000). Os microrganismos anaeróbicos iniciam seu desenvolvimento, utilizando moléculas inorgânicas oxidadas existentes no solo como aceptores de elétrons, em substituição ao O_2 , reduzindo os compostos inorgânicos tais como: nitrato (NO_3^-) a óxidos de nitrogênio (N_2O e NO) e N elementar (N_2), óxidos mangânicos (Mn^{3+}) a compostos manganosos (Mn^{2+}), óxidos férricos (Fe^{3+}) a compostos ferrosos (Fe^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) a sulfetos (H_2S e FeS) (PONNAMPERUMA, 1972). Estas reações de redução apresentam consequências positivas e negativas que caracterizam o cultivo em solos saturados. Como consequências positivas pode-se citar o aumento natural do pH do solo pelo consumo de H^+ , que evita a aplicação de calcário em áreas onde o alagamento ocorre antes da semeadura e aumento da disponibilidade de nutrientes como P, K, Ca e Mg, pelas alterações eletroquímicas. As consequências negativas estão relacionadas as perdas de NO_3^- por desnitrificação, o aumento da concentração de Fe e Mn algumas vezes a níveis tóxicos às plantas e a diminuição nos teores de SO_4^{2-} , que podem provocar deficiência de enxofre e toxidez por H_2S (CAMARGO et al., 1999).

Na ausência de compostos inorgânicos, os microrganismos também podem utilizar aceptores de elétrons de origem orgânica, processo caracterizado como fermentação. A fermentação é um metabolismo importante para algumas bactérias e leveduras, que transforma compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, tais como: ácidos orgânicos, alcoóis, aminas e mercaptanos. A fermentação é ainda responsável pela produção de metano, gás de efeito estufa (SAVANT E DE DATTA, 1982).

As reações que ocorrem nos solos alagados dependem das características do solo e do material orgânico presente. Os fatores que interferem na oxirredução são: quantidade de compostos que podem ser reduzidos, temperatura, pH, textura e tipo de mineral de argila predominante. Em relação às características do material orgânico, interferem a quantidade de resíduos de plantas, a qualidade do material (relação C/N e conteúdo de lignina e lipídeos) e o grau de hidratação.

3.3.4 Nitrogênio e o cultivo do arroz

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do arroz. Sua importância se deve ao fato do nutriente ser componente estrutural de moléculas essenciais ao metabolismo vegetal. O N é constituinte de muitos componentes das células, incluindo aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos (TAIZ & ZEIGER, 2009). O N é o nutriente que mais afeta os componentes do rendimento e a produtividade do arroz. Sua disponibilidade afeta o desenvolvimento da área foliar, a taxa fotossintética, o perfilhamento, o desenvolvimento das panículas, espiguetas e o enchimento dos grãos (REIS et al., 2005).

O manejo do N é muito complexo devido a sua dinâmica no solo, onde encontra-se em diferentes formas: oxidadas, gasosas, compostos orgânicos e inorgânicos, podendo estar associado a minerais do solo (NANNIPIERI & ELDOR, 2009). A dinâmica do nitrogênio é influenciada por reações químicas e biológicas. Em ambiente alagado, a condição redox torna este sistema biogeoquímico um dos mais complexos da agricultura, podendo aumentar as perdas e/ou a disponibilidade do N às plantas, dependendo do manejo dado a cultura (CUCU et al., 2011).

O nitrogênio absorvido pelas plantas pode ser proveniente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, da fixação de N_2 atmosférico (FRANCO & BALEIRO, 1999) ou da mineralização da matéria orgânica do solo (RHODEN et al., 2006).

As bactérias denominadas diazotróficas são capazes de reduzir o N_2 atmosférico a NH_3 , tornando-o assimilável às plantas que se associam a elas. Algumas associações são altamente eficientes e garantem todo o suprimento de N à planta. No caso de poaceas, como o arroz, as associações não são tão eficientes, mas a contribuição de N das bactérias às plantas pode suprir cerca de 30% da exigência da cultura (CAMPOS, et al. 2003).

A eficiência de recuperação do N aplicado em ambiente alagado pelas plantas de arroz é inferior a 50% (BIRD et al., 2001). Este baixo índice é decorrente das perdas inerentes ao sistema, através da água de drenagem das lavouras, volatilização de NH_3 e desnitrificação do

NO₃ (CASSMAN et al., 1998) e das taxas brutas de mineralização de N e imobilização microbiana.

Perdas através da volatilização de NH₃ ocorrem no momento da aplicação do fertilizante nitrogenado na lavoura, através da rápida hidrólise da uréia (principal fertilizante nitrogenado) em dias quentes, mesmo quando a adubação é feita sobre lâmina de água (DUARTE, et al 2007). A drenagem da água de irrigação, quando efetuada logo após a adubação, pode transportar N para os rios. A desnitrificação ocorre devido à drenagem dos quadros que promove a entrada de O₂ no sistema, transformando todo NH₄ em NO₃. Com o posterior alagamento do solo, os microorganismos anaeróbicos utilizam o NO₃ para obter O₂, promovendo sua redução a N₂O e N₂, que são voláteis, desaparecendo do solo poucos dias após o retorno da água. A aplicação de altas doses de N nas lavouras de arroz é comum e pode provocar contaminação dos recursos hídricos, quando manejado inadequadamente, além de elevar o custo de produção.

O N no solo encontra-se predominantemente sob formas orgânicas. Para ser absorvido pelas plantas é necessário a sua transformação para formas inorgânicas através da mineralização. O N pode ser mineralizado da matéria orgânica estável ou da decomposição de resíduos culturais. Em ambiente alagado, a decomposição da matéria orgânica é mais lenta, com baixo gasto de energia e pode contribuir com o suprimento de N as plantas de arroz (WIVUTVONGVANA & JIRAPORNCHAROEN, 2002).

A mineralização é influenciada por diversos fatores, tais como: tipo de solo, conteúdo de M.O., relação C/N, tempo de uso dos solos, pH, temperatura, umidade, secamento, congelamento, suprimento de nutrientes inorgânicos e as interações solo-planta (BLACK, 1968). Em solos alagados, a mineralização do N depende também do tempo de alagamento do solo, de eventuais ciclos de secagem e de práticas agrícolas como a gestão de resíduos da cultura (VAHL, 1999).

A imobilização é a transformação do N-inorgânico para formas orgânicas microbianas (SAVANT & De DATTA, 1982). O N incorporado a microbiota é transformado em aminoácidos que participam da síntese de proteínas durante o desenvolvimento dos microorganismos. O desenvolvimento microbiano é acelerado pela entrada de C ao sistema. No caso do arroz, isto ocorre através da incorporação dos resíduos ao solo. O resíduo do cultivo de arroz apresentam alta relação C/N, de 50/1 a 70/1 (BOCCHI, 2008). A microbiota utiliza N inorgânico do solo para seu desenvolvimento, reduzindo a quantidade de N disponível às plantas.

3.3.5 Matéria orgânica (M.O.) e várzeas cultivadas com arroz

A M.O. pode ser considerada a soma de todos os materiais orgânicos de origem biológica presentes no solo em vários estágios de decomposição (THENG et al., 1989).

A M.O. desempenha importantes funções no solo, afetando a qualidade física, química e biológica (IRRI, 1982). Em solos tropicais e subtropicais, com baixa fertilidade natural, a M.O. constitui um dos principais fatores determinantes da qualidade do solo, atuando como fonte de nutrientes para as culturas, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos, na estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e como fonte de C para a microbiota (BAYER & MIELNICZUK, 2008).

A manutenção ou a recuperação dos teores de M.O. é alcançada através do mínimo revolvimento do solo durante o preparo, reduzindo a taxa de perda e pela adição de resíduos vegetais, aumentando a taxa de adição de M.O. ao sistema. ROSA et al. (2008) verificaram que o sistema de plantio direto em várzeas cultivadas com arroz irrigado preserva os teores de C orgânico total do solo e que o sistema convencional provoca perdas de C orgânico total pelo revolvimento durante o preparo do solo.

Sistemas conservacionistas de manejo, com revolvimento mínimo do solo, utilização de plantas de cobertura e rotação de culturas, promovem a manutenção ou o incremento de M.O. no solo, mesmo em várzeas com o cultivo do arroz (NASCIMENTO et al., 2009). Porém, no sistema pré-germinado de cultivo de arroz, mais utilizado no estado de SC, ocorre intensa movimentação do solo com a aração e a gradagem. Isto, além do monocultivo de arroz realizado há décadas, sem sucessão com cultivo de coberturas no inverno, favorece a degradação da matéria orgânica (EPAGRI, 2002).

Além do sistema pré-germinado não prever o plantio de espécies de cobertura de inverno e do intenso revolvimento do solo durante seu preparo, muitos agricultores realizam a queima dos resíduos do cultivo do arroz reduzindo ainda mais a entrada de matéria orgânica fresca no sistema, podendo diminuir os estoques de C ao longo dos anos de cultivo. A queima diminui o retorno dos nutrientes contidos na palha ao solo, como C, N, P e S (PRASAD et al., 1999).

A M.O. pode ser considerada a soma de todos os materiais orgânicos de origem biológica presente no solo em vários estágios de decomposição (THENG et al., 1989). A M.O. é a principal fonte de nutrientes do solo, principalmente o N para a nutrição do arroz. A taxa de mineralização do N orgânico é de 4-5% ao ano (IRRI, 1982).

Além de ser um indicador de qualidade do solo, o teor de matéria orgânica é um dos parâmetros utilizados na recomendação de adubação nitrogenada para as culturas (SOSBAI,

2010). Apesar disto, não existem muitos estudos sobre a contribuição de N da matéria orgânica às plantas de arroz cultivadas em ambiente alagado ou sobre o teor de matéria orgânica do solo das áreas de cultivo de arroz, os quais são geralmente de monocultivo.

3.3.6 Decomposição dos resíduos culturais em ambiente alagado

Os resíduos orgânicos incorporados ao solo são utilizados por microorganismos heterotróficos como fonte de C, nutrientes e energia, processo que libera C na forma de CO₂ para a atmosfera. Apenas 20% do C total incorporado ao solo é transformado em M.O. Os resíduos do cultivo de arroz representam uma importante entrada de matéria orgânica fresca ao sistema de produção, principalmente em áreas de monocultivo, que são maioria em Santa Catarina e na região de Piemonte, na Itália.

Apesar da importância dos resíduos culturais como entrada de C no sistema, a incorporação destes ao solo próximo a semeadura, muitas vezes em ambiente alagado, pode promover redução do crescimento das plântulas devido à produção de ácidos orgânicos tóxicos (SOUZA & BORTOLON, 2002), à imobilização do nitrogênio (N) pela biomassa microbiana e pela flutuação de resíduos de palha semidecompostos. Além disso, a incorporação da palha em ambiente alagado pode aumentar a emissão de metano nas lavouras (EBERHARDT, et al 2009), um dos gases de efeito estufa.

Os ácidos orgânicos são produzidos durante a decomposição anaeróbica dos resíduos em ambiente alagado. Estes ácidos são inibidores do crescimento das plântulas com redução do peso e altura, da taxa de germinação das sementes, podendo comprometer o perfilhamento e o rendimento de grãos (CAMARGO et al., 2001). Estes prejuízos são causados pela redução da respiração aeróbica das raízes, diminuindo a absorção de nutrientes (SOUZA & BORTOLON, 2002). A produção de ácidos orgânicos varia em função do teor de matéria orgânica, da adição de resíduos ao solo, manejo dos resíduos e temperatura. Segundo Watanabe et al. (1984), o pico de liberação de ácidos ocorre entre três a 28 dias após o alagamento. Este período pode coincidir com as fases iniciais de desenvolvimento da cultura, provocando prejuízos ao seu desenvolvimento.

Os diversos sistemas de cultivo do arroz irrigado também influenciam na produção de ácidos orgânicos devido aos diferentes manejos dados ao solo e aos resíduos e aos diferentes períodos de alagamento. Bohnen et al. (2005), estudando o comportamento da produção de ácidos orgânicos em três diferentes sistemas de cultivo, verificaram que no sistema de semeadura direta foram produzidos maiores quantidades de ácidos orgânicos de cadeia curta,

em relação às quantidades do sistema convencional e pré-germinado. No sistema convencional e pré-germinado, o preparo do solo com revolvimento promove a decomposição aeróbica dos resíduos antes da entrada da água no sistema. Já no plantio direto, a decomposição dos resíduos inicia com o alagamento do solo.

Na Ásia é comum o plantio de duas a três safras ao ano. Assim, o período de preparo do solo e decomposição dos resíduos é curto, aproximadamente duas semanas. Desta forma, a decomposição anaeróbica dos resíduos do arroz é comum, sendo responsável pelo decréscimo da absorção de N pelas plantas, que ocorre devido a inibição da mineralização (OLK et al., 2007).

A incorporação dos resíduos próximo a semeadura contribui com a imobilização de N, devido a entrada de C no sistema, aumentando o crescimento microbiano que necessitará de N inorgânico para o seu desenvolvimento. Com isso, há redução da disponibilidade de N às plantas, podendo prejudicar o desenvolvimento inicial da cultura do arroz. Este processo microbiano pode ser aproveitado quando se utiliza o sistema de alagamento para o cultivo do arroz. Se a incorporação dos resíduos ocorrer antes do alagamento e com antecedência à semeadura, o N na forma de NO_3^- será incorporado a biomassa microbiana e liberado após a semeadura, evitando as perdas por desnitrificação.

A fermentação que ocorre no solo alagado apresenta efeitos importantes sobre a cultura do arroz, pois a mineralização dos compostos nitrogenados é responsável pela produção do amônio, principal fonte de N para as plantas de arroz (LIESACK et al., 2000).

Segundo Fageria & Baligar (2001), a eficiência de aplicação do adubo nitrogenado é muito baixa, representando cerca de 50% do total aplicado. Isso se deve à perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação. A utilização de N derivado de outras fontes, como matéria orgânica e resíduos culturais, é importante e proporciona economia através da redução de aplicação de fertilizantes. Contudo, há poucos estudos sobre o comprometimento da produtividade e a qualidade dos grãos produzidos em diferentes condições de manejo dos resíduos culturais do arroz irrigado.

A manutenção da palha nas lavouras de arroz é uma alternativa benéfica em relação à queima, pois garante maior absorção de N pela cultura, que é um dos principais fatores limitantes de produção (EAGLE et al., 2000). A reciclagem de resíduos do cultivo deve ser utilizada para melhorar a fertilidade do solo e garantir a sustentabilidade da produção de arroz.

3.3.7 Manejo dos resíduos culturais nas lavouras de arroz irrigado

Os resíduos culturais do cultivo de arroz representam uma importante entrada de matéria orgânica fresca que varia entre 6-10 ton ha de matéria seca (SACCO, et al 2010), principalmente em áreas de monocultivo. Estes resíduos incorporados ao solo juntamente com o seu preparo podem atuar na reciclagem de nutrientes contidos na palha. A palha de arroz pode conter 30% de N, 30% de P, 85% de K e 40-50% de S do total absorvido pela planta durante seu ciclo, além de uma pequena quantidade de Si e micronutrientes.

Práticas de manejo para a eliminação dos resíduos culturais, como a queima, ainda são realizadas pelos agricultores catarinenses, principalmente no Alto Vale do Itajaí. A eliminação da palha é utilizada com o objetivo de controlar infestantes, pragas, evitar a produção de compostos tóxicos à plântulas resultantes da fermentação e evitar a flutuação de resíduos da palha semidecompostos. A queima da palha antes do preparo do solo gera liberação de grande quantidade de CO₂ para atmosfera, além da perda do material orgânico fresco. A queima dos resíduos culturais contribui com um problema ambiental que é a poluição atmosférica e reduz a ciclagem de nutrientes contidos na palha, principalmente C e N (BIRD et al., 2001), além de K, S e Si.

A incorporação antecipada dos resíduos culturais durante o período de outono/inverno promove a adição de material fresco ao solo que será decomposto antes da entrada da água no sistema, evitando a produção de ácidos orgânicos e reduzindo a emissão de metano. Além disto, ela garante a manutenção do teor de M.O. e incorpora à biomassa microbiana o NO₃⁻ que seria perdido por desnitrificação, liberando N depois da semeadura, contribuindo para a nutrição das plantas. Cucu et al. (2011) verificaram que a incorporação da palha aumenta o N disponível às plantas, a partir dos 40 dias após a incorporação, em relação a não adição da palha ao solo, devido ao incremento na MO e a sua mineralização.

O manejo adequado dos resíduos culturais do cultivo do arroz irrigado pode contribuir com a fertilidade do solo, através da ciclagem de nutrientes, da manutenção e/ou do aumento no teor de matéria orgânica, favorecendo a sustentabilidade do sistema de produção rizícola, principalmente em áreas de monocultivo de arroz (EAGLE et al., 2000). O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo dos resíduos culturais, com e sem fertilização nitrogenada, sobre a eficiência de absorção de N pela planta em diferentes estádios de desenvolvimento, o rendimento de grãos e seus componentes para a cultura do arroz irrigado.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na Estação Experimental do Instituto G. Ferraris, localizada no município de Vercelli, na região de Piemonte, Itália. O local do experimento situa-se na latitude 45°17'47.84''N e longitude 8°25'51.41''E. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como subtropical úmido, Cfa.

O solo da área experimental é classificado como Typic Endoaquet, coarse-silty, mixed, nonacid, mesic (Soil Survey Staff, 2003) ou GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico (EMBRAPA, 2006).

Testaram-se quatro sistemas de manejo da palha e dois níveis de adubação nitrogenada. Os tratamentos de manejo da palha foram constituídos por um sistema de manejo referencial, que é o método mais utilizado na região de Piemonte (principal produtora de arroz na Itália), que se baseia na incorporação da palha no outono, através de uma aração do solo logo após a colheita e preparo do solo seco e posterior alagamento com semeadura em solo inundado (AUT); manejo com incorporação da palha através da aração na primavera, seguido do preparo do solo seco, com posterior alagamento e semeadura em solo inundado (PRI); manejo com queima da palha logo após a colheita e preparo do solo a seco e posterior alagamento com semeadura em solo inundado (BRU); e manejo com incorporação da palha na primavera, preparo do solo e semeadura em solo seco, com semente enterrada e alagamento após 30 dias (ASC). Os níveis de adubação nitrogenada foram: uma testemunha sem aplicação de nitrogênio e adubação nitrogenada com 130kg de N ha⁻¹ na forma de uréia (dose recomendada). Adicionalmente, foram também implantadas para cada sistema de manejo dos resíduos culturais parcelas com 130kg de N ha⁻¹, sendo 98% na forma de uréia e 2% de sulfato de amônio com ¹⁵N. Estas parcelas foram utilizadas para calcular a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado.

Cada sistema de manejo da palha do ensaio conduzido pela UNITO desde 2003 é constituído por quadros de 23x80m, cercados por taipas de 20 cm, nivelados, com entradas e saídas individuais para a água de irrigação. As três formas de manejo da adubação nitrogenada foram implantadas numa área de 9m² dentro de cada sistema de manejo da palha tratamento. Os tratamentos foram arrançados num fatorial (4x2) com três repetições.

A análise de solo apresentou os seguintes valores: argila= 77 g kg⁻¹; pH H₂O= 7,7; P= 34 mg dm⁻³; K= 30 mg dm⁻³; Ca= 5,6 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,9 cmol_c dm⁻³ e matéria orgânica= 23 g kg⁻¹. Para adubação de P e K foram aplicados 160kg de K₂O ha⁻¹ e 70kg de P₂O₅ ha⁻¹ em todos os tratamentos.

A semeadura das parcelas PRI, AUT e BRU foi realizada no dia 28/05/2010, um dia após a inundação do solo, sendo realizada a lanço com sementes secas (sem pré-germinação). A semeadura da parcela ASC foi realizada no dia 26/05/2010, sendo a parcela inundada após a primeira adubação de cobertura, 30 dias após a semeadura. Utilizou-se a cultivar Sirio CL de ciclo precoce (125-130 dias), destinada ao sistema de produção clearfield de controle de arroz-vermelho, com uma densidade de semeadura de 180 kg ha⁻¹.

Foram realizadas três drenagens do solo no período de cultivo. A primeira drenagem foi efetuada cinco dias após a semeadura para fixação das plântulas ao solo. A segunda drenagem foi realizada no perfilhamento (V₅) (32 dias após a semeadura) para aplicação de herbicida Beyond (metil oleato e metil palmitato), na dose de 345 g i.a. L⁻¹ (recomendado para a cultivar clearfield) e primeira adubação de cobertura com N e a terceira no final do perfilhamento (V10) (51 dias após a semeadura) para realização da segunda adubação de cobertura com N e K. No tratamento ASC foi realizada apenas uma drenagem no momento da diferenciação da panícula para adubação de cobertura, para as demais práticas o solo ainda não estava inundado. Após a última drenagem para adubação, o solo permaneceu inundado até o período de enchimento de grãos. A colheita foi realizada no dia 23/09/2010, quando os grãos atingiram 18-20% de umidade.

Foram coletadas amostras de solo de 0-20cm de profundidade em seis épocas (0, 32, 51, 77, 102 e 121 dias após a semeadura) para a determinação da quantidade de nitrogênio mineral no solo (amônio, nitrato e nitrito). Com o solo fresco foi adicionado K₂SO₄ (0,5M) para a extração do N mineral do solo. Após procedeu-se a filtração da alíquota e posterior determinação pelo método de espectrofotometria.

Foram coletadas amostras de plantas numa superfície de 25x25 cm em seis épocas (0, 32, 51, 77, 102 e 121 dias após a semeadura) para avaliação de massa seca e % de N e ¹⁵N da parte aérea, radicular e panícula. As plantas coletadas foram lavadas e depois separadas as raízes da parte aérea, e da panícula ou grãos (no período reprodutivo). As partes das plantas foram secas em estufa à 60°C até atingirem massa constante. Após, efetuou-se a pesagem para determinação da massa seca de raiz, de parte aérea, panícula ou grãos. A Tabela 23 apresenta um resumo das coletas realizadas.

Tabela 23. Data, época, umidade do solo e momento da adubação para cada coleta de solo e planta realizada durante o ciclo da cultura do arroz.

	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	5ª coleta	6ª coleta
Data	24/05/2010	25/06/2010	14/07/2010	09/08/2010	03/09/2010	22/09/2010
Época	Antes da semeadura	Segunda drenagem	Terceira drenagem	Floração	Antes da drenagem definitiva	Colheita
Umidade do solo	Seco	saturado	saturado	alagado	alagado	seco
Adubação	Antes da coleta	Após a coleta	Após a coleta			

A colheita do arroz foi realizada manualmente. Coletaram-se plantas numa área de 0,5 m² para a determinação do rendimento de grãos e seus componentes. O número de grãos por panícula e o número de grãos chochos foram contados a partir de 10 panículas escolhidas aleatoriamente em cada parcela. O material colhido foi trilhado, sendo que parte aérea e os grãos foram levados à estufa a 60°C até alcançarem massa constante para realização da pesagem. Após o material foi pesado e em seguida retirou-se uma amostra dos grãos secos para a pesagem de 1.000 grãos.

Terminadas as pesagens das amostras de parte aérea, raízes, panículas e grãos de todas as coletas, as mesmas foram submetidas à moagem por duas vezes. A primeira foi feita em moinho Retsch ZM 200 e a segunda em Moinho Tecator para posterior determinação de C e N total através do analisador elementar Carlo Erba NA 2100. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao analisador elementar Thermo Flash 2000 inserido a um espectrofotômetro de massa Thermo Delta V Advantage para determinação relação ¹⁴N/¹⁵N.

A quantidade de N absorvido pelas plantas de arroz derivado do fertilizante foi calculada utilizando dois métodos: diluição isotópica e pela diferença. O primeiro método foi calculado conforme procedimento de Eagle et al. (2001), enquanto o segundo pela diferença entre o N absorvido na parcela fertilizada menos o N absorvido na parcela não fertilizada.

As variáveis calculadas foram f (fração do N na planta que deriva do fertilizante) e FUE (eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado).

A fração do N na planta que deriva do fertilizante foi calculada pela fórmula:

$$f = (A - B) / (C - D)$$

Onde:

A = % ^{15}N nas plantas da parcela N15

B = % ^{15}N nas plantas da parcela fertilizada com N14 (abundância natural = 0,370)

C = % ^{15}N do fertilizante aplicado à parcela N15 (enriquecimento = 2,574)

D = % ^{15}N do fertilizante aplicado à parcela N14 (abundância natural = 0,366)

Depois de quantificar f, foi possível estimar a quantidade de N, expressa em kg N ha⁻¹, contida no vegetal e derivante do fertilizante, podendo estimar a eficiência de utilização do fertilizante mineral.

Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (FUE):

$$\text{FUE} = \frac{N_p \times f \times 100}{N_f}$$

Onde:

N_p = N na planta kg N ha⁻¹

N_f = fertilizante nitrogenado aplicado em kg N ha⁻¹

f = fração do N na planta que deriva do fertilizante

No método da diferença a quantidade de N derivada da fertilização foi calculada pela diferença do N removido pelas plantas na parcela fertilizada diminuindo o N removido na parcela não fertilizada.

A eficácia da utilização do fertilizante nitrogenado foi calculada através da produção de biomassa total e de grãos em relação ao fertilizante aplicado à cultura.

O N absorvido foi calculado multiplicando o teor de N no tecido pela massa seca de parte aérea ou de grãos.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente através da análise de variância. Quando alcançada a significância estatística aplicou-se o teste de Bonferroni para comparação de médias a 5% de probabilidade.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos variou em função dos sistemas de manejo dos resíduos culturais e da aplicação de N. Ele foi maior quando os resíduos culturais foram incorporados ou queimados no outono após a colheita, em relação à incorporação na primavera, durante o preparo de solo, e à semeadura em solo seco (Tabela 24). Quando se aplicou nitrogênio, o rendimento foi 42% superior ao tratamento controle (Tabela 24).

Tabela 24. Rendimento de grãos de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.

Fertilização	Tratamentos	Rendimento de grãos t ha⁻¹
Fertilizado	ASC¹	5,1 ns*
	AUT	8,3
	BRU	8,1
	PRI	7,0
Controle	ASC	3,9 Ns
	AUT	5,4
	BRU	6,0
	PRI	4,9
Médias	ASC	4,5 B**
	AUT	6,8 A
	BRU	7,0 A
	PRI	6,0 AB
Fertilizado		7,1 A
Controle		5,0 B

*ns Diferenças não significativas.

**Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Bonferroni (P<0,05).

¹ASC = semeadura em solo seco

AUT = incorporação da palha no outono

BRU = queima da palha

PRI = incorporação da palha na primavera

A queima gera perdas de nutrientes e matéria orgânica (BIRD et al., 2001) e a incorporação da palha próximo a semeadura promove a imobilização do N disponível no solo

nos primeiros dias após o alagamento (KNOBLAUCH, 2011), além da produção de ácidos orgânicos, prejudiciais aos desenvolvimento das plântulas. No entanto, o rendimento de grãos não diferiu entre a incorporação da palha e a sua queima no outono, contrariando o resultado obtido por LINQUIST et al. (2006) que verificaram maior produção de grãos de arroz quando a palha foi incorporada ao solo no inverno, em relação a queima, retirada ou manutenção da palha sem incorporação. Quando a palha foi incorporada na primavera e a semeadura realizada em solo inundado (PRI) a produção foi intermediária, possivelmente pela imobilização do N e pela liberação de ácidos orgânicos no início do ciclo. Estes fatores podem ter contribuído para uma redução de crescimento inicial das plantas de arroz. Por outro lado, Ferreira et al (2011), estudando diferentes manejos da palha de azevém na entressafra do arroz em áreas de várzeas alagadas, não encontrou diferença no rendimento de grãos para os diversos manejos aplicados.

A semeadura em solo seco, com semente enterrada, pode sofrer problemas de emergência irregular das plântulas de arroz devido a dois fatores: deficiência hídrica pela ausência de chuvas no período inicial de desenvolvimento da cultura ou elevação do lençol freático, prejudicando a germinação das sementes (SACCO et al., 2010). Desta forma, ocorre flutuação no rendimento de grãos ao longo dos cultivos na Região de Piemonte na Itália, o que explica o menor rendimento de grãos apresentado por este sistema de cultivo e manejo da palha. Considerando o ano de 2010, não ocorreu volume considerável de precipitação nos primeiros 18 dias após a semeadura do arroz (dados não apresentados) o que pode ter prejudicado a germinação das sementes e, conseqüentemente, reduzido o número de panículas por área, devido à baixa capacidade de perfilhamento das cultivares utilizadas na Itália.

O N é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do arroz. Sua disponibilidade é fator limitante de produção, sendo o nutriente que proporciona maiores respostas em produtividade (SCIVITTARO e MACHADO, 2004). Em função disto, a aplicação da dose recomendada de N mineral promoveu maior rendimento de grãos que as parcelas não fertilizadas. Este resultado era esperado devido à disponibilidade de N no solo não ser suficiente para atender a necessidade das plantas (FAGERIA et al., 2010).

3.5.2 Componentes do rendimento

O número de panículas por m² foi menor no sistema de semeadura em solo seco, em relação aos demais sistemas de manejo dos resíduos da palha (Tabela 25). Isto contribuiu para o menor rendimento de grãos registrado neste sistema de manejo (Tabela 24). A

aplicação de nitrogênio aumentou a densidade de panículas por m^2 , o número de grãos por panícula e o peso de 1.000 grãos, não interferindo sobre a percentagem de espiguetas estéreis (Tabela 25).

Tabela 25. Componentes do rendimento de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.

Fertilização	Tratamentos	Massa de 1000 grãos*		Densidade de panículas (n° m^2)	Grãos/panícula (n°)	Esterilidade (%)		
		(g)						
Médias	ASC ¹	24,8	ns*	658	B**	54	ns	11,4
	AUT	24,3		691	AB	51		11,3
	BRU	24,8		840	A	47		11,1
	PRI	24,5		692	AB	46		10,7
Fertilizado		25,2	A	750	A	56	A	11,3ns
Controle		24,0	B	660	B	44	B	11,2

*ns Diferenças não significativas.

**Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Bonferroni ($P < 0,05$).

¹ASC = semeadura em solo seco

AUT = incorporação da palha no outono

BRU = queima da palha

PRI = incorporação da palha na primavera

O peso de mil grãos é um componente variável para as cultivares de arroz cultivadas na Itália, por serem da subespécie *Oryza sativa* subsp. *japônica* (FERRERO & TINARELLI, 2008), diferentemente das cultivares utilizadas no Brasil que são *Oryza sativa* subsp. *indica*. Devido a esta característica houve aumento no peso de grãos com a aplicação de N na média dos tratamentos de manejo da palha. Além disso, o N é importante para manter a atividade fotossintética das folhas durante o enchimento de grãos, o que também contribuiu para a maior massa de grãos dos tratamentos com fertilização nitrogenada.

O número de espiguetas é um componente afetado pela adubação nitrogenada. O N é constituinte de muitos componentes celulares. Desta forma, ele afeta o desenvolvimento das espiguetas (REIS et al., 2005), fator que explica o aumento no número de grãos por panícula com a aplicação de N.

Acreditava-se que o perfilhamento seria reduzido nos tratamentos com queima da palha. Entretanto, o número de panículas por m^2 foi maior quando a palha foi queimada no outono e menor quando ela foi incorporada na primavera e o arroz semeado em solo seco. Os menores valores de panículas por m^2 na semeadura em solo seco se devem, provavelmente, à menor emergência de plântulas. A emergência de plântulas é importante para garantir um

adequado número de panículas por m² devido à característica de baixa emissão de perfilhos das cultivares de arroz utilizadas na Itália.

Swarowsky et al. (2004), estudando o manejo da palha de azevém antes do plantio da cultura do arroz e o manejo da irrigação, verificaram redução de 25% no número de panículas por m², 35% no número de grãos por panícula e 46% na massa seca para o tratamento em que as plantas de arroz se desenvolveram em ambiente de decomposição anaeróbica sem drenagem durante todo o ciclo. Os prejuízos verificados no presente estudo foram menores, possivelmente pelas drenagens realizadas no experimento durante o ciclo da cultura, retirando da lavoura os ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição anaeróbica.

3.5.3 Produção de biomassa

A biomassa produzida durante o período de desenvolvimento da cultura e coletada no momento da colheita dos grãos foi maior quando os resíduos culturais foram incorporados ou queimados no outono, em relação aos resíduos incorporados na primavera, tanto na semeadura em solo seco quanto inundado (Tabela 26). Além disso, independente do manejo dos resíduos culturais, houve um acréscimo de 60% na produção de biomassa com a aplicação de N (Tabela 26).

Tabela 26. Produção de biomassa de arroz irrigado cultivado em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.

Fertilização	Tratamentos	Produção de biomassa t ha⁻¹
Médias	ASC¹	4,6 B*
	AUT	6,5 A
	BRU	6,9 A
	PRI	5,0 B
Fertilizado		6,6 A
Controle		4,1 B

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Bonferroni (P<0,05).

¹ ASC = semeadura em solo seco

AUT = incorporação da palha no outono

BRU = queima da palha

PRI = incorporação da palha na primavera

A produção de biomassa determina a quantidade de matéria orgânica fresca que retorna ao solo depois do cultivo, sendo importante para a manutenção da M.O. do solo. A

incorporação da palha na primavera reduziu a produção de fitomassa, provavelmente pela redução no crescimento inicial das plântulas devido à produção de ácidos orgânicos na decomposição anaeróbica dos resíduos (CAMARGO et al., 2001) e ainda pela redução da disponibilidade do N aplicado antes da semeadura, devido a imobilização microbiana. A baixa produção de massa seca do tratamento com semeadura em solo seco também se deve, provavelmente, à menor emergência de plântulas e desenvolvimento inicial, pela baixa precipitação e/ou pela elevação do lençol freático durante o desenvolvimento inicial da cultura do arroz.

3.5.4 Nitrogênio absorvido

O N total absorvido pelas plantas apresentou apenas efeito significativo para os sistemas de manejo dos resíduos quando as plantas receberam adubo nitrogenado. Neste caso, a incorporação dos resíduos culturais e a queima no outono proporcionaram maior absorção de N durante o ciclo da cultura (Tabela 27).

O N acumulado na palha também variou conforme o manejo dos resíduos nas parcelas fertilizadas, sendo que a incorporação e a queima no outono apresentaram maior acúmulo (Tabela 27). Para os tratamentos que não receberam adubação nitrogenada não houve diferença entre os distintos manejos da palha (Tabela 27).

O N translocado aos grãos foi afetado pelo efeito simples da fertilização e dos sistemas de manejo (Tabela 27). Quando as plantas receberam fertilização nitrogenada, o N acumulado nos grãos foi 58% superior, devido à maior disponibilidade de N às plantas (Tabela 4). Quando a palha foi incorporada ou queimada no outono, as plantas de arroz apresentaram maior acúmulo de N nos grãos (Tabela 27).

Tabela 27. Nitrogênio acumulado na parte aérea de plantas de arroz irrigado, cultivadas em quatro diferentes sistemas de manejo da palha, com e sem fertilização nitrogenada. Vercelli, Itália, 2010.

Fertilização	Tratamentos	N kg ha ⁻¹		Total absorvido
		Palha	Grãos	
Fertilizado	ASC ¹	21,8 B**	46,4 ns*	68,2 B
	AUT	48,3 A	82,0	130,4 A
	BRU	41,4 A	75,1	116,5 A
	PRI	26,7 B	59,7	86,4 B
Controle	ASC	14,2 A	32,9 ns	47,1 A
	AUT	19,9 A	43,6	63,5 A
	BRU	22,2 A	47,7	69,9 A
	PRI	15,5 A	42,7	58,2 A
Médias	ASC	18,0	39,6 B	57,6
	AUT	34,1	62,8 A	96,9
	BRU	31,8	61,4 A	93,2
	PRI	21,1	51,2 AB	72,3
Fertilizado		34,6	65,8 A	100,4
Controle		18,0	41,7 B	59,7

*ns Diferenças não significativas.

**Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Bonferroni (P<0,05).

¹ASC = semeadura em solo seco

AUT = incorporação da palha no outono

BRU = queima da palha

PRI = incorporação da palha na primavera

A incorporação dos resíduos próximo da semeadura provavelmente estimulou a imobilização do N pela microbiota, reduzindo a quantidade de N disponível às plantas (KNOBLAUCH, 2011), reduzindo a absorção. Já os baixos valores para o tratamento semeadura em solo seco ocorreram devido à redução da massa seca, pelos problemas no desenvolvimento inicial da cultura e, conseqüentemente, no acúmulo de N.

Quando as plantas não receberam fertilização nitrogenada não houve diferença no acúmulo de N na planta de arroz, devido à baixa disponibilidade de N.

Quando as plantas receberam a fertilização nitrogenada recomendada houve diferença entre os tratamentos de manejo da palha para o N total acumulado e N na palha, sendo que não apresentaram diferenças no N acumulado nos grãos. Este resultado é explicado pela capacidade das plantas de arroz em remobilizar N das folhas e dos colmos para os grãos, através de sua senescência (SILVEIRA & MACHADO, 1990). Desta forma, mesmo com a

menor absorção de N pelas plantas, os grãos receberam a mesma quantidade em todos os tratamentos de manejo da palha.

3.5.5 Evolução dos parâmetros avaliados em função do ciclo de crescimento da cultura

3.5.5.1 Biomassa

As curvas de crescimento demonstram a evolução dos parâmetros produtivos em função do tempo. Quando as parcelas receberam N, os tratamentos compostos pela queima (BRU) e pela incorporação da palha no outono (AUT) apresentaram maiores valores de acúmulo da biomassa total que os tratamentos com incorporação em solo seco (ASC) e incorporação da palha na primavera (PRI), a partir da terceira coleta (Figura 10). O ponto zero, se refere ao momento da semeadura, quando não havia produção de fitomassa. Na segunda época de coleta, aos 30 dias após a semeadura, a quantidade de biomassa é pequena e não foi possível verificar diferenças entre os diferentes manejos da palha. Knoblauch (2011), estudando a incorporação da palha de arroz em diferentes períodos antes do alagamento do solo, verificou que a concentração máxima do ácido acético, para a maioria dos tratamentos ocorreu aos 15 dias após o alagamento, desaparecendo aos 23 dias. Como a coleta foi realizada aos 30 dias após a semeadura e/ou alagamento as plantas de arroz podem ter recuperado sua condição inicial, tendo em vista que o pico de toxidez ocorreu 15 dias antes. Outro fator a considerar é que as concentrações do ácido podem não ter atingido valores capazes de afetar o crescimento da parte aérea (Souza e Bortolon, 2002).

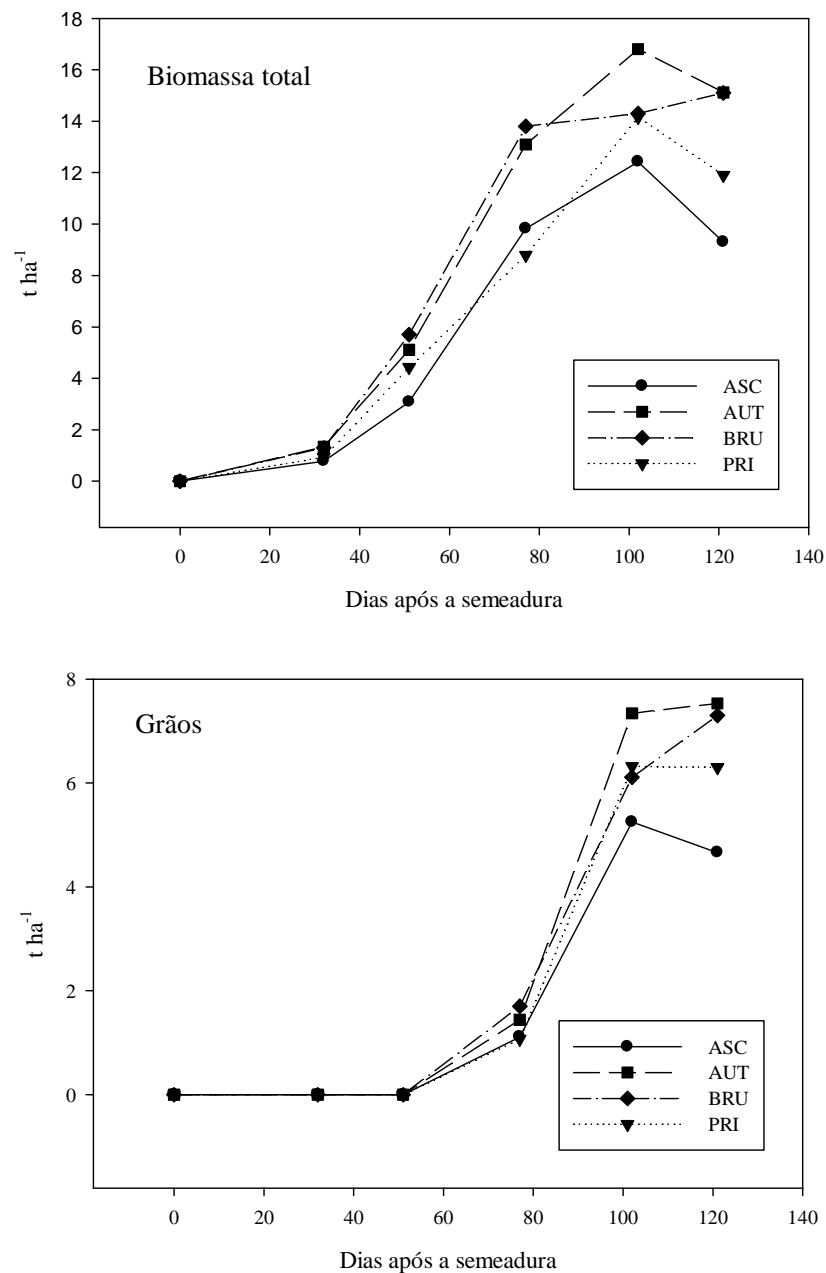


Figura 10. Curva de crescimento da biomassa total e dos grãos de arroz para os quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.

Para os tratamentos não fertilizados com N, as plantas também apresentaram menor acúmulo de biomassa total nas coletas feitas a partir da floração (4ª coleta) quando a palha foi incorporada na primavera (PRI e ASC), em relação ao manejo feito no outono (Figura 11). Estes resultados mostram que a imobilização do N pode limitar a produção de biomassa não apenas no início do ciclo, mas durante toda a estação de crescimento.

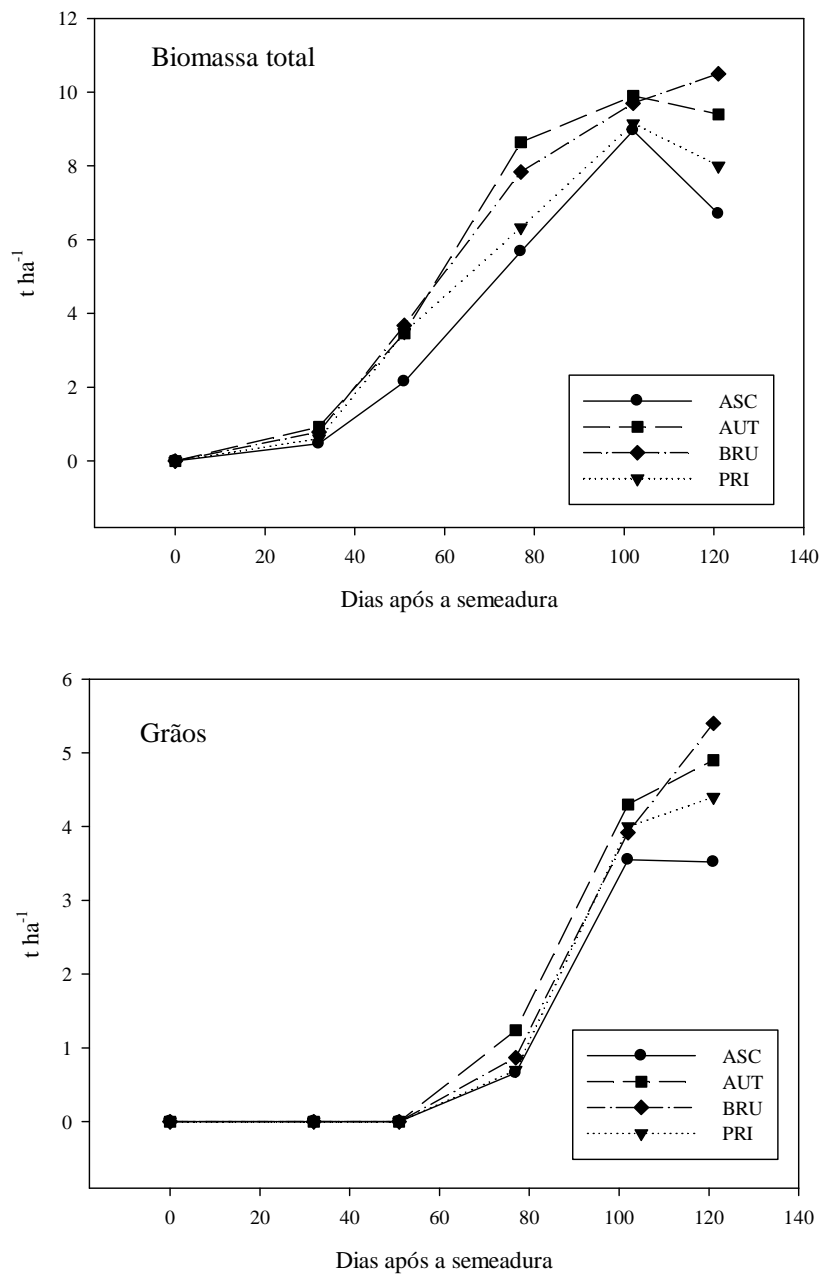


Figura 11. Curva de crescimento da biomassa total e dos grãos de arroz para os quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.

A maior produção de fitomassa verificada a partir dos 30 dias após a semeadura para os tratamentos AUT e BRU confirma a importância de realizar o manejo da palha com antecedência, evitando a imobilização do N no momento de maior necessidade de N pela cultura e reduzindo possíveis prejuízos pela fitotoxicidade por ácidos orgânicos. Não foi possível verificar prejuízos ao crescimento das plantas pela produção de ácidos orgânicos nas coletas iniciais. Este resultado por ter sido em decorrência de dois fatores: pelo período de coleta que pode ter ocorrido dias após o pico de concentração dos ácidos; ou pela produção

não ser suficiente para causar danos ao crescimento das plantas. A umidade, aeração e temperatura são os principais fatores que determinam a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos (LINQUIT et al., 2006). A decomposição da palha em ambiente alagado (anaeróbico) com posterior cultivo do arroz pode prejudicar o desenvolvimento da cultura não apenas nos estádios iniciais, mas em todo o ciclo da cultura.

Eagle et al. (2000) verificaram maior produção de massa seca para o tratamento com incorporação da palha no inverno, em relação a queima. Estes autores também verificaram maior produção de grãos para a cultura do arroz quando a palha foi incorporada no inverno e as plantas não receberam fertilização nitrogenada.

A Figura 12 apresenta o percentual de N absorvido pelas plantas de arroz ao longo do ciclo de crescimento da cultura para os diferentes manejos da palha quando as plantas receberam fertilizante nitrogenado.

A fertilização nitrogenada aumentou a concentração de N no tecido da biomassa para todos os tratamentos, menos no tratamento PRI. No tratamento com incorporação da palha na primavera (PRI) quando as plantas receberam fertilização nitrogenada o percentual de N no tecido da biomassa foi similar ao não fertilizado em todas as épocas de coleta (Figuras 12 e 13). Isto possivelmente se deveu a imobilização do N pela microbiota, reduzindo a absorção pela planta, ou ainda, pela redução de absorção de N causada pela fitotoxicidade por ácidos orgânicos produzidos pela decomposição anaeróbica.

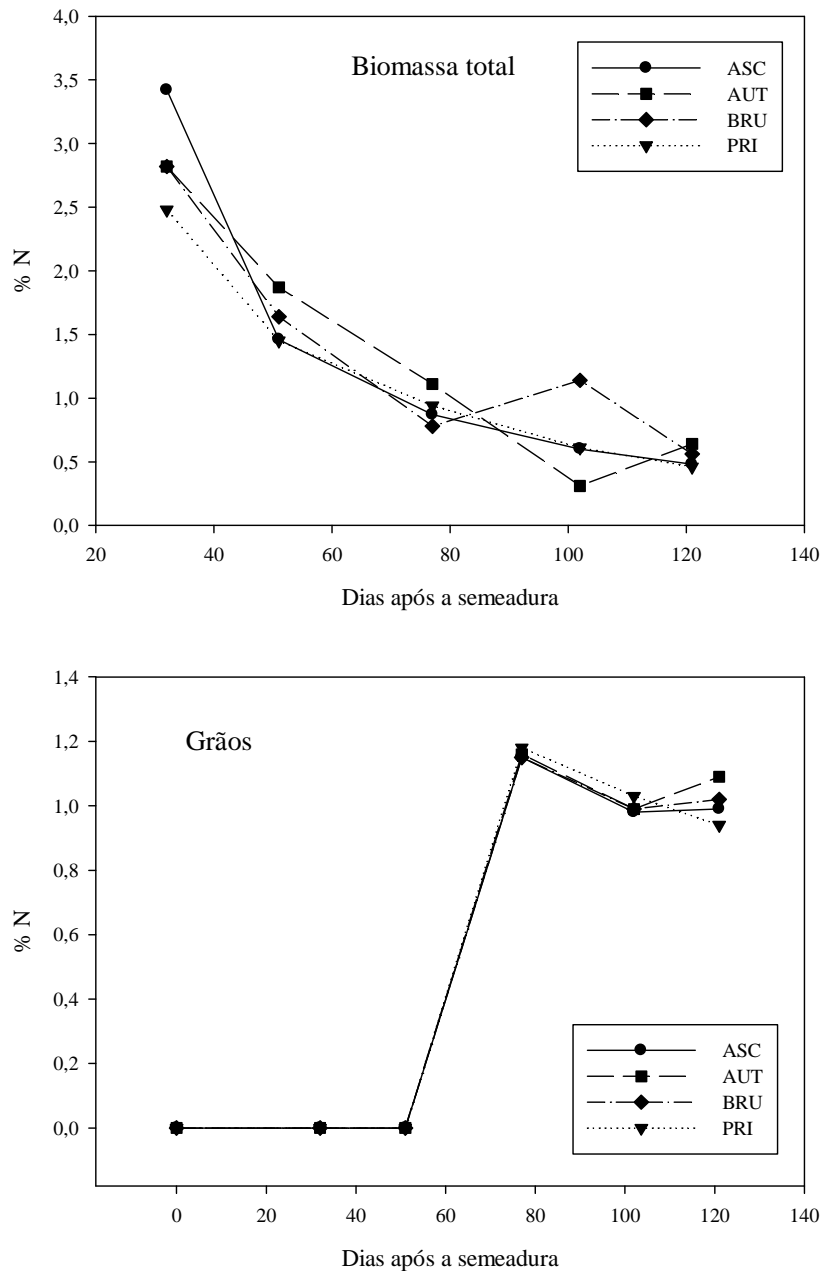


Figura 12. Curva de concentração de N na planta e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.

A concentração de N na biomassa total não diferiu para os diferentes manejos da palha quando as plantas de arroz não receberam fertilização nitrogenada (Figura 13). A concentração nos grãos foi similar para os tratamentos AUT, BRU e PRI e menor para ASC (Figura 13).

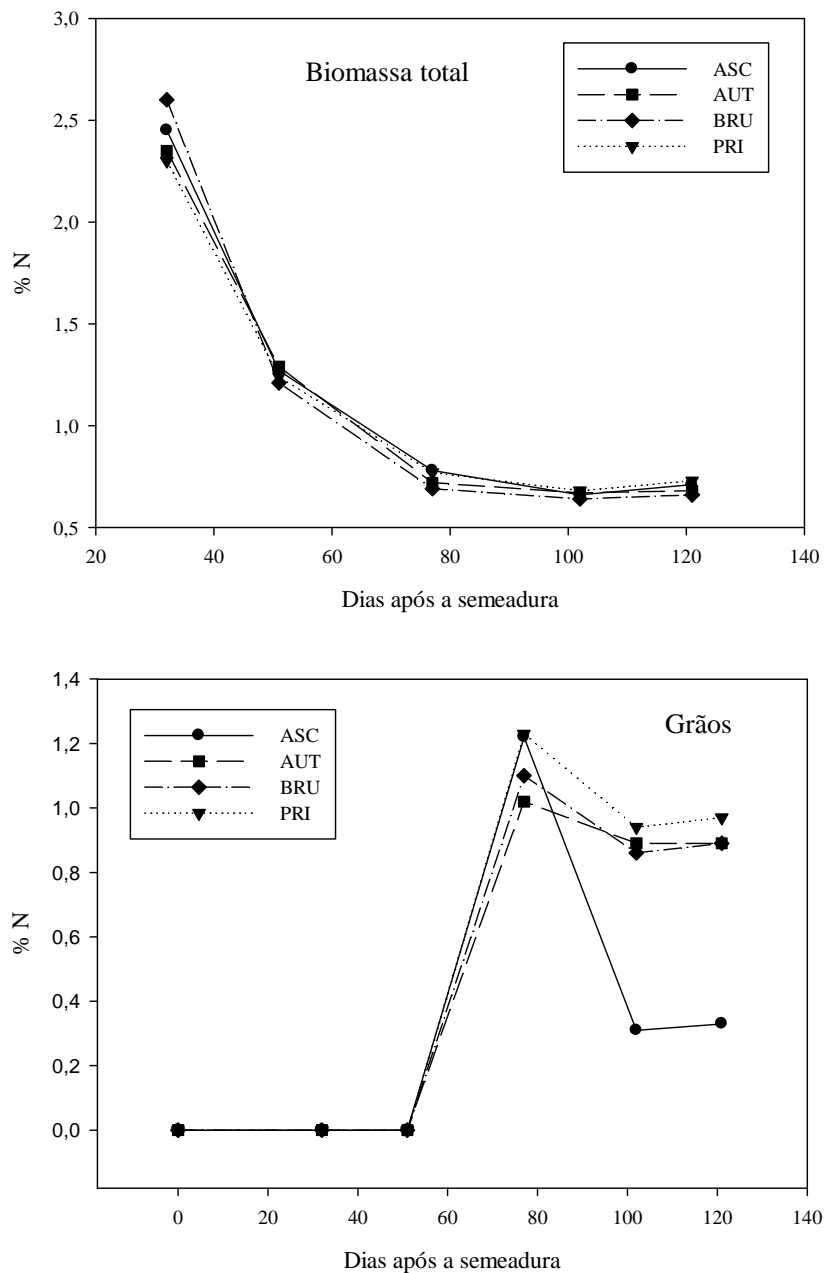


Figura 13. . Curva de concentração de N na planta e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.

Para a biomassa total de todos os tratamentos, independente se fertilizado ou não, os maiores valores de concentração de N no tecido foram verificados na primeira coleta (Figuras 12 e 13). Quando as plantas iniciam o desenvolvimento, apresentam pouca biomassa, os tecidos são mais tenros e a concentração de N é maior.

A Figura 14 apresenta o acúmulo de N nas plantas de arroz (biomassa total e grãos) para os diferentes manejos da palha quando fertilizadas. A quantidade de N acumulada nas

plantas depende da quantidade absorvida durante o ciclo da cultura e da produção de biomassa e grãos.

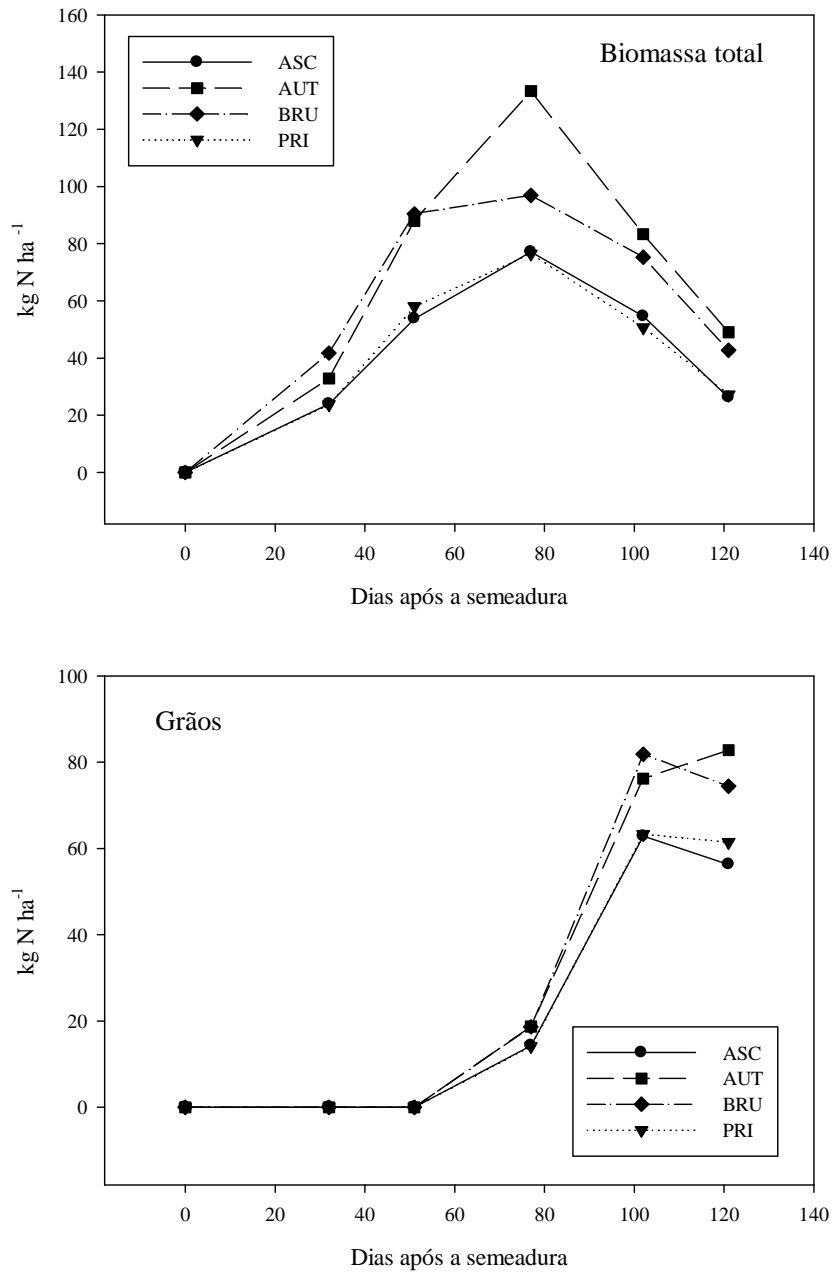


Figura 14. Curva de absorção de N, biomassa total e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.

O acúmulo de N na biomassa e nos grãos foi maior para os tratamentos com a incorporação e queima da palha no outono do que nos tratamentos com incorporação da palha na primavera e semeadura em solo seco, quando as plantas de arroz foram fertilizadas (Figura

14). O maior acúmulo de N nos tratamentos AUT e BRU foi determinado por dois fatores: a maior produção de biomassa e a maior disponibilidade de N no solo.

A partir da terceira coleta, o acúmulo de N na biomassa total passou a ser maior para o tratamento com incorporação da palha no outono, em comparação com a queima da palha (Figura 14). Linqvist et al. (2006) verificaram que a queima reduziu a disponibilidade de N no solo, em comparação ao tratamento em que a palha foi mantida no solo, incorporada ou não no inverno. Em experimento conduzido na Califórnia, Eagle et al. (2001), avaliando a incorporação e queima da palha no inverno, verificaram que no primeiro ano o tratamento com incorporação da palha sofreu imobilização do N, reduzindo a disponibilidade de N a cultura. Porém, a partir do segundo, ano os autores verificaram que a incorporação da palha promoveu incremento na disponibilidade de N em relação ao tratamento com queima. No quarto e quinto ano de estudo, a incorporação da palha aumentou em 13 e 23 kg de N ha⁻¹, respectivamente, o N total absorvido pelas plantas de arroz.

Para todos os tratamentos o pico de acúmulo de N ocorreu na floração das plantas de arroz, quando fertilizadas ou não, devido ao maior acúmulo de fitomassa (Figuras 14 e 15).

O N absorvido nas parcelas não fertilizadas representa a disponibilidade natural de N mineralizada da matéria orgânica decomposta dos resíduos culturais (Figura 15). A semeadura em solo seco apresentou os menores valores de acúmulo de N até a floração, para a biomassa total e na colheita para os grãos (Figura 15).

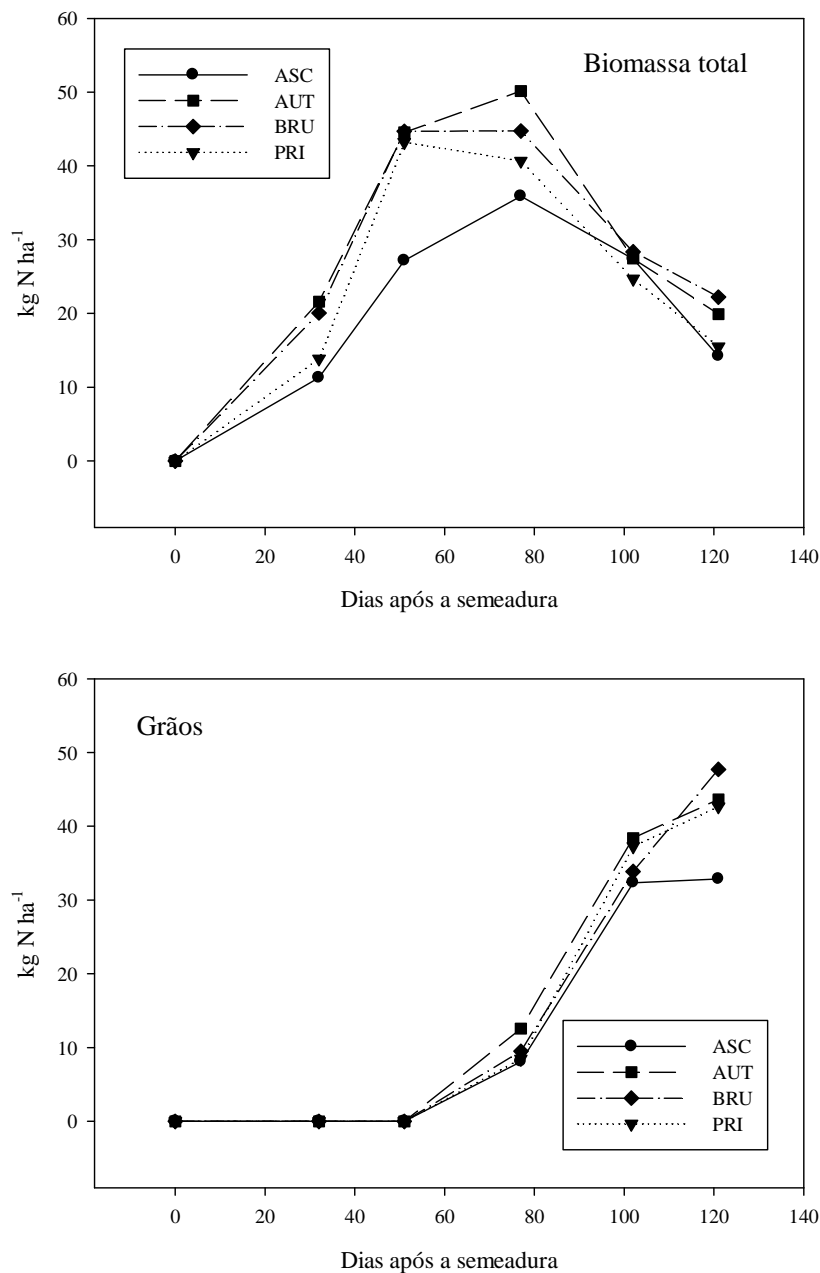


Figura 15. Curva de absorção de N, biomassa total e nos grãos de arroz nos quatro sistemas de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas não fertilizadas.

A absorção de N nos primeiros 30 dias após a semeadura foi maior quando a palha foi incorporada ou queimada no outono, devido à maior disponibilidade de N, em relação ao tratamento com incorporação da palha na primavera. Com a incorporação da palha próximo da semeadura ocorreu imobilização do N do solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Após 50 dias da semeadura não se verifica diferença entre os tratamentos AUT, BRU e PRI. Os menores valores de N acumulado nos grãos da parcela com semeadura em solo seco foram devidos ao menor rendimento de grãos apresentado neste sistema.

3.5.6 Eficiência e eficácia da utilização do fertilizante nitrogenado

O manejo dos resíduos culturais do arroz é extremamente importante, pois influencia diretamente a eficiência e eficácia da utilização do fertilizante nitrogenado aplicado às lavouras.

Os dados de eficiência e eficácia apresentados consideram o método de diluição isotópica através da utilização do ^{15}N e pelo método da diferença entre fertilizado e não fertilizado.

A absorção do N calculada pelo método da diferença fornece um dado que indica quanto o solo fornece de N à cultura do arroz, considerando os diferentes manejos dados a palha após a colheita. Com o método de diluição isotópica, o dado indica quanto do N absorvido pela planta provém do fertilizante nitrogenado (EAGLE et al., 2001).

A Figura 16 apresenta o percentual do N proveniente do fertilizante, em relação à quantidade total absorvida pela cultura. Os tratamentos com incorporação da palha ao solo, AUT e PRI, apresentam valores menores de absorção de N do fertilizante, possivelmente devido à absorção de N mineralizado da matéria orgânica do solo. Pan et al. (2009) verificaram que a manutenção da palha nas lavouras de arroz e a fertilização nitrogenada aumentaram os valores de N no solo, possivelmente pela maior atividade microbiana pela incorporação do C ao sistema. Para os tratamentos BRU e ASC, o percentual de N derivado do fertilizante foi maior, devido à menor disponibilidade de N orgânico.

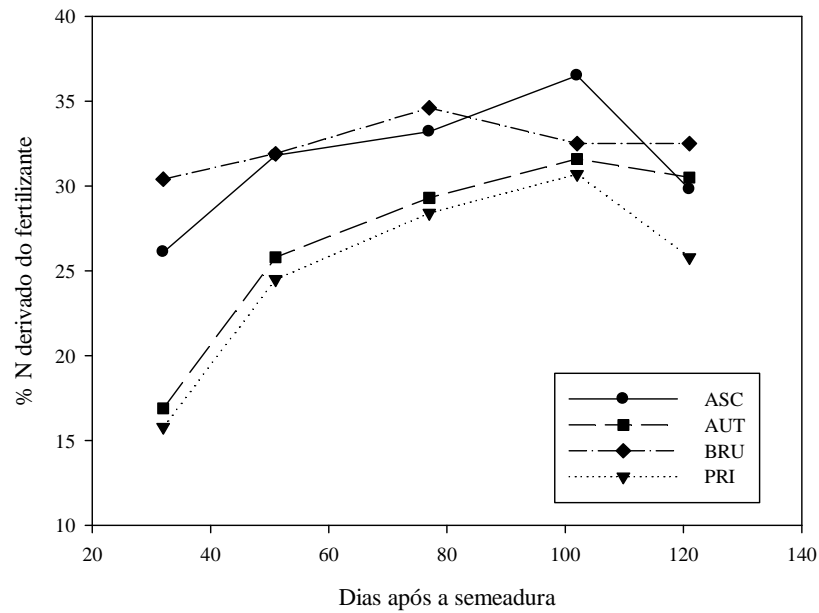


Figura 16. Curva de absorção de N pelas plantas de arroz derivado da fertilização mineral nos quatro tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), calculado pelo método isotópico ^{15}N .

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (FUE-N) aumentou com o tempo até 100 dias em resposta à aplicação parcelada do fertilizante (Figura 17). Os valores máximos atingidos quando as plantas estavam com 102 dias foram de 37% pelo método de diluição isotópica e 72% pelo método da diferença. Valores similares foram encontrados por Eagle et al. (2001).

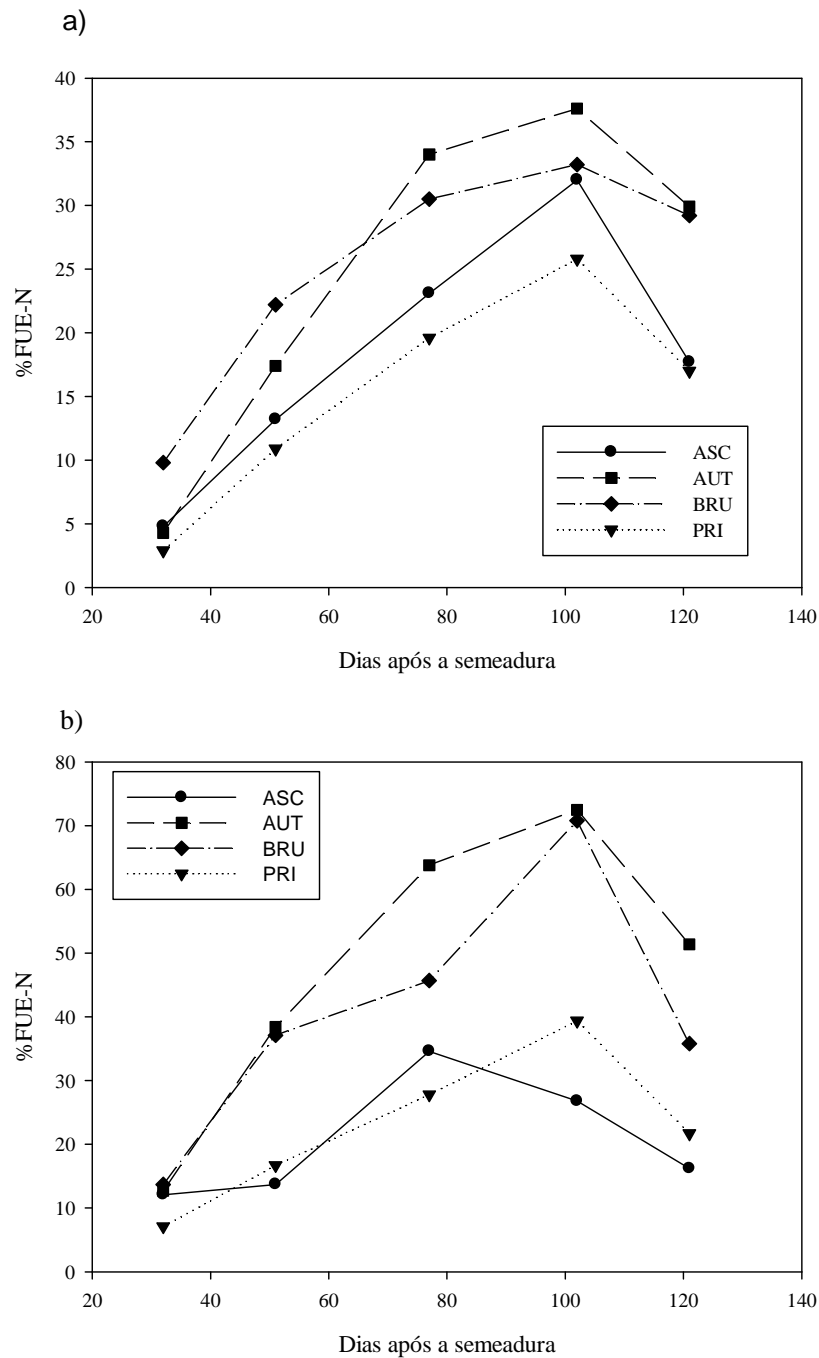


Figura 17. Curva de eficiência da fertilização nitrogenada mineral (FUE-N) durante a estação de crescimento da cultura do arroz para os tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT=incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), calculado a) pelo método isotópico ¹⁵N e b) método da diferença.

Quando a palha foi incorporada na primavera (PRI e ASC) os valores de FUE-N foram menores, independente do método utilizado para o cálculo (Figura 17), indicando grande imobilização do N proveniente do fertilizante e do N mineralizado da matéria orgânica, causado pela incorporação tardia da palha.

Para o tratamento com semeadura em solo seco (ASC), o comportamento do N foi similar à incorporação da palha na primavera e semeadura em solo inundado (PRI) (Figura 17). Isto ocorreu devido à incorporação da palha no momento do preparo do solo (pouco antes da semeadura), possibilitando a decomposição aeróbica acelerada pela elevação da temperatura, contribuindo para a atividade microbiana. Porém, isto não foi suficiente para garantir um bom teto produtivo.

No tratamento com queima da palha (BRU), a não adição de matéria fresca ao solo promoveu maior absorção de N derivado do fertilizante no primeiro período da estação de crescimento da cultura do arroz, pois não houve imobilização do N do fertilizante. Porém, a partir da metade do ciclo da cultura a não remobilização do N da matéria orgânica lábil reduziu a absorção do N derivado do fertilizante, levando a uma menor eficiência máxima, em relação ao tratamento com incorporação da palha no outono.

Quando a palha foi incorporada no outono (AUT), a decomposição aeróbica durante o período anterior a semeadura promoveu a mais rápida e mais elevada mobilização de fertilizante nitrogenado à cultura do arroz, aumentando a disponibilidade de N à cultura durante a estação de crescimento. Segundo Eagle et al. (2000 e 2001), o N adicionado pela fertilização é afetado pelo manejo da água e dos resíduos culturais.

A Figura 18 apresenta os dados da eficácia do fertilizante nitrogenado. Ela apresenta a produção de biomassa total e de grãos, em relação ao fertilizante aplicado à cultura nos vários períodos da estação de crescimento, para os quatro tratamentos de manejo da palha.

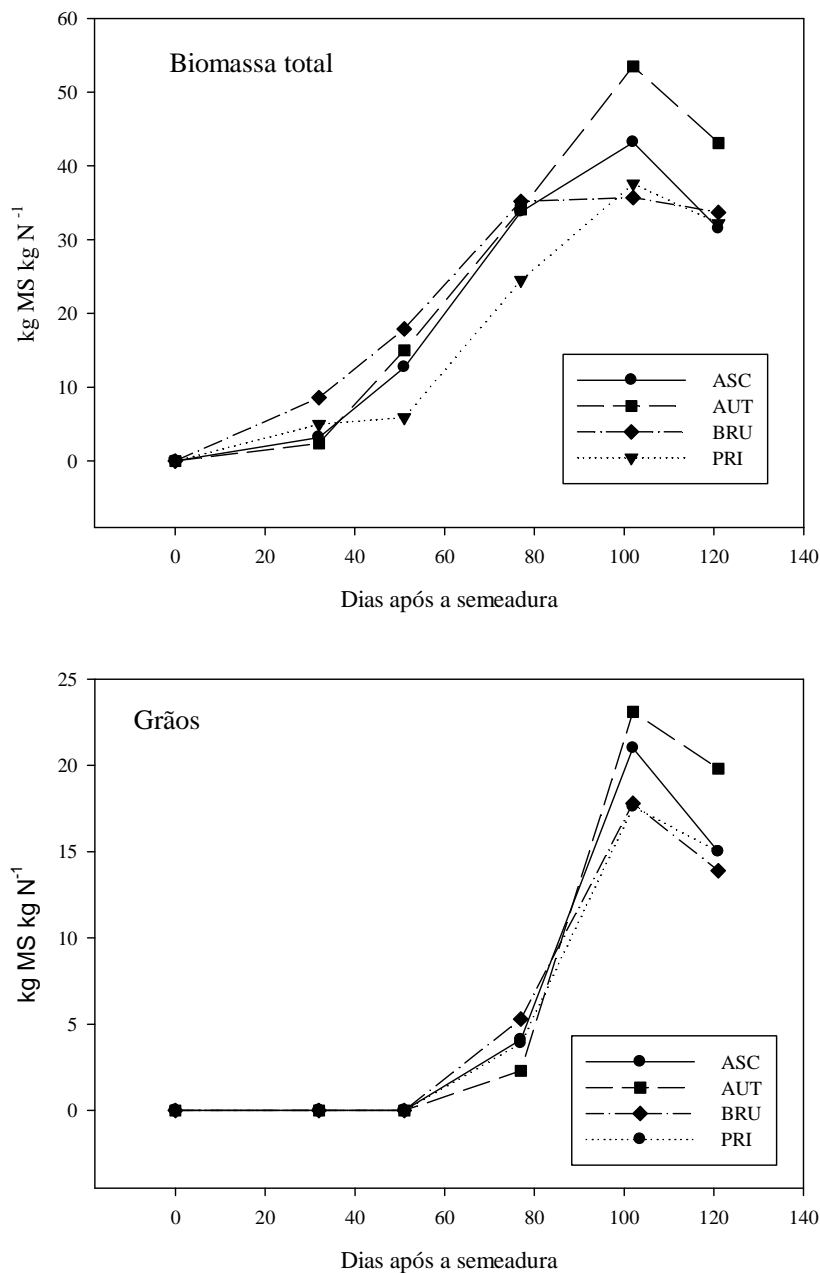


Figura 18. Eficácia da fertilização nitrogenada mineral relativa à produção de grãos e biomassa total do arroz para os quatro tratamentos de manejo da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera).

No início do desenvolvimento da cultura, 30 dias após a semeadura, o tratamento que apresentou os melhores valores de eficácia do fertilizante nitrogenado foi a queima (Figura 18). A queima da palha promove a perda de grande quantidade de C e evita a imobilização do N. A palha de arroz apresenta alta relação C:N (60:1), com a queima a relação diminui, reduzindo a imobilização do N. Desta forma, todo o N derivado do fertilizante é absorvido pelas plantas, promovendo o crescimento vegetal e aumentando a biomassa total. Com o desenvolvimento da cultura, o tratamento AUT passou a apresentar os maiores valores de

eficácia tanto para a produção de biomassa quanto para a produção de grãos, devido a liberação do N contido na palha que é aproximadamente 0,6%.

3.5.7 Nitrogênio mineral no solo

A quantidade de amônio presente no solo na primeira coleta, realizada antes da inundação para a semeadura, foi maior no tratamento com queima da palha (BRU), seguido pela incorporação da palha no outono (AUT), com incorporação da palha na primavera (PRI) e incorporação em solo seco (ASC) (Figura19 a).

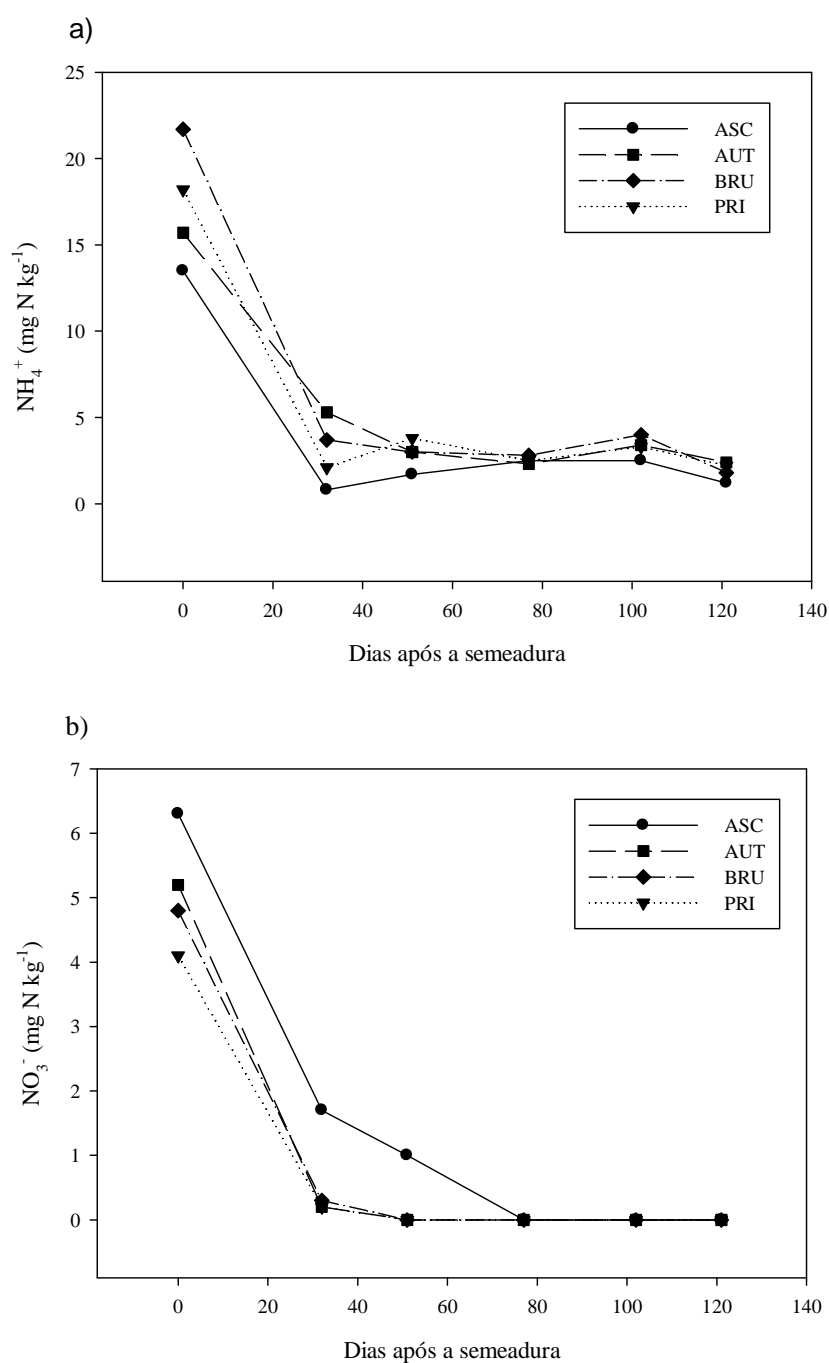


Figura 19. Quantidade de nitrogênio amoniacal (a) e nítrico (b) no solo em função dos diferentes manejos da palha (ASC=semeadura em solo seco, AUT= incorporação da palha no outono, BRU= queima da palha e PRI= incorporação da palha na primavera), nas parcelas fertilizadas.

A presença de nitrato no solo na primeira coleta se deveu ao fato de que o preparo do solo ocorreu em solo seco e a coleta foi realizada antes da inundação (Figura 19 b). A partir da segunda coleta, apenas o tratamento com semeadura em solo seco apresentava nitrato no solo, reduzindo até o momento onde a parcela foi inundada e a concentração diminui a valores próximos a zero (Figura 19b). A redução gradativa da concentração do nitrato no tratamento ASC foi devido à absorção de N pelas plantas de arroz e a inundação aos 32 dias promoveu a

desnitrificação do nitrato, reduzindo-o a valores próximos de zero. A desnitrificação é o processo de redução do NO_3^- a N_2O , NO e N_2 , por microrganismos devido à ausência de O_2 no solo promovida pela inundação (SAVANT & DE DATTA, 1982). Este processo promove a perda do nitrato presente no solo para a atmosfera.

Comparando o manejo dos resíduos culturais do arroz utilizados na Itália e em Santa Catarina, constatam-se alguns pontos importantes em comum e outros divergentes. No sistema pré-germinado utilizado em Santa Catarina, a incorporação dos resíduos culturais na primavera, próximo a semeadura, possivelmente traria prejuízos maiores ao desenvolvimento da cultura. Esta suposição se deve ao preparo do solo no sistema pré-germinado ocorrer em lâmina de água. Assim, a decomposição da palha ocorreria toda em anaerobiose, aumentando a produção de ácidos orgânicos, causando toxidez às plântulas, prejudicando o crescimento inicial e o rendimento de grãos. Além disso, as plântulas poderiam ser prejudicadas pela redução da disponibilidade de N no solo, devido à imobilização microbiana, sendo que no sistema pré-germinado a primeira aplicação de N ocorre 20 dias após a semeadura, diferentemente do manejo utilizado na Itália com aplicação de N na semeadura. Possivelmente o comportamento da cultura quando os resíduos são queimados antes do preparo do solo, logo após a colheita, seria semelhante, sem prejuízos ao rendimento de grãos, mas diminuindo a ciclagem de nutrientes e a manutenção do teor de matéria do solo, importante para todos os sistemas de monocultivo do arroz. A incorporação antecipada da palha garante a decomposição aeróbica também no sistema pré-germinado, além de imobilizar o nitrato disponível no solo antes do alagamento, que seria perdido por desnitrificação, mineralizando-o no início do desenvolvimento da cultura. Já o sistema que prevê a incorporação, o preparo e a semeadura em solo seco é semelhante ao sistema convencional utilizado principalmente no Rio Grande do Sul, porém com menos problemas com elevação do lençol freático que muitas vezes causa problemas de germinação na Itália, afetando a produtividade das lavouras de arroz.

Um ponto importante a destacar é o de que os tetos produtivos observados no experimento conduzido na Itália foram inferiores aos observados em Santa Catarina. As cultivares utilizadas na Itália são de ciclo precoce, devido a menor estação de crescimento, o que explica os menores rendimentos de grãos. Já no Alto Vale do Itajaí, é comum a obtenção de rendimentos de grãos superiores a 10 t ha^{-1} . Os maiores índices de produtividade das lavouras de arroz catarinenses podem amplificar os efeitos do manejo inadequado dos resíduos culturais sobre o desempenho agrônômico da cultura.

3.6 CONCLUSÕES

A incorporação dos resíduos próximo da semeadura reduz a produção de biomassa e a absorção de N pelas plantas, tanto na semeadura em solo seco quanto em solo inundado.

A incorporação dos resíduos da cultura do arroz ou a sua queima no outono, com semeadura em solo inundado, proporcionam maior rendimento de grãos que a incorporação da palha na primavera e a semeadura em solo seco.

A queima dos resíduos culturais após a colheita não reduz o rendimento de grãos e a absorção de N pelas plantas de arroz.

A queima e a incorporação da palha no outono aumentam a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi avaliar diferentes estratégias de manejo sustentáveis, visando a maior disponibilidade de N à cultura do arroz irrigado, com redução dos custos de produção.

Os dois primeiros capítulos deste estudo referem-se aos experimentos realizados no CAV-UDESC, em Lages, SC, com o objetivo de avaliar os efeitos da inoculação de bactérias diazotróficas promotoras de crescimento em plantas sobre a cultura do arroz irrigado, utilizando isolados encontrados nas lavouras de Santa Catarina.

Os resultados observados nos dois experimentos com bactérias diazotróficas não foram consistentes, em termos de indicar estímulo ao crescimento de parte aérea e de raízes promovido pelos isolados testados, principalmente da cultivar Epagri 109. É possível que a colheita precoce dos dois ensaios tenha contribuído para isto. Estes trabalhos confirmaram a importância do estudo da interação planta-microrganismo, devido ao comportamento específico dos diferentes isolados e dos diferentes genótipos de arroz. Esta relação é fundamental para definir um inoculante eficiente à base de *Azospirillum* spp para a cultura do arroz.

Somente estes estudos não foram suficientes para avaliar todos os isolados de bactérias encontrados nas lavouras de Santa Catarina. A avaliação de um maior número de isolados é importante para selecionar os melhores para a produção de um inoculante destinado a cultura. Porém, este processo é demorado e não foi possível realizá-lo no período do doutorado. Resultados mais consistentes estão sendo encontrados quando o arroz é cultivado em terras altas, sem irrigação por alagamento. O alagamento proporciona diversas alterações no solo. Essas alterações físico-químicas possivelmente mitigam a identificação dos benefícios da utilização deste tipo de bactérias associadas à cultura.

O terceiro capítulo refere-se ao estudo realizado na UNITO, em Turim, na Itália, onde se avaliou quatro diferentes sistemas de manejo dos resíduos culturais do arroz após a colheita e a sua influência sobre a safra posterior em dois níveis de disponibilidade de nitrogênio.

Verificou-se que uma prática não recomendada, como a queima da palha, não reduziu a produtividade do arroz, apesar de diminuir a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado

aplicado à lavoura. Deve-se destacar que os resultados apresentados nesta tese se referem apenas a uma safra. Para entender melhor os efeitos do manejo dos resíduos culturais sobre a safra posterior, este experimento é realizado desde 2003 na mesma área pela UNITO. São avaliados outros efeitos importantes, como o comportamento da matéria orgânica do solo ao longo dos anos, que ajudam a explicar a dinâmica do N nas lavouras de arroz.

O arroz é cultivado ano após ano sobre a mesma área, praticamente sem rotação de culturas ou utilização de espécies de cobertura no inverno, pela dificuldade de encontrar espécies adaptadas a estas condições. A adoção de sistemas conservacionistas, através da utilização de bactérias diazotróficas e do manejo adequado dos resíduos culturais, é um desafio importante em áreas de várzea. Este tipo de estratégia pode promover benefícios ao solo através da melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, B.; SABRI, A.N.; LJUNG,K.; HASNAIN, S. Auxin production by plant associated bactéria: impact on endogenous IAA content and growth of *Triticum aestivum* L. **Letters in Applied Microbiology**. v.48. p.542-547. 2009.

ARAÚJO, A.E. **Caracterização e uso de bactérias diazotróficas isoladas de diferentes cultivares de arroz originárias do estado do Maranhão**. Tese de doutorado. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 99 p. 2008.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

BACILIO-JIMÉNEZ, M.; AGUILAR-FLORES,S.; VALLE, S.M.V.; DEL PÉREZ A.; ZEPEDA, A.; ZENTENO E. Endophytic bacteria in rice seeds inhibit early colonization of roots by *Azospirillum brasilense*. **Soil Biology & Biochemistry**, v.33,p.167-172. 2001.

BALDANI, V.L.D.; ALVAREZ, M.A.B.; BALDANI; J.I. & DÖBEREINER, J. Establishment of inoculated *Azospirillum* spp. in the rhizosphere and roots of Field grown wheat and sorghum. **Plant Soil**, v.90, p.35-46, 1986.

BASHAN, Y. & HOLGUIN, G. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Can. J. Microbiol**, v. 43. p. 103-121. 1997.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A. S. et al.. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre. 2 ed. p.7-16. 2008.

BENEDUZI, A.; PERES, D.; VARGAS, L.K.; BODANESE-ZANETTINI, M.H.; PASSAGLIA, L.M.P. Evaluation of genetic diversity and plant growth promoting activities of nitrogen-fixing bacilli isolated from Rice fields in South Brazil. **Applied Soil Ecology**. v. 39. p. 311-320. 2008.

BIANCHET, P. KLAUBERG FILHO, O.; SANGOI, L.; MIQUELLUTI, D.J.; FERREIRA, M.A.; CARNIEL, G.; SIEGA, E.; VARGAS, V.P.; ZOLDAN, S.R. Formulações simples e mista de bactérias diazotróficas promotoras de crescimento e doses de N na cultura do arroz irrigado. **Anais...** VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. p. 51-54. 2011.

BIRD, J.A.; HORWARTH, W.R.; EAGLE, A.J.; KESSEL, C van. Immobilization of fertilizer nitrogen in rice: Effects of straw management practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1143-1152, 2001.

BLACK, C.A. Nitrogen: mineralization and immobilization. In: BLACK, C.A. Soil-plant relationship. 2 ed. New York, p. 419-452. 1968.

BOCCHI, S. Fertilizzazione. **Il Riso**. Bologna. p. 324 - 331. Informação técnica. 2008.

BODDEY, R.M. & DÖBEREINER, J. Nitrogen fixation associated with grasses na cereals: recent progress and perspectives for the future. **Fert. Res.**, 42: 241-250, 1995.

BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in sugarcane: a key to energetically viable biofuel production. **Critical Reviws in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, p.263-279, 1995.

BOHNEN, H.; SILVA, L.S.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.29, n.3, p.475-480, 2005.

BOTTINI R, FULCHIERI M, PEARCE D, PHARIS R. Identification of gibberelins A1, A3, and iso-A3 in cultures of *A. lipoferum*. **Plant Physiol**, v. 90. p. 45-47.1989.

CAMARGO, F. A. O. ; SANTOS, G.A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180, 1999.

CAMARGO, F. A. O. ; ZONTA, E. ; SANTOS, G. A.; ROSSIELLO, R. O. P. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 341-350, 2001.

CAMPOS, D.V.B.; RESENDE, A.S; ALVES, B.J.R; BODDEY, R.M. ; URQUIAGA, S. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de arroz sob inundação. **Agronomia**, v. 37, n. 2, p. 41 - 46, 2003.

CARDOSO, I. C. M. **Ocorrência e diversidade de bactérias endofíticas do gênero Azospirillum na cultura do arroz irrigado em Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. 75 p. 2008.

CASSMAN, K.; PENG, S.; OLKS, D.C.; LADHA, J.K.; DOBERMANN, A.; SINGH, U. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. **Field Crops Research**, v. 56, p. 7-39, 1998.

CATTELAN, A.J. & HARTEL, P.G. Traits associated with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**. v.1, p. 213-234. 2000.

COELHO, L.F.; FREITAS, S.S.; MELO, A.M.T.; AMBROSANO, G.M.B. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31. p.1413-1420, 2007.

COMPANT, S. et al. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of diseases: principles, mechanisms of action and future perspectives. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.71, n.9, p.4951-4959, 2005.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2009/2010 – 12º Levantamento – Setembro/2010.** 2010. 44 p. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af..pdf> Acessado em 02/12/2010.

CORREIA, S.L.; BOENI, M.; MENEZES, V.G.; MAASS, M.B. Resposta de arroz irrigado a sistemas de cultivo e níveis de adubação. **Anais...** VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. v. 2. p. 307-310. 2011.

COUNCE, P.A., KEISLING, T.C. & MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Sci**. 40: 436-443. 2000.

CUCU, M.A.; SAID-PULLICINO, D.; CELI, L. Influence of redox soil conditions and rice straw incorporation on nitrogen availability in temperate paddy soils. **Anais...** VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. p. 405-408. 2011.

DECHO, A.W.; NORMAN, R.S.; VISSCHER, P.T. Quorum sensing in natural environments: emerging views from microbial mats. **Trends in Microbiology** v.18 n.2 p. 73-80. 2009.

DIDONET, A.D.; MARTIN-DIDONET, C.C.G.; GOMES, G.F. Avaliação de linhagens de arroz de terras altas inoculadas com *Azospirillum lipoferum* Sp59b e *A. brasilense* Sp245. Comunicado Técnico EMBRAPA 69. 4p. 2003.

DOBBELAERE, S. & CROONENBORGHES, A. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biol. Fert. Soils**, v.36, p. 284-297. 2002.

DOBBELAERE, S. & OKON, Y. The plant growth-promoting effect and plant responses. **In: Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations.** p. 145-170. 2007.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas.** Brasília: EMBRAPA – SPI; Itaguaí: EMBRAPA – CNPAB, 60 p. 1995.

EAGLE, A.J.; BIRD, J.A.; HILL, J.E.; HORWATH, W.R.; VAN KESSEL, C. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice following straw incorporation and winter flooding. **Agronomy Journal**, v. 93. p.1346- 1354. 2001.

EAGLE, A.J.; BIRD, J.A.; HORWATH, W.R.; LINQUIST, B.A.; BROUDER, S.M.; HILL, J.E.; KESSEL, C van. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices. **Agronomy Journal**. v. 92. p. 1096-1103. 2000.

EBERHARDT, D. S.; LIMA, M. A.; ANDRADE, S.; PESSOA, M. C. P. Y.; NOLDIN, J. A.; OLIVEIRA, L. Emissão de metano em arroz irrigado em Santa Catarina. In: VI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2009, Porto Alegre. **Anais...** p. 163-166. 2009.

EL-KHAWAS, H.; ADASHI, K. Identification and quantification of auxins in culture media of *Azospirillum* and *klebsiella* and their effect on rice roots. **Biology and Fertility of Soils**, v.28, p.377-381, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil.** Brasília, DF: 2004. p.23-33. Informação técnica, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 306p. 2006.

EPAGRI. Preparo do solo e manejo da água. Arroz Irrigado – Sistema pré-germinado. Florianópolis, p. 61-69. 2002.

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

FAGERIA, N.K.; DOS SANTOS, A.B.; MORAES, M.F. Influence of urea and ammonium sulfate on soil acidity indices in lowland rice production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 41. p. 1565-1575. 2010.

FERREIRA, R.B.; MARCHESAN, E.; COELHO, L.L.; CARNELUTTI FILHO, A.; AZEVEDO, C.F.; DAL PRÁ, D.L. Efeito do manejo da palha do azevém no acúmulo de nutrientes e na produtividade de arroz irrigado. Anais... VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. p. 131-134. 2011.

FERRERO, A. & NGUYEN, N.V. Mondo e mercato. **II Riso**. Bologna. p. 609- 673. Informação técnica. 2008.

FERRERO, A. & TINARELLI, A. Botanica e esigenze. **II Riso**. Bologna. p. 02-31. Informação técnica. 2008.

FRANCO, A. A. & BALEIRO, F. de C. Fixação biológica de nitrogênio: alternativa aos fertilizantes nitrogenados. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S; LOPES, A. S. et al. (Ed) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 818 p., p. 577-595. 1999.

FRANÇA, M.G.C.; ROSSIELLO, R.O.P.; ZONTA, E.; ARAÚJO, A.P.; RAMOS, F.T. Desenvolvimento radicular e influxo de nitrogênio em duas cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1845-1853, 1999.

GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas em arroz de sequeiro. **Agronomia**, vol. 37, nº 2, p. 25 – 30. 2003.

GUIMARÃES, S. L.; SABINO, D. C. C.; FERREIRA, J. S. Efeito da inoculação de estirpes de *Burkholderia* spp em 3 cultivares de arroz inundados crescidas em condições geobióticas.

In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. 24ª Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 8º Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 6ª Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, p.146. 2000.

IRRI. International Conference on Organic Matter and Rice (IRRI). **Organic matter and rice**: Los Baños, Laguna : IRRI. 631 p. 1982.

KHAN, A.A.; JILANI, G.; AKHTAR, M.S.; NAQVI, S.M.S.; RASHEED, M. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. **Journal of Agriculture and Biological Sciences**. v.1. n.1. p. 48-58, 2009.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M.L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potencial for plant growth promotion be better exploited? **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.1229-1244. 2004.

KNOBLAUCH, R.; BACHA, R.E.; STUKER, H.; ERNANI, P.R.; COIMBRA, J.L.M. Doses de nitrogênio e potássio para adubação do arroz irrigado em sistema pré-germinado. **Anais VI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. p. 197-190. 2009.

KNOBLAUCH, R. **Dinâmica do nitrogênio em solos alagados destinados ao cultivo de arroz irrigado**. 2011. 108 p. Tese (Doutorado-Manejo do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2011.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M.L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potencial for plant growth promotion be better exploited? **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.1229-1244. 2004.

KUSS, A. V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 109 p. Tese (Doutorado-Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

KUSS, A.V.; KUSS, V.V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M.L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.10, p.1459-1465, 2007.

LADHA, J.K.; BRUIJN, F.J.; MALIK, K.A. Introduction: assessing opportunities for nitrogen fixation in rice – a frontier project. **Plant and soil**. v. 194. p. 1-10. 1997.

LAMBRECHT, M.; OKON, Y.; BROEK, A. V.; VANDERLEYDEN, J. Indol-3-acetic acid: a reciprocal signaling molecule in bacteria-plant interactions. **Trends in Microbiology**, v.8, n. 7, p. 298-300. 2000.

LARROSA, R.F.M.; MARCHEZAN, E.; AITA, C.; CORADINI, J.Z. Eficiência da aplicação de nitrogênio no perfilhamento do arroz em três manejos da irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.745-749, 2001.

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

LINQUIST, B.A.; BROUDER, S.M.; HILL, J.E. Winter straw and water management effects on soil nitrogen dynamics in California rice systems. **Agronomy Journal**. v.98. p. 1050-1059. 2006.

MARCHESAN, E.; GARCIA, G.A.; CAMARGO, E.R.; MASSONI, P.F.S.; AROSEMENA, D.R.; OLIVEIRA, A.P.B.B. Manejo da irrigação em cultivares de arroz no sistema pré-germinado. **Ciência Rural**. V. 37, n.1. p. 45-50. 2007.

MATTOS, K. A.; PÁDUA, V.L.M.; ROMEIRO, A.; HALLACK, L.F.; NEVES, B.C.; ULISSES, T.M.U.; BARROS, C.F.; TODESCHINI, A.R.; PREVIATO, J.O.; MENDONÇA-PREVIATO, L. Endophytic colonization of rice (*Oryza sativa* L.) by the diazotrophic bacterium *Burkholderia kururiensis* and its ability to enhance plant growth. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v.80 n. 3. p. 477-493. 2008.

MELLONI, R.; NÓBREGA, R.S.A.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Densidade e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas endofíticas em solos de mineração de bauxite, em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 p.85-93, 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R.S.A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae** v.1(2) p.74-99, 2010.

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

NANNIPIERI, P. & ELDOR, P. The chemical and functional characterization of soil N and biotic components. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 41. p. 2357-2369. 2009.

NEHL, D.B.; ALLEM, S.J.; BROWN, J.F. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. **Applied Soil Ecology**, v.5, p.1-20, 1996.

NEVES, A.N. Caracterização in vitro de azospirillum em feijão. **Relatório de estágio técnico profissional**. UDESC. 64p. 2009.

OLIVEIRA, A. L. M. de; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: CNPAB. 40 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 161). 2003.

OLIVEIRA, E. **Estudo da associação entre bactérias diazotróficas e arroz irrigado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 96 p. 1992.

OLK, D.C.; SAMSON, M.I.; GAPAS, P. Inhibition of nitrogen mineralization in young humics fractions by anaerobic decomposition of rice crop residues. **European Journal of Soil Science**. v. 58. p. 270-281. 2007.

PAN, G.; ZHOU, P.; LI, Z.; SMITH, P.; LI, L.; QIU, D.; ZHANG, X.; XU, X.; SHEN, S.; CHEN, X. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.131 . p. 274–280. 2009.

PERIN, L.; SILVA, M.F.; FERREIRA, J.S.; CANUTO, E.L.; MEDEIROS, A.F.A.; OLIVARES, F.L.; REIS, V.M. Avaliação da capacidade de estabelecimento endofítico de estirpes de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* em milho e arroz. **Agronomia**, v. 37. n. 2. p. 47-53. 2003.

PERRIG, D.; BOIERO, M. L.; MASCIARELLI, O. A.; MASCIARELLI, O.A.; PENNA, C.; RUIZ, O.A.; CASSAN, F.D.; LUNA, M.V. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. **Appl Microbiol Biotechnol**, n. 75, p. 1143–1150, 2007.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**. V.24. p. 29-96. 1972.

PRAKAMHANG, J.; MINAMISAWA, K.; TEAMTAISONG, K.; BOONKARD, N.; TEAUMROONG, N. The communities of endophytic diazotrophic bacteria in cultivated Rice (*Oryza sativa* L.) **Applied Soil Ecology** . v. 42 , p.141–149 . 2009.

PRASAD, R.; GANGIAH, B.; AIPE, K. Effect of crop residue management in rice-wheat cropping system on growth and yield of crops and soil fertility. **Exp. Agric.** vol. 35, p. 427-435. 1999.

RADWAN, T.E.E.; MOHAMED, Z.K.; REIS, V.M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.39. n.10. p.987-994. 2004.

REICHEMBACK, M. P.; ARF, O.A.; THOMAZINI, G.; RODRIGUES, R.A.F.; GITTI, D.C. Inoculação de *Azospirillum brasiliense* e fontes de nitrogênio mineral em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Anais...** VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. v. 2.p. 259-262. 2011.

REIS, V. M., PEREIRA, W. & HIPÓLITO, G. S. **Métodos de aplicação de bactérias diazotróficas em cana-soca para fins de determinação de eficiência agrônômica.** EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Comunicado Técnico, ISSN 1517-8862. Seropédica.4p. 2009.

REIS, M.S.; SOARES, A.A.; SOARES, P. C.; CORNÉLIO, V.M.O. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 707 -713. 2005.

RHODEN, A.C.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F.A. de O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E.L. Mineralização anaeróbica do nitrogênio em solo de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. V.36. n. 6. P. 1780-1787. 2006.

RODRIGUES, L.S.; BALDANI, V.L.D.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* na cultura do arroz inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41. n. 2. p. 275-284. 2006.

RODRIGUES, E. P. **Caracterização fisiológica de estirpes de *Azospirillum amazonense* e avaliação dos efeitos da inoculação em plantas de arroz inundado (*Oryza sativa* L.).** 2004. 66 p. Dissertação (Mestrado-Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004.

RODRIGUES, L. S.; OLIVEIRA, A. L. M. de et al. *Azospirillum amazonense* inoculation: effects on growth, yield and N₂ fixation of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Soil**, n. 302, p. 249-261, 2008.

ROMANI, M. Tecnica colturale. **Il Riso**. Bologna. Informação técnica. p. 298-323. 2008.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciência Rural*. v.38, n.6. p. 1589-1595. 2008.

ROSSIELLO, R. O. P. Comparação de métodos fotoelétrico e da intersecção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.30. n.5, p. 633-883.1995.

SABINO, D.C.C.; FERREIRA, J.S.; GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, V.L.D.; BALDANI, J.I. Avaliação da capacidade das bactérias *Burkholderia brasiliensis* e *Herbaspirillum seropedicae* em promover crescimento em plântulas de arroz. **Comunicado Técnico 45**. Embrapa Agrobiologia, 4p. 2000.

SABINO, D.C.C Interação planta-bactéria diazotrófica na cultura do arroz. **Tese de doutorado**. RJ: Seropédica, 58p. 2007.

SABINO, D.C.C. **Metabolismo de nitrogênio em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) em associação com bactérias diazotróficas endofíticas**. RJ: Seropédica, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 75p. 2003.

SACCO, D.; MOSCA, P.; VIDOTTO, F.; TESIO, F.; MILAN, M.; FERRERO, A.; GRIGNANI, C. **Gestione ottimale dei residui colturali in risaia**. Schede di Assistenza Tecnica. Torino, Italia. Regione Piemonte, 15p. 2010.

SALA, V.M.R; CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, J.G.; SILVEIRA, A.P.D. Resposta de genótipos de trigo a inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, n. 6. p. 833-842. 2007.

SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.F.; CALDAS, P.P.C.; BOTELHO, T.H.A. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em arroz irrigado. **Anais... VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. v. 2. p.493-496. 2011.

SAVANT, N. K. & DE DATTA, S. K. Nitrogen transformations in wetland rice soils. **Advances in Agronomy**. Manila, Philipines, v. 35. p. 241-302. 1982.

SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, n.4, p.880-883, 1979.

SCIVITTARO, W.B. e MACHADO, M.O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: **Arroz Irrigado no sul do Brasil**. EMBRAPA. p. 259-297. 2004.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z.I.; JACQUES, R.J.S.; VOSS, M. Bactérias diazotróficas nas folhas e colmos de plantas de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v.13. n. 2. p. 181-187. 2007.

SILVA, D.M.; FRIES, M.R.; ANTONIOLLI, Z.I.; AITA, C.; VOSS, M.; JACQUES, R.J.S.; SEMINOTTI, J.; CARVALHO, C.A. Bactérias diazotróficas em solos cultivados com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas. v.10. n.4. p. 467-474. 2004.

SILVEIRA, J.A.G. & MACHADO, E.C. Mobilização de nitrogênio e de carboidratos durante o desenvolvimento de panículas e duas cultivares de arroz. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2. n. 2. p. 37-46. 1990.

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Porto Alegre: SOSBAI, 188p. 2010.

Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 9th Edition. Washington, DC, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. 2003.

SOUSA, R.O.; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa*) e absorção de nutrientes em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. **R. Bras. de Agrocência**, Pelotas, v.8, n.3, p. 231-235, 2002.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 24, p. 487-506, 2000.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; MICHELON, S.; WALTER, L.C.; MARCOLIN, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p. 1086-1093. 2006.

STRZELCZYK, E.; KAMPER, M.; LI, C. Cytocinin-like-substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. **Microbiol Res**, v. 149. p.55–60. 1994.

SUN L, QIU F, ZHANG X, DAI X, DONG X, SONG W. 2008. Endophytic bacterial diversity in rice (*Oryza sativa* L.) roots estimated by 16S rDNA sequence analysis. **Microb. Ecol.** v.55, n.3. p.415-424. 2008.

SWAROWSKY, A.; RIGHES, A.A.; MARCHEZAN, E.; RHODEN, A.C; GUBIAN, E.I. Manejo da palha de azevém, da adubação de base e da água de drenagem na produção de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, mar-abr, p. 393-397. 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de Solo, Planta e outros Materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia. UFRGS, 174 p. Boletim Técnico, 5, 1995.

TENNANT, D. A test of a modified line intercept method of estimating root length. **Journal of Ecology Applied**, London, v.63, p.995-1001, 1975.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS,P. Constituents of organica matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C. et al. **Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu. p. 5-32. 1989.

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by Azospirillum brasilense and their effect on the growth of pearl millet (Pennisetum americanum L.). **Appl Environ Microbiol**, v. 37. p. 1016–1024. 1979.

TURNER, F.T., JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requeriment for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.5, p.926-928, 1991.

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

WANG, C.; BROWN, H.N.; CROWLEY, D.E.; SZANIZLO, P.J. Evidence for direct utilization of a siderophere, ferrioxamine B in axenically grown cucumber. **Plant Cell Environmental**, n.16, p. 579-585, 1993.

WATANABE, I. Anaerobic Decomposition of organic matter in flooded rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Organic Matter and Rice**. Los Baños: IRRI, p.237-258. 1984.

WIVUTVONGVANA, P. & JIRAPORNCHAROEN, S. Seasonal Changes in Soil Ammonium and Nitrate in Relation to Crop Production. **Chiang Mai University Journal**. v.1(3). p. 245-256. 2002.

ZANATTA, Z.G.C.N.; CASTRO, L.A.S.; ROCHA, N.E.M.; TAVARES, L.C. Colonização de raízes de arroz por isolados bacterianos avaliada por microscopia eletrônica de varredura. **Anais... VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. v. 2. p. 417-420. 2011.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: **SBSC Nutrição Mineral de Plantas**. p. 07-45. 2006.