

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ARROZ IRRIGADO EM
SUCESSÃO AO AZEVÉM**

Vladirene Macedo Vieira
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Março de 2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e a Lizandro,
pelo incentivo para o cumprimento
de mais essa etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Regis pela orientação, amizade e exemplo de profissionalismo.

Aos colegas Paulo César Endrigo, Douglas Batista Jandrey, Michael da Silva Serpa, Darlan Rodrigo Marchesi e Anderson Nunes e aos bolsistas de iniciação científica Leonardo Barreto Maass, Cristhiano Gehlen, Bruna Guterres Soares e Guilherme Borba Menezes pela ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

Aos meus pais pelo incentivo e compreensão.

À Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz, pela viabilização de realização desse trabalho a campo, em especial aos pesquisadores Daniel Grohs, Thais Fernanda Stella de Freitas, Rodrigo Schoenfeld, Silvio Aymone Genro Jr, Valmir Menezes e Madalena Boeni.

Ao professor Ibanor Anghinoni pela orientação no planejamento e condução do experimento.

Aos técnicos agrícolas e demais funcionários do Instituto Rio Grandense do Arroz pelo auxílio na realização do trabalho.

Aos técnicos Jonathan e Fábio e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial às professoras Carla Andrea Delatorre e Marisa Azzolini e ao professor Christian Bredemeier.

À professora Tânia Mara Pizollato e à Química Raquel Wielens Becker pelas análises realizadas no Instituto de Química da UFRGS.

À Lizandro Moreira de Pellegrim pelo incentivo, amor e carinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Estadual de Amparo à Pesquisa (FAPERGS) pelo apoio financeiro.

MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ARROZ IRRIGADO EM SUCESSÃO AO AZEVÉM¹

Autor: Vladirene Macedo Vieira
Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva
Co-orientadora: Carla Andrea Delatorre

RESUMO

O uso do azevém como cobertura de solo pode ser importante na reciclagem de nutrientes para o arroz irrigado cultivado em sucessão. No entanto, altas quantidades de resíduos de azevém sobre o solo podem afetar o desenvolvimento inicial do arroz em sucessão e a sua resposta à adubação nitrogenada. Os objetivos do trabalho foram: 1) avaliar o potencial do azevém em reciclar nutrientes para o arroz em sucessão; 2) determinar o efeito de duas quantidades de resíduos de azevém na densidade inicial de plântulas de arroz e na concentração de ácidos orgânicos na solução do solo após o alagamento; e 3) estabelecer sistemas de manejo da adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura no arroz que otimizem o desenvolvimento da planta e o rendimento de grãos em sucessão ao azevém e ao pousio. O experimento foi conduzido em dois anos agrícolas (2008/09 e 2009/10) em Cachoeirinha, RS. Os tratamentos constaram de duas quantidades de resíduos de azevém (1,87 e 4,42 t ha⁻¹, no primeiro ano, e 2,94 e 4,30 t ha⁻¹, no segundo ano), de um tratamento com a área em pousio no inverno e de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada no arroz em sucessão, obtidos pela combinação de duas doses totais de nitrogênio (N) (90 e 150 kg N ha⁻¹), quatro doses de N na semeadura (0, 10, 20 e 40 kg ha⁻¹) e de uma testemunha sem aplicação de N. Devido ao histórico da área experimental e à elevada adubação de fósforo e potássio na semeadura, não é possível evidenciar, na avaliação realizada no estágio V₃, a reciclagem de nutrientes do azevém para o arroz em sucessão em relação ao pousio. A presença de até 4,42 t ha⁻¹ de resíduos de azevém, dessecado no mínimo 34 dias antes da semeadura do arroz, não interfere no estabelecimento inicial do arroz. A solução do solo no primeiro ano, no período de três a 23 dias após o alagamento, apresenta apenas acetato, ou seja, ácido acético na forma totalmente dissociada, o qual não é considerado fitotóxico. Os dados obtidos no primeiro ano indicam a resposta do rendimento de grãos de arroz ao manejo da adubação nitrogenada não depende dos sistemas de cobertura do solo no inverno testados. Com aplicação da menor dose total de N no arroz (90 kg ha⁻¹), o incremento da dose de N na semeadura, com conseqüente redução da dose de N aplicada em cobertura, resulta em menor rendimento de grãos.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (138 p.) Março, 2010.

NITROGEN MANAGEMENT IN FLOODED RICE IN SUCCESSION TO RYEGRASS¹

Author: Vladirene Macedo Vieira
Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva
Co-adviser: Carla Andrea Delatorre

ABSTRACT

The use of ryegrass as a cover crop can be important in nutrient recycling to lowland rice cultivated in succession. However, the high amount of ryegrass residues on the soil can affect both rice initial development and rice response to nitrogen (N) fertilization. The aims of this study were to: 1) evaluate the ryegrass potential in recycling nutrients to rice cultivated in succession; 2) determine the effect of two amounts of ryegrass residues on plant density and on concentration of organic acids in soil solution after flooding; and 3) establish N management systems at sowing and at topdressing to optimize the development and yield of rice cultivated in succession. The experiment was carried out in two growing seasons (2008/09 and 2009/10), in the same experimental area, at Cachoeirinha, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Treatments consisted of two ryegrass residues amounts (1,87 e 4,42 t ha⁻¹, in the first year, and 2,94 e 4,30 t ha⁻¹, in the second year), one treatment with the fallow in the winter and nine rice N management systems obtained by combination of two total doses of N (90 e 150 kg N ha⁻¹), four sowing N rates (0, 10, 20 e 40 kg ha⁻¹) and a treatment without nitrogen. Due to the history of experimental area and the high phosphorus and potassium fertilization rates used at rice sowing, it is not possible to show, at V₃ stage, nutrient recycling from ryegrass to rice cultivated in succession in relation to fallow. Ryegrass cultivation, with dry matter yield up to 4,42 t ha⁻¹, desiccated within the minimum period of 34 days before rice sowing, does not affect rice plant establishment. The soil solution in the first year, in the period of three to 23 days after the flooding, show only acetate, or acetic acid in a fully dissociated form, which is not considered phytotoxic. The first year results indicate that the response of rice grain yield to N management systems does not depend on cover crop systems in the winter tested. With the application of the lower N total rate (90 kg ha⁻¹), the increment of the sowing N rate, with consequent reduction of N topdressing rate, results in lower grain yield.

¹Master of Science Dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (138 p.) March, 2010.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Sistema plantio direto e rotação e sucessão de culturas.....	5
2.2 Rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea.....	9
2.2.1 Vantagens potenciais da utilização de rotação e sucessão de culturas com arroz irrigado.....	11
2.2.2 Limitações para adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas com arroz irrigado e práticas de manejo para mitigar seus efeitos	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Local de execução.....	28
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	30
3.3 Manejo da cobertura de solo no inverno.....	31
3.3.1 Ano agrícola de 2008/09.....	31
3.3.2 Ano agrícola de 2009/10.....	33
3.4 Manejo da cultura do arroz irrigado.....	34
3.5 Parâmetros avaliados.....	37
3.5.1 Cultura do azevém.....	37
3.5.1.1 Rendimento de massa seca da parte aérea.....	37
3.5.1.2 Teor de C e macronutrientes no tecido vegetal.....	37
3.5.1.3 Quantidade de macronutrientes acumulada na massa seca da parte aérea por	37
3.5.2 Cultura do arroz irrigado.....	37
3.5.2.1 Densidade inicial de plântulas.....	37
3.5.2.2 Produção de massa seca da parte aérea por plântula no estádio V ₃	38
3.5.2.3 Rendimento de massa seca da parte aérea.....	38
3.5.2.4 Teor de macronutrientes no tecido vegetal.....	39

	Página
3.5.2.5 Quantidade de N acumulado na massa seca da parte aérea por hectare.....	39
3.5.2.6 Quantidade de macronutrientes acumulados na massa seca da parte aérea por plântula.....	39
3.5.2.7 Número de perfilhos por planta.....	39
3.5.2.8 Componentes do rendimento.....	40
3.5.2.9 Índice de colheita aparente.....	40
3.5.2.10 Rendimento de grãos.....	40
3.5.2.11 Rendimento de engenho.....	41
3.5.2.12 Teor de proteína nos grãos polidos.....	41
3.5.3 Quantificação de ácidos orgânicos na solução do solo.....	41
3.6 Análise estatística.....	45
4. RESULTADOS.....	46
4.1 Parâmetros relacionados à cultura do azevém.....	46
4.2 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da cultura do arroz.....	50
4.2.1 Densidade inicial de plântulas.....	50
4.2.2 Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz no estágio V_3	51
4.2.3 Teor e quantidade de macronutrientes acumulados na parte aérea das plântulas de arroz no estágio V_3	54
4.2.4 Concentração de ácidos orgânicos na solução do solo.....	56
4.2.5 Número de perfilhos por planta no estágio V_8	57
4.2.6 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas com oito folhas expandidas (V_8)	59
4.2.7 Teor e quantidade de N acumulado na parte aérea das plantas com oito folhas expandidas (V_8)	63
4.2.8 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas na antese (R_4)	65
4.2.9 Teor e quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas na antese (R_4).....	66
4.3 Parâmetros relacionados aos componentes do rendimento, rendimento de grãos e qualidade de grãos de arroz.....	66
4.3.1 Número de panículas por metro quadrado.....	66
4.3.2 Número grãos por panícula.....	67
4.3.3 Peso de 1000 grãos.....	68
4.3.4 Esterilidade de espiguetas.....	68
4.3.5 Índice de colheita aparente.....	68
4.3.6 Rendimento de grãos.....	69
4.3.7 Rendimento de engenho e teor de proteína nos grãos.....	70

	Página
5. DISCUSSÃO.....	71
6. CONCLUSÕES.....	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
8. APÊNDICES.....	101

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Doses e sistemas de manejo da adubação nitrogenada aplicada no arroz irrigado cultivado em sucessão ao azevém e ao tratamento pousio no inverno. Cachoeirinha-RS. Estações de crescimento de 2008/09 e 2009/10.....	31
2. Rendimento de massa seca da parte aérea, quantidade aportada ao solo e relação C:N de resíduos de azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2008.....	47
3. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2008.....	48
4. Rendimento de massa seca da parte aérea e relação C:N de resíduos de azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2009.....	49
5. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2009.....	49
6. Densidade inicial de plântulas de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	50
7. Densidade inicial de plântulas de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo de inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	51

8.	Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	52
9.	Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.	53
10.	Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	55
11.	Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plântulas de arroz irrigado com três folhas expandidas em função de doses de N na semeadura, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	56
12.	Evolução da concentração de acetato na solução do solo cultivado com arroz irrigado no período do terceiro ao 23º dia após o alagamento (DAA) em função de sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	57
13.	Número de perfilhos por planta de arroz irrigado no estádio com oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	58
14.	Número de perfilhos por planta de arroz irrigado no estádio com oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	59
15.	Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estádio com oito folhas expandidas em função de sistemas de cobertura de solo de inverno, na média de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	60

16.	Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	61
17.	Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estágio de oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada e de sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	62
18.	Quantidade de nitrogênio (N) acumulada na parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	63
19.	Quantidade de nitrogênio (N) acumulada na parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	64
20.	Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado na antese em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	66
21.	Número de panículas de arroz irrigado por metro quadrado em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo de inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.	67
22.	Número de grãos por panícula de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada no arroz irrigado. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	68
23.	Rendimento de grãos de arroz irrigado em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.....	69

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Representação esquemática do sistema de coleta da solução do solo. Cachoeirinha, RS, 2008/09.	43
2. Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz irrigado no estádio de três folhas expandidas em função de doses de N na semeadura, na média de três sistemas de cobertura de solo de inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.....	53

1 INTRODUÇÃO

No atual sistema de produção agrícola, as demandas técnicas e sócio-econômicas têm aumentado a necessidade de intensificação de uso dos recursos de produção, sem perder de vista o possível impacto ao meio ambiente. Um dos requisitos para se atingir essa meta é a adoção de sistemas de produção que utilizem mais eficientemente tanto os recursos naturais quanto os insumos aplicados. Considerando esses aspectos, a adoção do sistema plantio direto, o qual tem como um dos requisitos a utilização de sistemas de rotação e sucessão de culturas, é fundamental para alcançar a sustentabilidade da produção agrícola.

Em terras altas, já foram desenvolvidas inúmeras pesquisas sobre a utilização de rotação e sucessão de culturas no sistema plantio direto, o que contribuiu para a sua ampla adoção pelos produtores. No entanto, para os sistemas produtivos que incluem o cultivo de arroz irrigado em áreas de várzea, são escassos os trabalhos nessa linha de pesquisa, sendo, portanto muito incipiente a utilização desses sistemas pelos produtores. Em áreas de várzea, a utilização do sistema plantio direto com rotação e sucessão de culturas também pode resultar em vários benefícios à cultura do arroz, como a reciclagem de nutrientes, que reduz suas perdas para o ambiente, e o incremento na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, que influi na dinâmica de nutrientes. Dessa

forma, a utilização de sistemas de rotação e sucessão de culturas em plantio direto é uma das principais estratégias que pode ser utilizada para aumentar o potencial produtivo, especialmente em solos de baixa produtividade. Isso devido ao aumento, a médio e longo prazos, dos teores de matéria orgânica e de nutrientes em função da adição de resíduos ao solo e da reciclagem de nutrientes. Outra possível vantagem relacionada à adoção desse sistema relaciona-se à maior eficiência de controle de plantas invasoras, já que os resíduos de espécies de cobertura de solo no inverno, especialmente às pertencentes à família das poáceas, possuem elevado potencial para suprimir a emergência e o crescimento dessas plantas.

No entanto, em áreas de várzea há algumas limitações para implantação de sistemas de rotação e sucessão de culturas. Dentre elas, uma das principais relaciona-se à má drenagem da maioria dos solos, o que limita o desenvolvimento das plantas e o rendimento de grãos de culturas de terras altas, devido à falta de adaptação a condições de hipóxia.

A principal espécie de cobertura de solo no inverno utilizada nas várzeas onde se cultiva o arroz irrigado é o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), devido à sua adaptação a ambientes com drenagem deficiente do solo. Outra vantagem de seu cultivo decorre do fato de poder ser utilizado com duplo propósito, ou seja, para cobertura de solo e para pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. Essa espécie tem alto potencial de uso para reciclagem de nutrientes e para adição de resíduos ao solo, já que pode atingir alto rendimento de massa seca sob condições de adequada adubação.

No entanto, embora o cultivo de azevém tenha muitas vantagens potenciais como cultura antecessora ao arroz, se mal manejado pode resultar em algumas limitações para o arroz em sucessão. Uma possível limitação seria o efeito da adição de alta quantidade de resíduos na redução da densidade de plântulas de arroz. Além disso, devido à manutenção da lâmina de água, a decomposição dos resíduos de azevém passa a ocorrer de forma anaeróbica, o que pode resultar na formação de ácidos orgânicos em concentrações que podem ser tóxicas às plantas de arroz nos estádios iniciais de desenvolvimento. Também, a presença de elevada quantidade de resíduos, associada à sua alta relação C:N podem ser características indesejáveis, especialmente quando não se observa o intervalo adequado entre a época de dessecação do azevém e a semeadura do arroz. Isso se deve à possível imobilização temporária de nitrogênio (N) e sua consequente indisponibilidade para as plantas de arroz cultivado em sucessão, principalmente em seus estádios iniciais de desenvolvimento.

Em cultivos de terras altas, sistemas de sucessão de culturas têm sido amplamente estudados, sendo já disponíveis estratégias de manejo de espécies de cobertura de solo de inverno para beneficiar as culturas em sucessão, especialmente para o milho. Diversas estratégias são recomendadas para potencializar as vantagens do uso de espécies da família das poáceas como coberturas de solo no inverno para o milho cultivado em sucessão. Dentre elas estão o aumento da dose de N aplicada na semeadura do milho e a antecipação da época de dessecação da cobertura de solo de inverno. No entanto, para a cultura do arroz irrigado existe pouca informação sobre estratégias de manejo que resultem em maiores benefícios da utilização de espécies de cobertura de solo no

inverno, o que tem se tornado indispensável para a sustentabilidade da atividade orizícola no estado do Rio Grande do Sul.

Diante do exposto, os objetivos do trabalho foram:

- 1) Avaliar o potencial do uso do azevém como cobertura de solo no inverno na reciclagem de nutrientes para posterior benefício do arroz irrigado cultivado em sucessão e na redução de suas perdas para o ambiente;
- 2) Determinar o efeito de duas quantidades de resíduos de azevém na densidade inicial de plântulas de arroz e na concentração de ácidos orgânicos na solução do solo após o alagamento, e suas implicações sobre o estabelecimento e o desenvolvimento inicial do arroz cultivado em sucessão; e
- 3) Estabelecer sistemas de manejo da adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura no arroz irrigado que otimizem o desenvolvimento da planta e o rendimento de grãos de arroz cultivado em sucessão ao azevém como cobertura de solo no inverno e ao pousio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em áreas de várzea, a utilização de rotação e sucessão de culturas ainda é incipiente. Apesar das inúmeras vantagens da adoção desses sistemas, como melhorias nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, o seu uso também pode apresentar limitações, principalmente relacionadas à quantidade e qualidade de resíduos adicionados ao solo e à possibilidade de formação de substâncias fitotóxicas durante a sua decomposição. Diante disso, a investigação desses processos é fundamental na busca de técnicas para amenizar esses problemas.

2.1 Sistema plantio direto e rotação e sucessão de culturas

A adoção do sistema plantio direto constitui-se em uma das principais ferramentas para se alcançar a sustentabilidade de sistemas de produção de grãos. Ele consiste de um complexo de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes, que incluem o não revolvimento do solo, a rotação e sucessão de culturas e o uso de plantas de cobertura para formar e manter resíduos vegetais sobre o solo (Muzzilini, 2000).

O não revolvimento do solo e a adição de resíduos culturais no sistema plantio direto promovem o surgimento de diversas propriedades emergentes no solo (Anghinoni, 2007). Dentre elas estão as características relacionadas ao fluxo

contínuo de carbono (C), que torna a estrutura do solo mais estável. Nesse processo, há maior atividade biológica do solo, com manutenção de sua biodiversidade, aumentando o teor de matéria orgânica, a ciclagem e o armazenamento de nutrientes, com manutenção do ciclo hidrológico e aumento da capacidade produtiva do solo. Além disso, a presença de resíduos culturais na superfície do solo é importante para proteção do solo da erosão. Embora possa ocorrer a compactação superficial do solo pelo intenso tráfego de máquinas e animais quando mal manejado, os efeitos da utilização contínua desse sistema de manejo do solo sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo são muito favoráveis à produtividade dos agroecossistemas (Anghinoni, 2007).

No sistema plantio direto, a utilização da rotação e sucessão de culturas é fundamental para obtenção de quantidades adequadas de resíduos sobre o solo. A rotação de culturas é a alternância planejada e regular de diferentes culturas da mesma estação de crescimento, num período de tempo em que a espécie não é repetida na mesma área de cultivo num intervalo inferior a dois anos. Já a sucessão de culturas se caracteriza pelo cultivo sequencial de espécies de diferentes estações de crescimento dentro do mesmo ano agrícola na mesma área de cultivo (Derpsch, 1985). A utilização de rotação e sucessão de culturas não tem como objetivo apenas uma mudança de espécies, mas sim uma escolha de culturas que respeite suas necessidades e características, de acordo com sua influência sobre o solo, plantas daninhas, pragas e moléstias, numa sequência apropriada e prática, e que promova efeitos residuais benéficos (Derpsch, 1993).

Além de proporcionar o aporte contínuo de resíduos ao solo, a adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas permite a exploração do solo por

diferentes sistemas radiculares, modificando os padrões de extração, de reciclagem e de disponibilização de nutrientes (Rego, 1994). Além disso, a produção e a adição de biomassa em quantidade adequada e com composição distinta devido ao uso de diferentes espécies contribuem significativamente para a melhoria da qualidade do solo (Mielniczuk, 1998). Considera-se que a condição ideal é aquela em que o solo tenha sempre uma espécie de planta se desenvolvendo. Isso contribui para altos fluxos de carbono e energia no sistema solo-planta-atmosfera, beneficiando características químicas, físicas e biológicas do solo (Vezzani, 2001). Nesse sentido, devido às condições de clima subtropical, a região Sul do Brasil é privilegiada, já que permite cultivar plantas durante os 12 meses do ano.

Além desses efeitos positivos sobre as características de solo, a adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas apresenta outras vantagens, como a interrupção do ciclo de pragas e moléstias e a diminuição da infestação de plantas daninhas. Com a alternância de espécies de plantas, substituindo as espécies hospedeiras dos insetos por não hospedeiras ou hospedeiras não preferenciais, os mesmos passam a não se alimentar ou se alimentar em menor intensidade. Com isso, o inseto não se desenvolve e conseqüentemente interrompe o seu ciclo biológico (Hoffmann-Campo *et al.*, 1999). Além disso, a alternância de diferentes resíduos culturais pode diminuir a incidência de alguns patógenos (Panisson *et al.*, 2003). Com relação aos efeitos da palha na intensidade de ocorrência de plantas daninhas, a presença de resíduos culturais pode ser um impedimento físico à emergência de sementes dessas espécies, além de poder causar possíveis efeitos alelopáticos resultantes da decomposição da cobertura vegetal. Com isso, pode

haver atraso na emergência de plantas daninhas, permitindo que as plantas da cultura comercial implantada em rotação ou sucessão sombreie o solo, reduzindo acentuadamente a infestação (Roman & Veloso, 1993).

Do ponto de vista econômico-social, a utilização de sistemas de rotação e sucessão de culturas pode diversificar a fonte de renda na propriedade, reduzir os riscos inerentes à atividade agrícola, aumentar a eficiência de uso do maquinário e da mão-de-obra e, conseqüentemente, diminuir custos de produção. Esses aspectos também são importantes para se alcançar maior sustentabilidade com a atividade agrícola.

Apesar de todos os benefícios do sistema plantio direto, observa-se algumas limitações relacionadas ao manejo de resíduos e à não utilização de rotação de culturas. Com relação ao manejo de resíduos, diversos estudos foram e estão sendo realizados na busca de estratégias para mitigar efeitos indesejáveis, como a imobilização de N pelos microrganismos do solo, já estando disponíveis práticas consolidadas para redução do problema em culturas de terras altas, como o milho (Argenta & Silva, 1999; Argenta *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2006).

Com relação à ausência de rotação de culturas, isso tem se refletido no aumento da incidência de doenças como a fusariose (*Fusarium graminearum*). No atual modelo de rotação e sucessão de culturas em terras altas no RS, onde predomina o cultivo da soja em sucessão a culturas de inverno como aveia branca, trigo e cevada, há maior permanência de inóculos desse patógeno no ambiente (Martinelli *et al.*, 2004). Portanto, a adoção de práticas integradas de manejo é fundamental para que o sistema plantio direto possa promover maior sustentabilidade da atividade agrícola.

2.2 Rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea

O estado do Rio Grande do Sul possui cerca de cinco milhões de hectares de várzeas, dos quais em torno de três milhões são cultivados com arroz irrigado. Dessa área, cerca de um milhão de hectares são cultivados anualmente e o restante permanece em pousio, sendo utilizada com pecuária de corte extensiva, aproveitando-se a resteva do arroz e a pastagem nativa em intervalos de dois, três ou mais anos (SOSBAI, 2007). Esse sistema é utilizado principalmente nas regiões orizícolas da Fronteira Oeste, Campanha e Zona Sul. Nas demais regiões orizícolas (Planícies Costeiras Interna e Externa e Depressão Central), geralmente o arroz é cultivado na mesma área todos os anos.

No estado do Rio Grande do Sul, o arroz irrigado é cultivado em seis sistemas de cultivo: cultivo mínimo, plantio direto, convencional, pré-germinado, transplante de mudas e mix (SOSBAI, 2007). Dentre esses sistemas, o plantio direto é utilizado somente em 3% da área cultivada, enquanto que o sistema de cultivo mínimo corresponde a 66% da área (SOSBAI, 2007).

O motivo inicial principal da implantação do plantio direto em áreas cultivadas com arroz irrigado foi auxiliar no controle de arroz vermelho, que é a espécie invasora de maior importância na cultura do arroz irrigado (EMBRAPA, 2009). No entanto, atualmente sua utilização tem também se justificado pela redução de custos de produção e por outros benefícios oriundos de sua adoção.

Apesar de ser denominado de plantio direto, na cultura do arroz irrigado esse sistema apresenta-se de forma diferente do que nas culturas de terras altas, já que nem todos os seus princípios básicos são praticados em sua plenitude

(EMBRAPA, 2009). No sistema plantio direto em arroz irrigado ocorre revolvimento do solo e a utilização de rotação e sucessão de culturas ainda é incipiente.

Na cultura do arroz irrigado, o sistema plantio direto consiste na semeadura do arroz sobre cobertura morta e sem nenhum preparo de solo imediatamente anterior (Soares & Carrão, 1993), ou seja, ocorre revolvimento reduzido do solo, em época antecipada à semeadura da cultura. O preparo do solo geralmente é realizado nos meses de janeiro a abril (preparo de verão) e, normalmente, compreende uma aração, duas gradagens e operações de aplainamento. Após as operações de preparo, durante o inverno é cultivada uma espécie de cobertura de solo e/ou para pastejo dos animais, geralmente o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) (EMBRAPA, 2009).

O plantio direto na cultura do arroz irrigado diferencia-se do cultivo mínimo em dois aspectos: um relaciona-se à época de preparo do solo e o outro ao tipo de cobertura vegetal. No cultivo mínimo as operações de preparo do solo ocorrem geralmente no final do inverno até o início da primavera, de 60 a 45 dias antes da semeadura do arroz. Nesse caso, a cobertura vegetal é composta pela flora de sucessão que se estabelece após o preparo do solo, composta principalmente por plantas daninhas (EMBRAPA, 2009). Apesar das definições de cada sistema, existem variações inerentes à região de cultivo e ao manejo adotado pelo produtor.

Embora a utilização de rotação e sucessão de culturas também seja fundamental para a viabilização do sistema plantio direto propriamente dito em terras baixas, a adoção dessas práticas ainda é incipiente nessas áreas. A sucessão de culturas com o cultivo do azevém como cobertura de solo de inverno

antecedendo o cultivo do arroz irrigado ainda é o principal sistema adotado em áreas de várzea, o que pode ser considerado um grande avanço em termos de sustentabilidade do sistema de produção. Entretanto, a inclusão da rotação de culturas em áreas de várzea virá completar as lacunas existentes para o alcance de todos os benefícios do sistema plantio direto.

2.2.1 Vantagens potenciais da utilização de rotação e sucessão de culturas com arroz irrigado

A produtividade média de grãos arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul aumentou significativamente nos últimos anos, principalmente devido à melhoria das práticas de manejo da cultura e ao uso de cultivares modernas, com alto potencial produtivo (IRGA, 2009). Um aspecto que pode contribuir para maior incremento em produtividade e para a sustentabilidade da atividade orizícola, é a utilização do sistema plantio direto, cujos benefícios abrangem diversos aspectos do sistema de produção. Embora ainda sejam escassas as informações a respeito do efeito da utilização do sistema plantio direto em áreas de várzea, espera-se que, à semelhança do que ocorre em terras altas, a adoção desse sistema pode aumentar o potencial produtivo do solo. Porém, da forma como o plantio direto vem sendo conduzido a várzea, as respostas do rendimento de grãos são semelhantes ou até inferiores aos demais sistemas de cultivo (Marcolin *et al.*, 2007).

Um dos aspectos que ainda é limitante para o aumento da produtividade de grãos da cultura do arroz irrigado é o estresse devido à deficiência nutricional. Além da adição de fertilizantes minerais, outras estratégias podem ser adotadas

para interferir na dinâmica de nutrientes no solo e, assim, aumentar a sua disponibilidade para as plantas. Dentre essas estratégias destaca-se a adição de resíduos culturais ao solo, principalmente sob sistema plantio direto. Alguns dos principais benefícios do sistema plantio direto nas características do solo estão relacionadas à adição contínua de resíduos ao solo e a presença constante de plantas em desenvolvimento, as quais são viabilizadas pela rotação e sucessão de culturas.

Do ponto de vista agrônômico, tanto os resíduos de culturas comerciais quanto os de espécies de cobertura de solo são fontes de nutrientes, sendo que a forma como são manejados pode manter e/ou aumentar a fertilidade do solo. A avaliação dos efeitos de curto, médio e longo prazos da incorporação de diferentes tipos de resíduos culturais nas ciclagens de carbono (C), de nitrogênio (N) e de outros nutrientes é importante, pois permite identificar práticas de manejo que maximizem a produtividade do arroz cultivado em sucessão e que minimizem os impactos ao ambiente (Wassman *et al.*, 1995). Dessa forma, uma das principais características de um sistema agrícola sustentável é dotá-lo de uma eficiente reciclagem de nutrientes (Lal, 1994).

Em solos de várzea, o aporte de resíduos vegetais ao solo contribui para o acúmulo de matéria orgânica de maneira similar ao que ocorre em solos aerados (Saharawat, 2005). No entanto, o sistema de cultivo de arroz irrigado (plantio direto e plantio convencional) não influencia o estoque de C orgânico do solo na camada de 0-20 cm (Nascimento *et al.*, 2009). Apesar disso, a utilização do sistema plantio direto é uma estratégia para aumentar o potencial produtivo de solos de baixa produtividade, pela elevação, em longo prazo, dos teores de

matéria orgânica e de nutrientes no solo com adição de resíduos. Por isso, a introdução de sistemas de rotação e sucessão de culturas pode ser especialmente importante para as regiões orizícolas das Planícies Costeiras Interna e Externa do Estado do Rio Grande do Sul, que apresentam solos com baixa fertilidade. Nessas regiões, os solos são geralmente mais arenosos e têm baixo teor de matéria orgânica (Boeni *et al.*, 2009).

As espécies de plantas de cobertura desempenham papel fundamental na reciclagem de nutrientes, pois aproveitam tanto os nutrientes residuais da fertilização das culturas comerciais, como os provenientes da mineralização da matéria orgânica e da fertilidade natural dos solos (Aita *et al.*, 2000). Além disso, o sistema plantio direto favorece a reciclagem de nutrientes devido à maior produção de resíduos, à redistribuição vertical de nutrientes no perfil do solo e às modificações químicas induzidas na rizosfera (Anghinoni, 2007).

Dentre as espécies utilizadas como cobertura de solo no inverno, as da família das leguminosas merecem destaque em sistemas de rotação e sucessão de culturas. Além de proporcionarem a cobertura do solo, o uso de leguminosas pode reduzir a dose de adubação nitrogenada a ser utilizada no cultivo em sucessão. Isso ocorre em função da fixação de N por bactérias específicas em simbiose com o sistema radicular dessas espécies. Assim, o N pode ser disponibilizado pelos resíduos dessas plantas para a cultura em sucessão, havendo redução nos custos de produção e benefícios ao ambiente, pelo menor risco de contaminação de cursos de água com derivados de N (nitrato e nitrito). Em áreas de várzea, a leguminosa serradela nativa (*Ornithopus micranthus*) é

uma espécie com grande potencial de utilização como cultura antecessora ao arroz irrigado (Menezes *et al.*, 1994).

Além das espécies leguminosas, espécies poáceas de inverno para utilização como pastagens e/ou cobertura de solo como o azevém, também podem proporcionar mudanças na dinâmica nutricional do solo. Dentre as poáceas, o azevém é a principal espécie utilizada como cobertura de solo em sistema de sucessão com o arroz irrigado. Sua importância é estratégica em áreas de várzea, já que é uma das poucas espécies adaptadas a esse ambiente. Outra característica importante é que o azevém pode ser utilizado com duplo propósito, para cobertura de solo e para pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. No Rio Grande do Sul, sua utilização ainda é incipiente, porém, no sul da China, o azevém é amplamente utilizado como cultura antecessora ao cultivo de arroz, com reflexos benéficos nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Li *et al.*, 2008).

As espécies poáceas podem apresentar elevado rendimento de massa seca e alta absorção de nutrientes, especialmente de K. Embora haja grande absorção desse nutriente, a quantidade removida pelos grãos é pequena, aproximadamente 20%, sendo que o restante retorna ao solo com a palha. Por sua rápida liberação dos resíduos das culturas (80% em menos de 30 dias), o K passa para o solo, formando um gradiente decrescente de concentração em seu perfil, a partir da superfície (Mielniczuk, 2005). Nos sistemas de produção sem pousio entre uma cultura e outra, o K é absorvido, permanecendo a maior parte do tempo no tecido vegetal, protegido de perdas por erosão e lixiviação. Isso promove a reciclagem e contribui para o adequado balanço desse nutriente no

solo. Além disso, no sistema plantio direto, a elevação do teor de matéria orgânica e do pH do solo devido à calagem resultam em aumentos da CTC do solo. Em função disso ocorre aumento da capacidade de retenção de K pelo solo e modificação da distribuição do K nos sítios de troca e na solução do solo, o que contribui para reduzir as perdas por lixiviação (Mielniczuk, 2005).

No plantio direto com rotação e sucessão, o maior aporte de matéria seca pelas culturas, em função do aumento da fertilidade do solo, intensifica a reciclagem de K (Santi *et al.*, 2003). Trabalhos mostram que na cultura do milho, a associação de maiores doses de N e a utilização de uma espécie de cobertura de solo recicladora (nabo forrageiro) cultivada em sucessão aumenta a reciclagem de K e o rendimento de grãos de trigo cultivado em sequência (Nicoloso *et al.*, 2008). Portanto, a visão do plantio direto de forma sistêmica é fundamental para maximizar seus benefícios.

Por ser um macronutriente, o K é exigido em grande quantidade pelas plantas como o N (Marschner, 1995), sendo importante investigar sistemas de produção que otimizem sua reciclagem. Em aproximadamente 70% dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul, esse nutriente encontra-se no solo em concentrações abaixo do teor de suficiência (60 mg dm^{-3}) (Boeni *et al.*, 2009). A região arrozeira que apresenta os menores teores de K no solo é a Planície Costeira Interna, devido aos solos serem mais arenosos e apresentarem menor teor de matéria orgânica. Além disso, a maioria das áreas cultivadas com arroz irrigado permanece em pousio no inverno, o que também aumenta as perdas desse nutriente. Portanto, a adição de resíduos culturais ao solo no inverno antecedendo o arroz irrigado pode ser uma estratégia para minimizar a deficiência

de K, visto que em sistemas de produção com sucessão de culturas as perdas desse nutriente podem ser menores.

O fósforo (P) é outro nutriente que tem sua dinâmica beneficiada pelo manejo conservacionista do solo. Dependendo do manejo adotado nos sistemas agrícolas, pode ocorrer a perda desse nutriente dissolvido na água e, principalmente, a sua adsorção às partículas coloidais da argila e da matéria orgânica. A presença constante de resíduos de plantas na superfície do solo aumenta a concentração desse nutriente na camada mais superficial do solo. Além disso, a produção de ânions orgânicos que competem pelos sítios de adsorção, reduz o processo de adsorção do P, o que também contribui para maior disponibilidade desse elemento em sistemas de produção com adição contínua de resíduos culturais ao solo (Rheinheimer, 2000). Cerca de 39% dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul apresenta teores de P nas faixas de suficiência baixa ($\leq 3,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e média (entre 3,1 e $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$), o que necessita atenção, embora a disponibilidade de P às plantas em um solo com lâmina de água seja maior do que quando cultivadas na condição de sequeiro (Anghinoni *et al.*, 2004).

Além do efeito na reciclagem de nutrientes, a adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea pode beneficiar a cultura do arroz irrigado devido à redução da incidência de plantas daninhas. O arroz vermelho constitui-se na principal espécie de planta daninha, estimando-se que seja responsável pela redução anual de 20% da safra gaúcha de arroz (SOSBAI, 2007). Diversas estratégias têm sido utilizadas para amenizar o problema com

essa espécie infestante. Dentre essas, a adoção do sistema plantio direto tem se mostrado como uma das mais eficientes (Agostinetto *et al.*, 2001), por reduzir significativamente o banco de sementes de arroz vermelho em relação ao sistema convencional (Ávila *et al.*, 2000). Além disso, a utilização de rotação de culturas é considerada a alternativa mais prática e econômica disponível para redução do banco de sementes de arroz vermelho (Agostinetto *et al.*, 2001), por diminuir o banco de sementes total e na superfície do solo (Andres *et al.*, 2001).

Na sucessão azevém-arroz, que é a mais utilizada em áreas de várzea, a presença de resíduos de azevém sobre o solo pode contribuir para suprimir a emergência de plantas de um grande número de espécies invasoras, incluindo o arroz vermelho, reduzindo sua infestação e, conseqüentemente, o banco de sementes. A presença de resíduos culturais sobre o solo dificulta a emergência e/ou o desenvolvimento de plantas de várias espécies daninhas, principalmente devido ao efeito físico de sombreamento e à redução da amplitude térmica do solo (Severino & Christoffoleti, 2001).

2.2.2 Limitações para adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas com arroz irrigado e práticas de manejo para mitigar seus efeitos negativos

Apesar de todas as vantagens potenciais da adição de resíduos culturais pelos sistemas de rotação e sucessão de culturas no sistema plantio direto para a cultura do arroz irrigado, a adoção dessa prática pode apresentar algumas limitações em solos de várzea. Uma das principais relaciona-se à má drenagem do solo nas várzeas, pois limita o desenvolvimento de espécies plantas de e/ou

cultivares a serem usadas, devido à falta de adaptação a condições de hipóxia. Além desse aspecto, a adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas demanda planejamento. O cultivo de espécies de cobertura de solo no inverno em áreas de várzea exige um eficiente sistema de drenagem e que a semeadura dessas espécies seja realizada na época correta para permitir um adequado desenvolvimento das plantas.

Outras limitações da utilização de sistemas de sucessão de culturas estão relacionadas à quantidade e qualidade do resíduo adicionado e à liberação de substâncias fitotóxicas durante sua decomposição. Em culturas de terras altas, especialmente para o milho, já se dispõem de diversas estratégias para mitigar os efeitos indesejáveis de culturas antecessoras no inverno (Silva *et al.*, 2006). No entanto, em áreas de várzea são escassas as informações a respeito desse assunto.

Em cultivos de terras altas, a principal espécie cultivada é aveia preta (*Avena sativa*). Dentre as causas do seu uso intenso estão a facilidade de aquisição de sementes e implantação, rusticidade, alto rendimento de massa seca, rapidez na cobertura do solo, decomposição lenta e ciclo adequado (Silva *et al.*, 2006). Esses autores destacam que dentre os benefícios do uso dessas espécies para o sistema plantio direto, podem ser citados: a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, maior proteção do solo à erosão pelos resíduos e maior eficiência de controle de plantas daninhas (Silva *et al.*, 2006).

Em áreas de várzea, onde se cultiva o arroz irrigado, o azevém é a espécie mais utilizada como cobertura de solo. O azevém pode produzir elevado rendimento de massa seca sob condições de adequada adubação, o que o torna

uma espécie com grande habilidade de reciclar nutrientes e de adicionar resíduos ao solo.

Apesar de todas as vantagens do cultivo do azevém como cultura antecessora ao arroz irrigado, uma de suas limitações está relacionada ao possível efeito de elevadas quantidades de seus resíduos na redução da densidade inicial de plântulas de arroz (Guimarães *et al.*, 2002). Estudos demonstram um possível efeito alelopático dos resíduos de azevém sobre a germinação e desenvolvimento de diversas espécies, invasoras e cultivadas (Ferreira & Áquila, 2000; Moraes *et al.*, 2009). Menezes *et al.* (2001) observaram redução da densidade inicial de plântulas de arroz em sucessão ao azevém comparado a outras espécies de cobertura de solo (aveia preta, aveia branca e serradela nativa), a vegetação espontânea e ao pousio. No entanto, ainda são escassas as informações a respeito do efeito de resíduos de azevém na emergência e desenvolvimento das plântulas de arroz irrigado.

Outra limitação do uso de sistemas de produção que incluem uma espécie poácea no inverno geralmente é a menor disponibilidade de N no início do desenvolvimento das plantas da cultura em sucessão. Com isso pode haver redução do rendimento de grãos quando o cultivo é manejado com baixos níveis de N (Vargas *et al.*, 2005).

Algumas causas têm sido apontadas para explicar a menor disponibilidade de N no início do desenvolvimento das plantas no sistema de sucessão de duas poáceas em plantio direto, quando não são adotadas práticas adequadas de manejo. Entre elas, destacam-se as maiores perdas de N por lixiviação e desnitrificação, menor mineralização dos resíduos da cultura anterior e do N

orgânico do solo, maior imobilização microbiana do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura e as possíveis interações entre alguns desses fatores (Amado *et al.*, 2000). Dentre essas causas, a imobilização microbiana é a mais relevante (Kitur *et al.*, 1984).

A imobilização de N é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico, sendo um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização (transformação do N da forma orgânica para forma inorgânica). Os responsáveis pelo processo são microrganismos que incorporam N inorgânico disponível no solo às suas células. Ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou ser incorporado às células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos que, gradualmente, formam a matéria orgânica do solo (Cantarella, 2007).

A predominância dos processos de mineralização e imobilização define se o solo terá maior ou menor disponibilidade de N inorgânico para as plantas. A direção das reações, ou seja, se prevalecerá um ou outro processo, dependerá principalmente da relação C:N do material orgânico adicionado ao solo (Cantarella, 2007). A adição de resíduos com elevada relação C:N, como os das espécies da família das poáceas, faz com que os microrganismos utilizem o N inorgânico do solo e o N dos resíduos para manter o crescimento da população promovido pela abundância do C lábil ou de energia (Cantarella, 2007). Com isso, pode diminuir a disponibilidade de N para as plantas do cultivo em sucessão, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, devida à maior habilidade dos microrganismos de competirem pelo N disponível (Cantarella, 2007).

À medida que o substrato é metabolizado, o C orgânico é oxidado e liberado na forma de CO₂ pelo processo respiratório. Com a continuidade de consumo do substrato, a relação C:N atinge valores baixos. Com isso, a falta de energia passa a ser limitante para manutenção da população de microrganismos. Assim, os microrganismos passam a não necessitar mais do N inorgânico do solo, levando ao acúmulo de N no sistema. Nessa fase, ocorre a mineralização líquida e a liberação de N inorgânico no solo. A atividade dos microrganismos e a velocidade de degradação do substrato diminuem e a relação C:N aproxima-se de 10 a 12, típica da matéria orgânica estável do solo (Cantarella, 2007).

O efeito de imobilização está diretamente relacionado ao intervalo entre a dessecação da espécie de cobertura de solo e a data de semeadura da cultura em sucessão. Isso porque, dependendo da duração desse intervalo, a imobilização não coincidirá com os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o que poderá não afetar seu desenvolvimento e rendimento de grãos. Essa interação foi observada em milho cultivado em sucessão à aveia preta, em que o aumento do intervalo de um para 20 dias entre a dessecação da aveia e a semeadura do milho aumentou o rendimento de grãos (Argenta *et al.*, 1999).

A importância da compreensão do processo de imobilização está relacionada à relevância da manutenção de adequada disponibilidade de N para as plantas. O N é o nutriente mais estudado quando se visa incrementos em produtividade nos sistemas agrícolas, pois é o que mais limita o aumento do rendimento da maioria das culturas. Ele desempenha inúmeras funções na fisiologia da planta, sendo constituinte de paredes celulares, clorofilas, proteínas, ácidos nucléicos e outros componentes da célula. Sua deficiência na planta causa

clorose das folhas, devida à redução do conteúdo de clorofila, diminuindo a taxa fotossintética por unidade de área foliar e a disponibilidade de aminoácidos (Shangguan *et al.*, 2000). Em consequência, ocorre redução do tamanho das folhas, do perfilhamento, do rendimento de grãos e do teor de proteína nos grãos (Harper, 1994).

Em observações realizadas a campo na cultura do arroz irrigado, tanto sob sistema plantio direto como no convencional, podem ser observados sintomas de deficiência de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, à semelhança do que ocorre em culturas de terras altas. Isso pode estar associado ao processo de imobilização desse nutriente nos resíduos da cultura de inverno anterior, especialmente sob sistema plantio direto, já que a principal espécie utilizada como cobertura de solo é o azevém.

Em áreas de terras altas, algumas alternativas de manejo vêm sendo estudadas para minimizar a imobilização de N para o milho cultivado em sucessão à aveia preta (Silva *et al.*, 2006). Dentre elas, estão o aumento do intervalo de tempo entre a dessecação das coberturas de solo (poáceas) e a semeadura desse cereal, o uso de sistemas de consórcio com espécies com baixa relação C:N e o aumento da dose de N a ser aplicada na semeadura do milho.

Além de poder afetar o desenvolvimento inicial das plantas pela possível imobilização de N, o cultivo de arroz irrigado em sucessão ao azevém em sistema plantio direto pode reduzir o rendimento de grãos comparado ao sistema de cultivo convencional (Menezes *et al.*, 2001). No sistema de cultivo mix, que é uma variante do sistema pré-germinado, foi verificado que o aumento da quantidade de resíduos de azevém reduziu linearmente o rendimento de grãos (Pinto *et al.*,

2003). No entanto, a incorporação de palha de arroz no sistema de cultivo com transplante aumentou o rendimento de grãos de arroz comparado ao tratamento sem presença de palha de arroz (Surckha *et al.*, 2006).

Embora haja evidências de ocorrência do processo de imobilização de N na sucessão azevém e arroz no sistema plantio direto, não se dispõe de informações científicas específicas sobre o assunto e nem sobre estratégias que possam vir a minimizar esse efeito indesejável. Além disso, nos estudos de adubação nitrogenada já realizados na cultura do arroz irrigado, os mesmos foram conduzidos em sistema de cultivo com semeadura em solo inundado (Pinto *et al.*, 2003), ou ainda com utilização da mesma dose de adubação nitrogenada em cobertura (Menezes *et al.*, 2001).

No sistema plantio direto em terras altas, a adição de grande quantidade de palha é importante para aumentar o carbono orgânico do solo e o aporte de nutrientes. No entanto, é possível ocorrer imobilização temporária N para a cultura subsequente, dependendo da espécie de cobertura de solo e do manejo adotado. Em áreas de várzeas, a presença de elevada quantidade de resíduos pode trazer os mesmos benefícios, porém podendo também levar à imobilização de N. No entanto, a presença de resíduos culturais no solo sob condições de anaerobiose também pode ser prejudicial devido ao acúmulo de ácidos orgânicos (principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico) oriundos da decomposição de resíduos na solução do solo em quantidades que podem prejudicar o estabelecimento da cultura subsequente (Camargo *et al.*, 2001).

Em solos alagados, diminuem as trocas gasosas entre o solo e o ar, em função da baixa difusão do oxigênio na lâmina de água. Assim, os

microorganismos anaeróbios obrigatórios ou facultativos, representados por bactérias, passam a dominar a atividade biológica do solo (Ponnamperuma, 1972). Nessa situação, os microorganismos obtêm energia pelo processo de fermentação. Nesse processo, compostos orgânicos são receptores finais de elétrons, o que promove a quebra de substratos orgânicos complexos antes da oxidação, resultando na formação de uma série de substâncias, muitas delas transitórias, como os ácidos orgânicos alifáticos de cadeia curta, dentre eles o acético, o propiônico e o butírico (Neue, 1997).

O ácido acético é, geralmente, o principal ácido orgânico formado no processo, sendo normalmente responsável por mais de 60% da composição dos ácidos orgânicos produzidos em ambientes anaeróbios. Em ordem decrescente, seguem-se os ácidos propiônico e butírico (Souza, 2001). Os ácidos orgânicos podem começar a acumular em solos alagados onde foram adicionados resíduos orgânicos a partir do primeiro dia da entrada da água. O pico de liberação varia em função das características do solo, da temperatura, das características e das quantidades de resíduos e do tipo de ácido considerado (Watanabe, 1984). No entanto, são escassas as informações a respeito do efeito de práticas de manejo, como por exemplo, o intervalo entre a dessecação da cobertura de solo e a semeadura do arroz, na concentração de ácidos orgânicos na solução do solo.

Dentre os efeitos causados pelos ácidos orgânicos, o mais importante é a redução do alongamento radicular em plântulas, cuja causa está relacionada ao efluxo de K das raízes (Pang *et al.*, 2007). Alta concentração de ácidos orgânicos (10 mM) desencadeia a despolarização da membrana plasmática, causando ativação de canais transportadores de K para fora da célula para restabelecimento

do gradiente de potencial eletroquímico (Pang *et al.*, 2007). Com a perda de K, que é um nutriente essencial para formação e manutenção do turgor e, conseqüentemente, para expansão celular, diminui o alongamento radicular (Walker *et al.*, 1998).

Além disso, concentrações iguais ou superiores 10 mM de ácido acético alteram a composição de lipídios da membrana, causando possível efluxo de íons como o K (Jackson & ST. John, 1980). Os ácidos orgânicos também podem afetar a formação de energia pelo seu efeito na acidificação da matriz da mitocôndria e conseqüente despolarização da membrana interna dessa organela, originando menor formação de ATP (Robson & Taylor, 1974; Takenaga, 1995) e, conseqüentemente, reduzindo o desenvolvimento das plantas.

Além da redução do alongamento radicular em plântulas, evidenciada pelo menor comprimento de raízes (Souza & Bortolon, 2002), também foi verificado que a presença de ácidos orgânicos (2,5 mM) diminui a absorção de N, P, K, Ca e Mg pela planta. Os ácidos orgânicos podem reduzir também a germinação de sementes de arroz (Koop *et al.*, 2008). No entanto, em concentrações similares às já detectadas sob condições de campo não foram observados os seus efeitos nesse processo (Castilhos *et al.*, 2009). Juntamente à concentração, o pH da solução afeta a toxidez dos ácidos orgânicos (Fortes *et al.*, 2008). Com o aumento do pH da solução predominam as formas dissociadas dos ácidos, consideradas não fitotóxicas devido à dificuldade de penetrar nos tecidos vegetais (Marschner, 1995).

O sistema de cultivo é um dos fatores que pode afetar o acúmulo de ácidos orgânicos em solos cultivados com arroz irrigado. Sob plantio direto observou-se

maior acúmulo de ácidos orgânicos em relação aos sistemas convencional e pré-germinado (Bohnen *et al.*, 2005). Além disso, aos três dias após o alagamento sob plantio direto foram detectadas concentrações consideradas suficientes para reduzir o crescimento radicular das plantas (Souza & Bortolon, 2002). Portanto, a redução do rendimento de grãos de arroz irrigado quando cultivado sob elevadas quantidades de resíduos de azevém (acima de 4,0 t ha⁻¹ de massa seca), tanto em sistema de semeadura direta (Menezes *et al.*, 2001) quanto no sistema mix pré-germinado (Pinto *et al.*, 2003), também pode estar relacionada à ocorrência de concentrações fitotóxicas de ácidos orgânicos. No entanto, é necessário relacionar a quantidade dessas substâncias na solução do solo com o rendimento de grãos de arroz.

Além dos ácidos orgânicos, o ácido benzenopropanóico também é tóxico ao desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado (Li *et al.*, 2008). Essa substância, isolada da solução do solo após 14 dias da incorporação de resíduos de azevém ao solo, reduziu o alongamento radicular e a parte aérea de plantas de arroz (Li *et al.*, 2008). Portanto, o estudo da dinâmica de substâncias oriundas da decomposição de resíduos adicionados ao solo em condições de anaerobiose é fundamental para a busca de estratégias que possam amenizar seus efeitos indesejáveis sobre a cultura do arroz irrigado.

HIPÓTESES

- 1) A utilização do azevém como cobertura de solo no inverno contribui para a reciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para arroz em sucessão.

- 2) Altas quantidades de resíduos de azevém reduzem a densidade inicial de plântulas de arroz irrigado e contribuem para aumentar a concentração de ácidos orgânicos na solução do solo após o alagamento.
- 3) O manejo da adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura no arroz irrigado varia de acordo com o sistema de cobertura de solo no inverno.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de execução

O experimento foi conduzido a campo durante dois anos agrícolas (2008/09 e 2009/10) na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), localizada no município de Cachoeirinha, região ecoclimática da Depressão Central, do Estado do Rio Grande do Sul, situada a 29°55'30" de latitude sul e a 50°58'21" de longitude oeste e à altitude de 7 m. O clima da região é do tipo subtropical úmido, conforme classificação de Köppen, sendo considerado como de transição entre os tipos Cfa₁ (isoterma anual inferior a 18 °C) e Cfa₂ (isoterma anual superior a 18 °C). A temperatura mínima média do ar é de 9,8 °C no mês mais frio (julho) e a máxima é de 31,6 °C no mês mais quente (janeiro). A precipitação pluvial média anual é de 1425 mm e a disponibilidade de radiação solar máxima é de 502 cal cm⁻² dia⁻¹ no mês de dezembro.

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háplico Ta Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). Para avaliação dos atributos físico-químicos do solo foram coletadas amostras de solo na profundidade de 20 cm. No primeiro ano (março de 2008), as amostras apresentaram os seguintes valores (média das três amostras coletadas): argila: 18% (m/v); pH H₂O: 4,7; Índice SMP: 6,3; P

(Mehlich-1): 39,2 mg dm⁻³; K (Mehlich-1): 54 mg dm⁻³; matéria orgânica: 1,8% (m/v); Ca: 2,1 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,8 cmol_c dm⁻³ e CTC efetiva: 3,6 cmol_c dm⁻³. No segundo ano (abril de 2009), as amostras apresentaram os seguintes valores (média das nove amostras coletadas): argila: 15% (m/v); pH H₂O: 4,8; Índice SMP: 6,4; P (Mehlich-1): 33,4 mg dm⁻³; K (Mehlich-1): 21,1 mg dm⁻³; matéria orgânica: 1,7% (m/v); Ca: 1,9 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,8 cmol_c dm⁻³ e CTC efetiva: 3,4 cmol_c dm⁻³.

A área experimental encontrava-se em pousio no verão há quatro anos antes da implantação do experimento. Nesse período, durante o inverno havia o cultivo do consórcio das espécies serradela nativa (*Ornithopus micranthus* (Bentham) Arechavaleta) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.). Em avaliação realizada em outubro de 2007, o rendimento de massa seca da parte aérea da serradela nativa no consórcio foi de 2,5 t ha⁻¹. A escolha da área experimental considerou a proximidade do reservatório de água para irrigação, para não utilizar a água do rio Gravataí, que nos meses do verão, apresenta alta concentração de contaminantes ricos em N, o que poderia causar confundimento dos resultados obtidos.

As análises laboratoriais foram realizadas nos seguintes locais: análises de solo: Laboratório de Análises de Solo e Água do IRGA, em Cachoeirinha, RS; teor de N nos tecidos vegetais: Laboratório de Fisiologia do Departamento de Plantas de Lavoura, da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); teores de P, K, Ca, Mg e S nos tecidos vegetais: Laboratório de Análises de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS; teor de C nos tecidos vegetais: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS e ácidos orgânicos na solução

do solo: Laboratório de Química Analítica e Ambiental e Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da UFRGS.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Nos dois anos agrícolas, os tratamentos constaram de duas quantidades de resíduos de azevém (1,87 e 4,42 t ha⁻¹ no primeiro ano e 2,94 e 4,30 t ha⁻¹ no segundo ano) como cobertura de solo no inverno, de um tratamento com a área em pousio e de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado, obtidos pela combinação de dois níveis de N (90 e 150 kg N ha⁻¹) e de quatro doses de N na semeadura (0, 10, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N) e de uma testemunha sem aplicação de N durante todo o ciclo da cultura (Tabela 1). O tratamento pousio consistiu de manter o solo sem vegetação durante o período do inverno.

Nos dois anos de execução do experimento, o delineamento experimental foi de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com três repetições. Os três tratamentos relacionados à cobertura de solo no inverno foram locados nas parcelas principais e os nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada na cultura do arroz nas subparcelas. Nos dois anos, os tratamentos foram aplicados nas mesmas parcelas principais e subparcelas.

TABELA 1. Doses e sistemas de manejo da adubação nitrogenada aplicada no arroz irrigado cultivado em sucessão ao azevém e ao tratamento pousio no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09 e 2009/10.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N		
	Semeadura	Cobertura	
		V ₃	V ₈
0	0	0	0
	0	60	30
	10	53	27
	20	47	23
90	40	33	17
	0	100	50
	10	93	47
	20	87	43
150	40	73	37

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

3.3 Manejo da cobertura de solo no inverno

3.3.1 Ano agrícola de 2008/09

Na segunda quinzena de março de 2008, aplicou-se 1,7 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 76%) para correção da acidez do solo para pH 6,0. No dia 15 de abril foi realizada a semeadura do azevém a lanço, com densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes e sem aplicação de adubação de base. A emergência do azevém ocorreu em 01 de maio de 2008. As parcelas principais apresentavam 11,4 m de largura por 19 m de comprimento, totalizando 216,6 m².

Para controle de serradela nativa e de outras espécies dicotiledôneas na cultura do azevém foi aplicado o herbicida 2,4D, na dose de 564 g i. a. ha⁻¹ quando o azevém tinha seis folhas expandidas. A área mantida em pousio foi dessecada (glyphosate - 2400 g i.a. ha⁻¹) duas vezes durante o inverno, a primeira logo após a emergência das plantas de azevém e a segunda 45 dias após a primeira.

Para obtenção de dois rendimentos diferenciais de massa seca da parte aérea do azevém foram estabelecidos dois tratamentos, um deles com a aplicação em cobertura da dose de 50 kg ha^{-1} de N e o outro com a dose de 100 kg ha^{-1} de N. Cada dose foi parcelada em duas épocas de aplicação: 50% aos dez dias após a emergência do azevém (plantas com três a quatro folhas expandidas, no início do perfilhamento) e 50% aos 40 dias após a emergência do azevém (plantas com oito folhas expandidas).

Em toda a área experimental, realizou-se uma dessecação das plantas no dia 15 de agosto de 2008, aos 83 dias antes da semeadura do arroz. Antes da dessecação foram coletadas amostras para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea do azevém. Após a análise dos resultados obtidos, observou-se que não houve diferença ($p < 0,05$) entre os dois tratamentos para rendimento de massa seca da parte aérea do azevém ($4,38$ e $4,42 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente nos tratamentos com aplicação de 50 e 100 kg ha^{-1} de N). Em função dessa similaridade, optou-se pela realização de um corte da parte aérea do azevém aos onze dias após a sua dessecação no tratamento onde havia sido aplicada a dose de 50 kg ha^{-1} de N para reduzir para, aproximadamente, à metade a quantidade de resíduos aportada ao solo e, assim, diferenciar os dois tratamentos. O corte das plantas de azevém foi feito na metade da sua altura, sendo os resíduos retirados da parcela. O corte foi realizado manualmente com utilização de foices. Após o corte, a quantidade de resíduos da parte aérea do azevém remanescente na parcela foi determinada novamente no tratamento com aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, obtendo-se o valor de $1,87 \text{ t ha}^{-1}$. Após a dessecação, não foi realizado nenhum tipo de manejo dos resíduos de azevém, ou

seja, as plantas permaneceram de pé por ocasião da semeadura do arroz em sucessão. Como houve atraso na semeadura do arroz devido ao excesso de precipitação pluvial ocorrida no mês de outubro, fez-se uma segunda dessecção (glyphosate - 2400 g i.a. ha⁻¹) em toda a área experimental no dia 13 de outubro de 2008.

3.3.2 Ano agrícola de 2009/10

Na segunda quinzena de abril de 2009 a soca das plantas de arroz da safra 2008/09 foi roçada com o equipamento triton. A semeadura do azevém foi realizada a lanço no dia 12 de maio de 2009, na densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes e sem aplicação de adubação de base. A emergência do azevém ocorreu aos 15 dias após a semeadura. As parcelas foram locadas nos mesmos locais do ano anterior e apresentavam as mesmas dimensões.

A área mantida em pousio foi dessecada (glyphosate - 2400 g i.a. ha⁻¹) duas vezes durante o inverno, a primeira 15 dias após a data de semeadura do azevém e a segunda 35 dias após a primeira.

Em função dos resultados obtidos no ano anterior com os tratamentos aplicados para obtenção de dois rendimentos diferentes de massa seca da parte aérea do azevém reduziu-se as doses de aplicação de N em cobertura no azevém para 25 kg ha⁻¹ e 50 kg ha⁻¹, para diferenciar os dois tratamentos. Cada dose foi parcelada em duas épocas de aplicação: 50% aos 20 dias após a emergência do azevém, com as plantas com três a quatro folhas expandidas (início do perfilhamento), e 50% aos 58 dias após a emergência do azevém (plantas com oito folhas expandidas). Com a aplicação das doses de 25 e 50 kg ha⁻¹ de N,

obteve-se os rendimentos de 2,94 e 4,30 t ha⁻¹ de massa seca de resíduos de azevém, respectivamente.

Dessecou-se toda a área experimental no dia 15 de setembro de 2009, 34 dias antes da semeadura do arroz. Não foi realizado nenhum tipo de manejo dos resíduos de azevém, ou seja, as plantas permaneceram de pé após a dessecação.

3.4 Manejo da cultura do arroz irrigado

No primeiro ano agrícola, a semeadura do arroz foi realizada em 08 de novembro de 2008 e, no segundo, em 19 de outubro de 2009. Nos dois anos, a semeadura foi realizada no sistema de semeadura direta, na densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento entre linhas de 0,17 m. A cultivar utilizada foi a IRGA 424, de porte baixo, ciclo médio e alto potencial de rendimento de grãos. As sementes de arroz foram previamente tratadas com inseticida fipronil (0,4 g i.a. kg⁻¹ semente) para controle preventivo da bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*) e com fungicida à base de thiram e de carboxina (0,5 g i.a. kg⁻¹ de semente).

Nos dois anos, a adubação de base com fósforo e potássio foi realizada para incrementar em 5,0 t ha⁻¹ o rendimento de grãos em relação ao potencial de produção médio da área experimental (7 t ha⁻¹)(SOSBAI, 2007). Para isso, foram aplicados 78 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 131 kg ha⁻¹ de K₂O com a adição ao solo de 400 kg ha⁻¹ da mistura de 174 kg de superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e de 226 kg cloreto de potássio (58% de K₂O) no primeiro ano. No segundo ano, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ K₂O com a adição ao solo de 283 kg ha⁻¹ da mistura de 111 kg de superfosfato triplo e de 172 kg cloreto de potássio. A adubação

nitrogenada de base foi aplicada na linha de semeadura (sem incorporação), imediatamente após a operação de semeadura, nas doses correspondentes aos tratamentos estabelecidos (Tabela 1). No segundo ano a aplicação da adubação nitrogenada de base foi realizada um dia após a semeadura. Nos dois anos utilizou-se a uréia como fonte de N.

As subparcelas apresentavam 20 linhas de 6 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,17 m, perfazendo uma área de 20,4 m². No segundo ano, as subparcelas foram locadas exatamente nos mesmos locais das do ano anterior, apresentando, portanto, as mesmas dimensões.

No primeiro ano, dois dias após a semeadura do arroz foi realizada uma nova dessecação de toda área experimental (glyphosate - 2400 g i.a. ha⁻¹). A emergência das plantas de arroz ocorreu no dia 20 de novembro de 2008, aos 12 dias após a semeadura. Nesse momento foi realizada aplicação de inseticida (tiametoxam - 25 g i.a. ha⁻¹) para controle preventivo da bicheira da raiz (*Oryzophagus oryzae*).

No segundo ano, a dessecação (glyphosate - 2400 g i.a. ha⁻¹) de toda área experimental foi realizada um dia após a semeadura do arroz. A emergência das plantas de arroz ocorreu no dia 01 de novembro de 2009, aos 13 dias após a semeadura.

Nos dois anos, a adubação nitrogenada de cobertura foi parcelada em duas épocas, conforme as recomendações técnicas para cultura (SOSBAI, 2007), sendo dois terços da dose aplicado no estágio V₃ e o terço restante da dose no estágio V₈. No primeiro ano utilizou-se a uréia como fonte de N. Já no segundo ano, utilizou-se uréia tratada com inibidor de urease NBTPT [N –(n – butil) triamida

tiofosfórica]. Embora a utilização de uréia tratada com inibidor de urease NBTPT reduza as perdas de amônia em relação à uréia comum, não há diferença entre os dois tipos de uréia sobre o rendimento de grãos de arroz, desde que o início da irrigação ocorra de um a cinco dias após a aplicação (SCIVITTARO et al., 2008).

O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de herbicidas pós e pré/pós emergência (cyhalofop-butyl e penoxsulan nas doses de 540 g i.a. ha⁻¹ e 48 g i.a. ha⁻¹ no primeiro ano e 720 g i.a. ha⁻¹ e 52,8 g i.a. ha⁻¹ no segundo ano, respectivamente). Iniciou-se a irrigação por inundação quando as plantas de arroz estavam no estágio V₃, logo após as aplicações da primeira dose de N em cobertura e dos herbicidas, com manutenção constante de uma lâmina de água de 5 a 10 cm de altura. A água utilizada na irrigação era proveniente de um reservatório. A supressão da água ocorreu quando as plantas alcançaram o estágio R₇, quando pelo menos um grão da panícula do colmo principal apresentou casca amarela.

Em caráter preventivo, no estágio de emborrachamento foi realizada a aplicação de fungicida (cresoxim-metílico + epoxiconazol - 125 g i.a. ha⁻¹ + 125 g i.a. ha⁻¹) para as doenças brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha foliar (*Bipolaris oryzae*) e de inseticida (tiametoxam – 25 g i.a. ha⁻¹) para os insetos percevejo do grão (*Oebalus poecilus*) e lagarta da panícula (*Pseudaletia* spp).

3.5 Parâmetros avaliados

3.5.1 Cultura do azevém

3.5.1.1 Rendimento de massa seca da parte aérea

Em cada parcela principal foi realizada a coleta de uma amostra da parte aérea das plantas de azevém (0,5 m²), a qual foi seca em estufa a 60°C até atingir peso constante. O rendimento de massa seca da amostra foi extrapolado para um hectare.

3.5.1.2 Teor de C e macronutrientes no tecido vegetal

Nos dois anos de estudo utilizou-se amostras de tecido vegetal correspondentes a toda parte aérea das plantas de azevém. O teor de C foi determinado pelo método de combustão seca (Nelson & Sommers, 1996), em analisador Shimadzu TOC-V SH, e os teores dos macronutrientes pela metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

3.5.1.3 Quantidade de macronutrientes acumulada na massa seca da parte aérea por hectare

Foi obtida pela multiplicação do teor dos macronutrientes no tecido vegetal pela quantidade de massa seca da parte aérea produzida em um hectare.

3.5.2 Cultura do arroz irrigado

3.5.2.1 Densidade inicial de plântulas

A densidade inicial de plântulas foi obtida a partir da contagem do número de plântulas de arroz em um metro de linha. No primeiro ano foram coletadas duas

amostras de um metro de linha por subparcela ($0,34 \text{ m}^2$), enquanto que no segundo foram coletadas quatro amostras de um metro de linha por subparcela ($0,68 \text{ m}^2$). A determinação foi realizada no estádio V_3 , antes do início do perfilhamento. Os locais nos quais foram feitas as amostragens, foram delimitados por duas estacas de metal, para posterior contagem do número de colmos e panículas.

3.5.2.2 Produção de massa seca da parte aérea por plântula no estádio V_3

No primeiro ano foram coletadas 60 plântulas por subparcela para determinação da produção de massa seca por plântula. Já no segundo ano, foi realizada a coleta de uma amostra de $0,5 \text{ m}^2$ por subparcela, da qual foram extraídas 40 plântulas, de forma aleatória, para determinação da produção de massa seca por plântula. A produção de massa seca por plântula foi obtida pela divisão da massa seca obtida na amostra pelo número de plantas da amostra.

3.5.2.3 Rendimento de massa seca da parte aérea

Nos estádios V_8 e R_4 foram coletadas amostras de plantas em $0,25 \text{ m}^2$ e em $0,5 \text{ m}^2$ por subparcela no primeiro e no segundo ano, respectivamente. As amostras foram secas em estufa a 60°C até atingir peso constante. Os rendimentos obtidos nas amostras em cada subparcela nos estádios V_8 e R_4 foram extrapolados para um hectare.

3.5.2.4 Teor de macronutrientes no tecido vegetal

As plantas amostradas para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea foram moídas e o teor dos macronutrientes determinado pela metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

3.5.2.5 Quantidade de N acumulado na massa seca da parte aérea por hectare

Obtida pela multiplicação do teor de N no tecido vegetal pelo rendimento de massa seca produzida em um hectare.

3.5.2.6 Quantidade de macronutrientes acumulados na massa seca da parte aérea por plântula

Obtida pela multiplicação do teor dos macronutrientes no tecido vegetal pela produção de massa seca por plântula. A quantidade acumulada de P, K, Ca, Mg e S por plântula foi determinada somente no segundo ano do experimento.

3.5.2.7 Número de perfilhos por planta

Em cada subparcela, esse parâmetro foi obtido pela razão entre o número de colmos existentes no estágio V_8 na área demarcada (0,34 e 0,68 m² no primeiro e no segundo ano, respectivamente) pela densidade inicial de plantas, subtraindo-se o algarismo um referente ao colmo principal de cada planta.

3.5.2.8 Componentes do rendimento

- a) Número de panículas m^{-2} : obtido pela razão entre o número de panículas da amostra na área demarcada, extrapolando-se os resultados para um metro quadrado.
- b) Número de grãos panícula⁻¹: calculado pela razão entre o número total de grãos formados (extrapolado a partir do peso de 200 grãos) e o número de panículas coletadas na amostra.
- c) Peso do grão: foi obtido pela pesagem de uma amostra de 200 grãos por subparcela, contados manualmente, com correção da umidade para $130 g kg^{-1}$.
- d) Esterilidade de espiguetas: obtida pela contagem do número de espiguetas estéreis, que foram separadas da amostra por um soprador de grãos, sendo expressa em percentagem em relação ao número total de espiguetas por panícula.

3.5.2.9 Índice de colheita aparente

Obtido pela razão entre a massa seca de grãos pela massa seca total da parte área das plantas (folhas, colmos e grãos) de duas amostras de $0,34 m^2$ por subparcela.

3.5.2.10 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil da subparcela para um hectare, corrigindo-se a umidade para $130 g kg^{-1}$.

A área colhida para avaliação foi de 15,3 m², composta pelos 5 m centrais das 18 linhas centrais.

3.5.2.11 Rendimento de engenho

Uma amostra de 100 g de grãos de arroz em casca por subparcela foi processada em um engenho de prova por um minuto; em seguida, os grãos brunidos (polidos) foram pesados e os valores obtidos foram considerados como rendimento de benefício, com dados em porcentagem. Posteriormente, os grãos brunidos foram colocados no “trieur” nº 2 e a separação dos grãos inteiros e quebrados processada por 30 segundos. Após, foram pesados os grãos inteiros que permanecerem no “trieur” e o valor obtido foi considerado rendimento de inteiros e os demais como grãos quebrados, ambos expressos em porcentagem.

3.5.2.12 Teor de proteína nos grãos polidos

Após a determinação do rendimento de grãos inteiros, retirou-se uma amostra de 20 g de grãos polidos que foram moídos para avaliação do teor de N nos grãos, pela metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Multiplicando-se o teor de N no grão pelo fator 6,25 (Crusciol *et al.*, 2003), obteve-se o teor de proteína nos grãos, expresso em porcentagem.

3.5.3 Quantificação de ácidos orgânicos na solução do solo

Esse parâmetro foi mensurado somente no primeiro ano do experimento. Antes do início da irrigação do arroz foram instalados dispositivos para coleta da solução do solo em um ponto aleatório dentro de cada subparcela nos tratamentos

com azevém como cobertura de solo no inverno e na área em pousio, com dose total de N de 150 kg ha⁻¹ e aplicação de 20 kg ha⁻¹ N na semeadura (nove subparcelas). O coletor era composto por um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e 4 cm de comprimento, com as extremidades cobertas com tela de nylon com malha de 0,1 mm (Figura 1). O coletor foi preso em um outro cano de PVC de 25 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento para ser enterrado no solo de modo que ficasse na profundidade de 5,0 cm. Na parte central do coletor foi afixada uma mangueira de silicone que se estendeu até à superfície do solo. Foram coletadas amostras de 5 ml de solução do solo com utilização de uma seringa introduzida na extremidade superior da mangueira de silicone. As amostras coletadas foram acondicionadas em tubos de plástico. Logo após a coleta, foram colocadas cinco gotas de ácido fórmico em cada amostra. Em seguida, as amostras foram congeladas por 12 meses. O longo tempo de armazenamento decorreu da dificuldade de adequação da metodologia para quantificação da concentração de ácidos orgânicos. Foram feitas cinco amostragens entre o terceiro e o 23° dia após a entrada da água de irrigação na área experimental, em intervalos de cinco dias.

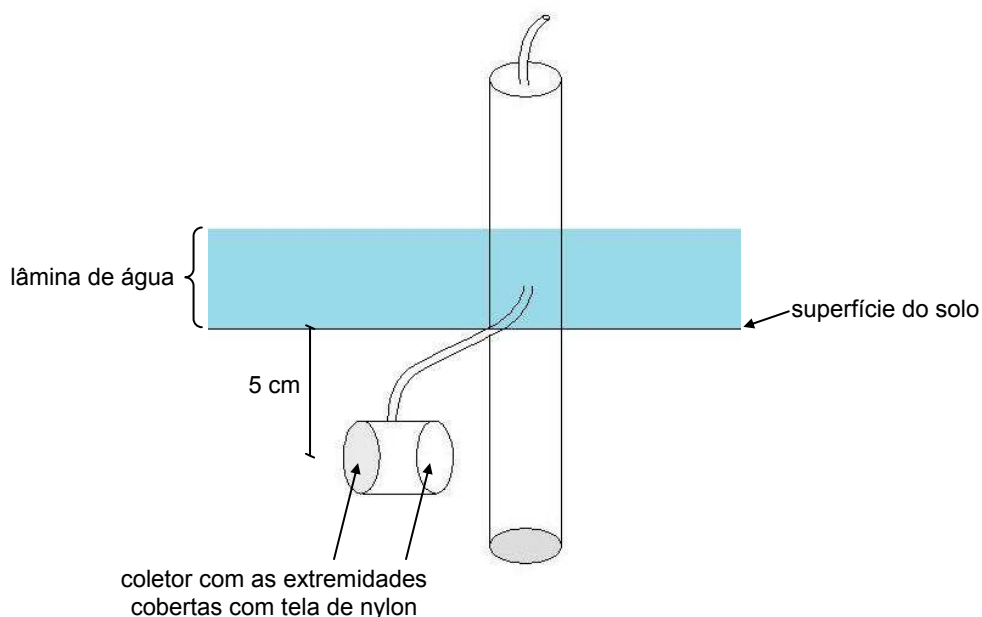


FIGURA 1. Representação esquemática do sistema de coleta da solução do solo. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Antes de serem encaminhadas para análise, as amostras foram descongeladas em banho maria à temperatura de 25°C e centrifugadas por dez minutos na velocidade de 10.000 rpm. Em seguida, essas amostras foram submetidas à passagem por um filtro com capacidade de retenção de duas micras.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da UFRGS para determinar as concentrações dos ácidos acético, propiônico e butírico por cromatografia a gás em aparelho com detector de ionização em chama (GC/FID).

Inicialmente foram preparadas soluções aquosas individuais de cada ácido para determinar as condições da análise cromatográfica (temperatura da coluna, tempo de retenção). Posteriormente preparou-se uma solução estoque mista

contendo os três ácidos pipetando 2 ml de cada em balão volumétrico de 50 ml e completando o volume com solução de NaOH 26 mmol L⁻¹, obtendo-se uma solução de concentração 40 ml L⁻¹ de cada ácido.

Para a curva analítica, preparou-se cinco soluções com diferentes concentrações a partir da solução estoque mista. As soluções da curva foram preparadas pipetando-se 200 µL, 100 µL, 50 µL, 20 µL e 10 µL da solução estoque completados à 5 ml com solução de NaOH 26 mMol L⁻¹, obtendo-se concentrações de 1,60 ml L⁻¹, 0,80 ml L⁻¹, 0,40 ml L⁻¹, 0,16 ml L⁻¹ e 0,08 µl L⁻¹, respectivamente. Todas as soluções (estoque e para a curva analítica) foram preparadas no momento do uso para evitar perdas dos analitos.

A amostra de solução do solo foi diluída pela adição de 500 µl da amostra em 4,5 ml de água ultra pura e, em seguida, analisadas por *Headspace* – microextração em fase sólida (HS-MEFS). As condições de análise foram: temperatura de equilíbrio do *vial*: dez minutos; tempo de exposição da fibra: cinco minutos; altura da fibra: 4 cm; e temperatura da amostra de solução do solo: 40°C. Na sequência, as amostras foram analisadas no cromatógrafo a gás com detector de ionização em chama (GC/FID). As condições da análise cromatográfica foram: modo de injeção por *splitless*; fluxo de gás de arraste: 1,5 ml minuto⁻¹; gás de arraste: hidrogênio; coluna: HP – 5 (30m X 0,25mm X 0,25 µm); programa de aquecimento da coluna cromatográfica com taxa de aquecimento de 10°C minuto⁻¹: 45°C por 5 minutos, 100°C por 10 minutos e elevação até 250°C; temperatura do injetor: 250°C e temperatura do detector: 250°C.

3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo F-teste ($p < 0,05$) e, quando as diferenças foram significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Para a variável produção de massa seca por plântula de arroz no estádio V_3 , que apresentou efeito simples de doses de N na semeadura, realizou-se a análise de regressão.

4 RESULTADOS

Para melhor entendimento dos resultados, a apresentação foi dividida em três partes, abrangendo 1) parâmetros relacionados à cultura do azevém; 2) parâmetros relacionados ao desenvolvimento da cultura do arroz e concentração de ácidos orgânicos na solução do solo e 3) parâmetros relacionados aos componentes do rendimento, rendimento de grãos e qualidade de grãos de arroz. O resumo da análise de variância dos dados está no Apêndice 1.

Com relação ao segundo ano de realização do experimento, somente serão apresentados os resultados obtidos até o estágio V_8 , já que nos estádios seguintes, a dissertação estava em elaboração, o que impediu a inclusão dos demais resultados. A concentração de ácidos orgânicos na solução do solo foi determinada somente no primeiro ano. Já os parâmetros teores e quantidades acumuladas dos macronutrientes P, K, Ca, Mg e S na massa seca da parte aérea do arroz irrigado no estágio V_3 foram avaliados somente no segundo ano.

4.1 Parâmetros relacionados à cultura do azevém

No primeiro ano de realização do experimento, o rendimento de massa seca do azevém no momento da sua dessecação não variou em função da dose de N aplicada em cobertura (Tabela 2). Após o corte e retirada de metade da parte

aérea das plantas de azevém, no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, as quantidades de resíduos aportadas ao solo diferenciaram-se estatisticamente (Tabela 2). No tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, a quantidade de resíduos aportada ao solo foi 58% menor em relação ao tratamento com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. A relação C:N dos resíduos não variou em função da dose de N aplicada em cobertura (Tabela 2).

TABELA 2. Rendimento de massa seca da parte aérea, quantidade aportada ao solo e relação C:N de resíduos de azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2008.

Dose de N aplicada (kg ha ⁻¹)	Rendimento de massa seca (t ha ⁻¹) ¹	Quantidade de resíduos aportada ao solo (t ha ⁻¹) ²	Relação C:N ³
50	4,38 ^{ns}	1,87 b*	23:1 ^{ns}
100	4,42	4,42 a	23:1
CV (%)	6,7	17,8	18,7

^{ns}: não significativo (p<0,05). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). ¹ Avaliado no momento da dessecação das plantas de azevém. ² Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ³ Determinada em amostras de tecido vegetal correspondentes a toda parte aérea das plantas de azevém. CV: coeficiente de variação.

Os teores e as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos resíduos de azevém não foram alterados em função da dose de N aplicada em cobertura (Tabela 3). Após o corte e retirada de metade da parte aérea das plantas de azevém, no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, as quantidades acumuladas de P, K, Ca e Mg por hectare nos resíduos de azevém não variaram com a dose de N aplicada em cobertura (Tabela 3). Já as quantidades acumuladas de N e S por hectare nos resíduos de azevém variaram significativamente em função da dose de N aplicada em cobertura (Tabela 3). Com o aporte de menor quantidade de resíduos ao solo, as quantidades de N e S

acumuladas foram 66 e 62% menores em relação ao tratamento com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Em ordem decrescente, os resíduos de azevém acumularam mais N, K e Ca.

TABELA 3. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2008.

Dose de N aplicada (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
----- Teor (%) ¹ -----						
50	2,03 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,21 ^{ns}
100	1,55	0,30	1,60	0,54	0,27	0,23
CV (%)	18,6	25,6	25,6	0	3,8	13,6
----- Quantidade acumulada na parte aérea (kg ha ⁻¹) ¹ -----						
50	69,3 ^{ns}	14,0 ^{ns}	68,5 ^{ns}	23,7 ^{ns}	11,6 ^{ns}	9,4 ^{ns}
100	89,4	14,0	73,4	24,7	12,3	10,7
CV (%)	15,5	15,8	33,3	8,8	5,0	5,1
----- Quantidade acumulada na parte aérea (kg ha ⁻¹) -----						
50 + corte da PA ²	30,5 b*	5,8 ^{ns}	30,4 ^{ns}	10,1 ^{ns}	5,0 ^{ns}	4,0 b
100 ¹	89,4 a	14,0	73,4	24,7	12,3	10,7 a
CV (%)	11,8	12,4	38,0	15,6	8,9	1,0

^{ns}: não significativo (p<0,05). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). ¹Avaliado nos resíduos de azevém no momento da sua dessecação. ²Baseada na quantidade de resíduos de azevém aportados ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. PA: parte aérea. CV: coeficiente de variação.

No segundo ano do experimento, o incremento da dose de N aplicada em cobertura no azevém de 25 para 50 kg ha⁻¹ aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea no momento da dessecação em 46% (Tabela 4). Nesse ano, a relação C:N dos resíduos foi maior que a verificada no primeiro ano e também não variou em função de doses de N (Tabela 4).

TABELA 4. Rendimento de massa seca da parte aérea e relação C:N de resíduos de azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2009.

Dose de N aplicada (kg ha ⁻¹)	Rendimento de massa seca (t ha ⁻¹) ¹	Relação C:N
25	2,94 b*	57:1 ^{ns}
50	4,30 a	51:1
CV (%)	8,6	14,6

^{ns}: não significativo (p<0,05). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). ¹Avaliado no momento da dessecação das plantas de azevém. CV: coeficiente de variação.

No segundo ano, os teores dos macronutrientes na parte aérea do azevém não variaram em função da dose de N aplicada em cobertura, exceto para K, que foi menor com a aplicação da maior dose de N em cobertura (Tabela 5). Entretanto, as quantidades acumuladas dos macronutrientes por hectare aumentaram com a aplicação da maior dose de N em cobertura (50 kg ha⁻¹ de N), embora as diferenças não tenham sido significativas para os nutrientes K e Ca. Em ordem decrescente, os resíduos de azevém acumularam mais K, N e Ca.

TABELA 5. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do azevém em função da dose de N em cobertura. Cachoeirinha, RS, 2009.

Dose de N aplicada (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
----- Teor (%) ¹ -----						
25	0,80 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,53 a	0,29 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}
50	0,85	0,20	1,27 b	0,37	0,14	0,11
CV (%)	15,8	10,0	2,9	23,4	18,8	10,3
----- Quantidade acumulada na parte aérea (kg ha ⁻¹) ¹ -----						
25	23,0 b	6,5 b	45,0 ^{ns}	8,5 ^{ns}	3,4 b	3,0 b
50	36,5 a	8,9 a	54,4	16,0	6,0 a	4,6 a
CV (%)	7,1	2,8	11,9	20,0	12,8	5,1

^{ns}: não significativo (p<0,05). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). ¹Avaliado nos resíduos de azevém no momento da sua dessecação. CV: coeficiente de variação.

4.2 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento da cultura do arroz

4.2.1 Densidade inicial de plântulas

No primeiro ano, não houve efeito dos fatores sistemas de cobertura de solo no inverno e doses de N na semeadura para densidade inicial (Tabela 6). O número médio de plântulas por metro quadrado foi de 255.

TABELA 6. Densidade inicial de plântulas de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Densidade inicial ¹ (plântulas m ⁻²)
Pousio	0	268 ^{ns}
	10	280
	20	258
	40	263
	Média	267
1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	235
	10	249
	20	263
	40	262
	Média	252
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	0	246
	10	236
	20	259
	40	239
	Média	245
CV (%)		17,1

^{ns}: não significativo (p<0,05). ¹Avaliação realizada com plântulas no estágio de três folhas expandidas (V₃) de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. CV: coeficiente de variação.

No segundo ano, foi significativo apenas o efeito simples de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 7). A densidade inicial de plântulas de arroz foi 15% menor no tratamento pousio em relação à média dos dois tratamentos com resíduos de azevém, que não se diferenciaram entre si.

TABELA 7. Densidade inicial de plântulas de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo de inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Densidade inicial ¹ (plântulas m ⁻²)
Pousio	208 b*
2,94 t ha ⁻¹ de MS de azevém	244 a
4,30 t ha ⁻¹ de MS de azevém	246 a
CV (%)	16,2

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). ¹Avaliação realizada com plântulas no estágio de três folhas expandidas (V₃) de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). CV: coeficiente de variação.

4.2.2 Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz no estágio V₃

No primeiro ano, não houve efeito significativo de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura na produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz no estágio V₃ (Tabela 8). A produção média de massa seca foi 17,90 mg plântula⁻¹, com variação de 16,27 a 19,93 mg.

TABELA 8. Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Produção de MS (mg plântula ⁻¹) ²
	0	17,32 ^{ns}
Pousio	10	16,93
	20	18,30
	40	18,52
Média		17,76
	0	16,75
1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ³	10	19,93
	20	16,33
	40	18,92
Média		17,98
	0	16,27
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	10	17,77
	20	18,32
	40	19,53
Média		17,97
CV (%)		18,0

^{ns}: não significativo ($p < 0,05$). ¹Estádio V₃ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Média de 60 plântulas por subparcela. ³Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. CV: coeficiente de variação.

No segundo ano, foram significativos os efeitos simples de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 9) e de doses de N na semeadura para esse parâmetro (Figura 2). No tratamento com adição de 4,30 t ha⁻¹ de resíduos de azevém a produção de massa seca por plântula de arroz diminuiu 11% em relação ao tratamento pousio.

TABELA 9. Produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Produção de MS (mg plântula ⁻¹) ²
Pousio	27,79 a*
2,94 t ha ⁻¹ de MS de azevém	25,69 ab
4,30 t ha ⁻¹ de MS de azevém	24,83 b
CV (%)	17,1

¹Estádio V₃ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Média de 40 plântulas por subparcela. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). CV: coeficiente de variação.

A produção de massa seca da parte aérea por plântula de arroz no estágio V₃ aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de N na semeadura (Figura 2). A dose de máxima eficiência técnica foi de 26,6 kg ha⁻¹ de N.

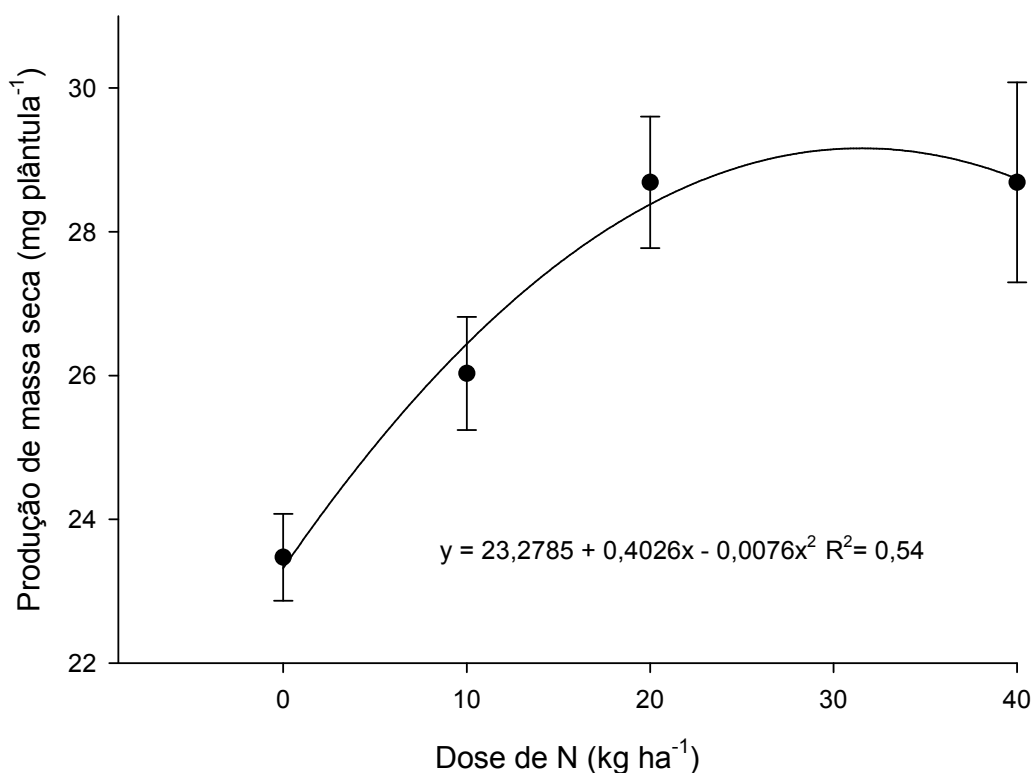


FIGURA 2. Produção de massa seca da parte aérea por plântula* de arroz irrigado no estágio de três folhas expandidas em função de doses de N na semeadura, na média de três sistemas de cobertura de solo de inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10. Barras verticais representam o erro padrão. ^{*}Média de 40 plântulas por subparcela.

4.2.3 Teor e quantidade de macronutrientes acumulados na parte aérea das plântulas de arroz no estágio V₃

No primeiro ano do experimento, foram analisados somente o teor e a quantidade de N acumulado na parte aérea das plântulas de arroz nesse estágio, os quais não variaram significativamente em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N aplicadas na semeadura (Apêndice 2). O teor médio de N no tecido foi de 4,2%, enquanto que a quantidade média de N acumulada foi de 0,76 mg plântula⁻¹.

No segundo ano do experimento, foram analisados os teores de todos os seis macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea por plântula de arroz. Para os teores de P, K e Mg houve efeito simples de sistema de cobertura de solo no inverno (Tabela 10). A presença de resíduos de azevém diminuiu os teores desses nutrientes na parte aérea das plântulas de arroz, enquanto que os teores de N, Ca e S não variaram em função de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 10).

Para as quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plântulas de arroz irrigado também houve efeito simples de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 10). A presença de resíduos de azevém diminuiu as quantidades de P, K, Ca, Mg e S acumuladas na parte aérea das plântulas em 19, 14, 13, 17 e 14%, respectivamente. A quantidade acumulada de N não variou em função de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 10).

TABELA 10. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea por plântula de arroz irrigado com três folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de quatro doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Sistema de cobertura de solo no inverno	N	P	K	Ca	Mg	S
----- Teor (%) -----						
Pousio	3,15 ^{ns}	0,35 a	3,00 a	0,33 ^{ns}	0,21 a	0,29 ^{ns}
2,94 t ha ⁻¹ de MS de azevém	2,88	0,31 b	2,83 b	0,31	0,19 b	0,27
4,30 t ha ⁻¹ de MS de azevém	2,82	0,32 b	2,87 b	0,32	0,19 b	0,40
CV (%)	26,7	8,7	6,4	8,2	13,1	99,0
----- Quantidade acumulada plântula ⁻¹ (mg) ² -----						
Pousio	0,873 ^{ns}	0,099 a	0,842 a	0,093 a	0,059 a	0,083 a
2,94 t ha ⁻¹ de MS de azevém	0,736	0,080 b	0,730 b	0,081 b	0,049 b	0,071 b
4,30 t ha ⁻¹ de MS de azevém	0,691	0,081 b	0,722 b	0,081 b	0,049 b	0,071 b
CV (%)	28,7	19,4	19,0	18,0	24,2	18,6

¹Estádio V₃ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Baseada na produção de massa seca plântula⁻¹ calculada a partir da média de 40 plântulas por subparcela. ^{ns}: não significativo (p<0,05). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

Para os teores de K, Ca e Mg no tecido houve efeito simples de dose de N na semeadura (Tabela 11). A aplicação das doses de 10 e 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura aumentou o teor de K, enquanto que a ausência de N na semeadura diminuiu o teor de Ca. O teor de Mg apresentou diferença significativa apenas entre os tratamentos sem aplicação de N na semeadura e com aplicação de 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Os teores de N, P e S não variaram em função da dose de N na semeadura (Tabela 11).

Para quantidade acumulada de P, K, Ca, Mg e S houve efeito simples de dose de N na semeadura (Tabela 11). No tratamento sem aplicação de N na

semeadura, a quantidade acumulada de Ca e S foi menor em relação aos tratamentos com aplicação de 10, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura. A quantidade acumulada de P, K e Mg com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura não diferiu da quantidade acumulada no tratamento sem aplicação de N na semeadura.

TABELA 11. Teores e quantidades acumuladas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plântulas de arroz irrigado com três folhas expandidas¹ em função de doses de N na semeadura, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Dose de N na semeadura (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
----- Teor (%) -----						
0	2,94 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,78 b	0,30 b	0,18 b	0,27 ^{ns}
10	3,00	0,33	2,98 a	0,33 a	0,21 a	0,29
20	2,69	0,33	2,83 b	0,33 a	0,19 ab	0,29
40	3,18	0,34	3,01 a	0,32 a	0,20 ab	0,46
CV (%)	26,7	8,7	6,4	8,2	13,1	99,0
----- Quantidade acumulada plântula ⁻¹ (mg) ² -----						
0	0,683 ^{ns}	0,076 b	0,660 b	0,072 b	0,044 b	0,065 b
10	0,784	0,094 a	0,840 a	0,093 a	0,059 a	0,082 a
20	0,749	0,087 ab	0,737 ab	0,086 a	0,050 ab	0,074 a
40	0,856	0,091 a	0,826 a	0,090 a	0,056 a	0,078 a
CV (%)	28,7	19,4	19,0	18,0	24,2	18,6

¹Estádio V₃ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Baseada na produção de massa seca plântula⁻¹ calculada a partir da média de 40 plântulas por subparcela. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.2.4 Concentração de ácidos orgânicos na solução do solo

Durante o período de realização das coletas (do terceiro ao 23º dias após o início da irrigação do arroz), foi detectada somente a presença de acetato na solução do solo, ou seja, ácido acético na forma totalmente dissociada. No

entanto, a sua concentração não foi influenciada pelos sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 12).

TABELA 12. Evolução da concentração de acetato na solução do solo cultivado com arroz irrigado, no período do terceiro ao 23º dia após o alagamento (DAA), em função de sistemas de cobertura de solo no inverno¹. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	3 DAA	8 DAA	13 DAA	18 DAA	23 DAA
	----- Concentração (mg L ⁻¹) -----				
Pousio	824 ^{ns}	556 ^{ns}	197 ^{ns}	1309 ^{ns}	7432 ^{ns}
1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém	28	312	138	1233	1651
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	705	4184	678	2246	2061
CV (%)	135	244	135	77	117

^{ns}: não significativo (p<0,05). ¹As amostras foram coletadas no tratamento com dose total de 150 kg ha⁻¹ de N e aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura. CV: coeficiente de variação.

4.2.5 Número de perfilhos por planta no estágio V₈

No primeiro ano de estudo, houve apenas efeito simples de sistema de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 13). O número de perfilhos por planta variou de 2,42 a 3,61, com média de 3,15. Nos tratamentos com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, o número de perfilhos por planta foi semelhante ao tratamento sem aplicação de N, exceto o tratamento com aplicação de 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Já o número de perfilhos nos tratamentos com dose total de 150 kg ha⁻¹ de N foi 44% superior ao do tratamento sem aplicação de N. Dentre os tratamentos com aplicação de N, o tratamento com dose total de 90 kg ha⁻¹ de N com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi o que apresentou menor valor numérico para essa característica.

TABELA 13. Número de perfilhos por planta de arroz irrigado no estádio com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estádio ² de aplicação			Nº de perfilhos planta ⁻¹
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	2,42 c*
90	0	60	30	3,13 abc
	10	54	26	3,23 ab
	20	46	24	2,85 abc
	40	33	17	2,78 bc
150	0	100	50	3,61 a
	10	93	47	3,38 ab
	20	86	44	3,36 ab
	40	73	37	3,57 a
CV (%)				22,2

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

No segundo ano, o número de perfilhos por planta também apresentou apenas efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 14). O número de perfilhos por planta variou de 1,65 a 2,94, com média de 2,32. Na menor dose de N (90 kg ha⁻¹), a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura reduziu em 36 e 31% o número de perfilhos por planta em relação aos tratamentos sem aplicação de N na semeadura e com aplicação de 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura, respectivamente. Na dose de 150 kg ha⁻¹ de N, houve redução do número de perfilhos por planta com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura em relação ao tratamento sem aplicação de N na semeadura. No entanto, não houve diferença entre os tratamentos com aplicação de 10, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

TABELA 14. Número de perfilhos por planta de arroz irrigado no estágio com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação			Nº de perfilhos planta ⁻¹
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	1,69 c*
90	0	60	30	2,57 ab
	10	54	26	2,38 ab
	20	46	24	2,25 bc
	40	33	17	1,65 c
150	0	100	50	2,94 a
	10	93	47	2,58 ab
	20	86	44	2,17 bc
	40	73	37	2,65 ab
CV (%)				25

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.2.6 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas com oito folhas expandidas (V₈)

No primeiro ano, foram significativos os efeitos simples de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. O rendimento de massa seca da parte aérea do arroz diminuiu com a adição da maior quantidade de resíduos de azevém (4,42 t ha⁻¹) comparado aos tratamentos pousio e com adição de 1,87 t ha⁻¹ de resíduos de azevém, os quais não se diferenciaram entre si (Tabela 15).

TABELA 15. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estádio com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo de inverno, na média de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Rendimento de MS (t ha ⁻¹)
Pousio	2,88 a*
1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	2,66 a
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	2,32 b
CV (%)	18,8

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

O menor rendimento de massa seca foi observado no tratamento sem aplicação de N, o qual foi 44% menor do que a média dos tratamentos com aplicação de N (Tabela 16). Nos tratamentos com dose total de 90 kg ha⁻¹ de N, o aumento da dose de N na semeadura de 0 e 10 kg para 40 kg ha⁻¹ de N reduziu o rendimento de massa seca em aproximadamente 20%. No entanto, nos tratamentos com dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, o aumento da dose de N na semeadura não influenciou o rendimento de massa seca. Na média dos tratamentos com dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, o rendimento de massa seca foi 82% superior ao observado no tratamento sem aplicação de N.

TABELA 16. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação			Rendimento de MS (t ha ⁻¹)
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	1,55 c*
90	0	60	30	2,97 a
	10	54	26	2,92 a
	20	46	24	2,46 ab
	40	33	17	2,38 b
150	0	100	50	2,63 ab
	10	93	47	2,87 ab
	20	86	44	2,83 ab
	40	73	37	2,98 a
CV (%)				18,8

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

No segundo ano, houve interação de sistema de cobertura de solo no inverno e sistema de manejo da adubação nitrogenada para essa característica (Tabela 17). Embora estatisticamente não tenha se diferido da maioria dos tratamentos, os tratamentos sem aplicação de N apresentaram os menores valores numéricos para rendimento de massa seca da parte aérea do arroz nos três sistemas de cobertura de solo no inverno, com rendimentos abaixo de 1,50 t ha⁻¹. O maior valor numérico para rendimento de massa seca foi de 3,64 t ha⁻¹ no tratamento pousio com aplicação da dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, sendo 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, com variação de rendimento de massa seca entre 2,0 e 3,0 t ha⁻¹.

TABELA 17. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estágio de oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada e de sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação de N			Rendimento de MS (t ha ⁻¹)	
		Semeadura	Cobertura			
			V ₃	V ₈		
Pousio	0	0	0	0	1,28 (±0,301)*	
		0	60	30	2,15 (±0,307)	
		10	54	26	1,95 (±0,353)	
	90	20	46	24	3,00 (±0,547)	
		40	33	17	1,83 (±0,351)	
		0	100	50	2,25 (±0,740)	
	150	10	93	47	2,69 (±0,449)	
		20	86	44	3,64 (±0,395)	
		40	73	37	2,83 (±0,443)	
	2,94 t ha ⁻¹ de MS ² de azevém	0	0	0	0	1,34 (±0,087)
			0	60	30	2,07 (±0,395)
			10	54	26	2,35 (±0,166)
90		20	46	24	2,99 (±0,972)	
		40	33	17	2,25 (±0,926)	
		0	100	50	2,48 (±0,288)	
150		10	93	47	1,68 (±0,230)	
		20	86	44	2,60 (±0,156)	
		40	73	37	2,37 (±0,552)	
4,30 t ha ⁻¹ de MS ² de azevém		0	0	0	0	1,46 (±0,150)
			0	60	30	2,08 (±0,421)
			10	54	26	2,45 (±0,620)
	90	20	46	24	1,87 (±0,220)	
		40	33	17	2,07 (±0,416)	
		0	100	50	2,10 (±0,424)	
	150	10	93	47	2,05 (±0,212)	
		20	86	44	2,18 (±0,072)	
		40	73	37	2,45 (±0,421)	
	CV (%)					20,9

¹Estádio V₈, segundo escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000).

*Desvio padrão da média. CV: coeficiente de variação.

4.2.7 Teor e quantidade de N acumulado na parte aérea das plantas com oito folhas expandidas (V₈)

No primeiro ano, o teor de N no tecido no estágio V₈ não variou em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e sistemas de manejo da adubação nitrogenada, com média de 1,9% (Apêndice 3). No entanto, para quantidade de N acumulada na parte aérea por hectare houve efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 18). A quantidade de N acumulada variou de 25,7 a 61,3 kg ha⁻¹. A menor quantidade de N acumulada foi observada no tratamento sem aplicação de N, embora não tenha se diferido estatisticamente do tratamento com dose total de 90 kg ha⁻¹ de N e aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Não houve diferença na quantidade de N acumulada entre os tratamentos com aplicação de N.

TABELA 18. Quantidade de nitrogênio (N) acumulada na parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação			N acumulado na parte aérea (kg ha ⁻¹)
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	25,7 b*
90	0	60	30	50,7 a
	10	54	26	55,3 a
	20	46	24	41,8 ab
	40	33	17	44,8 a
150	0	100	50	54,1 a
	10	93	47	54,5 a
	20	86	44	53,5 a
	40	73	37	61,3 a
CV (%)				37,3

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

Os resultados obtidos para os parâmetros teor de N no tecido e quantidade de N acumulado no segundo ano do experimento foram semelhantes aos do primeiro ano. O teor de N não variou em função dos tratamentos, com média de 2,4% (Apêndice 11). Para quantidade de N acumulada na massa seca da parte aérea, houve efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 19). Na menor dose total de N (90 kg ha^{-1}), a quantidade de N acumulada foi maior nos tratamentos com aplicação de 10 e de 20 kg ha^{-1} de N na semeadura em relação ao tratamento sem aplicação de N durante todo ciclo. Já na maior dose total de N (150 kg ha^{-1}), a quantidade de N acumulada foi maior nos tratamentos com aplicação de 20 e de 40 kg ha^{-1} de N em relação ao tratamento sem aplicação de N.

TABELA 19. Quantidade de nitrogênio (N) acumulada na parte aérea de plantas de arroz irrigado com oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Dose total de N (kg ha^{-1})	Dose (kg ha^{-1}) e estágio ² de aplicação			N acumulado na parte aérea (kg ha^{-1})
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	33,4 d*
90	0	60	30	47,5 bcd
	10	54	26	57,3 abc
	20	46	24	57,9 abc
	40	33	17	44,1 cd
150	0	100	50	52,0 abcd
	10	93	47	53,2 abcd
	20	86	44	66,5 ab
	40	73	37	72,4 a
CV (%)				34,7

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). CV: coeficiente de variação.

4.2.8 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas na antese

(R₄)

Para esse parâmetro e para os que se seguem, são disponíveis apenas os dados relativos ao primeiro ano de execução do experimento (2008/09), visto que durante a elaboração da dissertação o experimento ainda estava em andamento.

Para rendimento de massa seca na antese, houve apenas efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 20). Os tratamentos sem aplicação de N e com aplicação de 10 e 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura na dose total de 90 kg ha⁻¹ de N e o tratamento sem aplicação de N na semeadura na dose total de 150 kg ha⁻¹ de N não diferiram do tratamento sem aplicação de N. Na dose total de 90 kg ha⁻¹ de N, a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura aumentou o rendimento de massa seca em relação às demais doses de N aplicadas na semeadura (0, 10 e 20 kg ha⁻¹ de N).

TABELA 20. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado na antese¹ em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação			Rendimento de MS (t ha ⁻¹)
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	10,1 d*
90	0	60	30	11,1 bcd
	10	54	26	11,9 bcd
	20	46	24	10,6 cd
	40	33	17	14,0 a
150	0	100	50	11,8 bcd
	10	93	47	12,8 ab
	20	86	44	12,3 bc
	40	73	37	12,2 bc
CV (%)				14,3

¹Estádio R₄ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.2.9 Teor e quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas na antese (R₄)

Esses parâmetros não variaram em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Apêndices 4 e 5). Na média de todos os tratamentos, o teor de N no tecido na antese foi de 1,1%, enquanto que a quantidade de N acumulada na parte aérea foi de 124 kg ha⁻¹.

4.3 Parâmetros relacionados aos componentes do rendimento, rendimento de grãos e qualidade de grãos de arroz

4.3.1 Número de panículas por metro quadrado

Para número de panículas por metro quadrado, houve apenas efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 21). Não houve diferença entre os tratamentos com aplicação de N. Somente os tratamentos sem

aplicação de N na semeadura e com aplicação de 10 e de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura na dose total de 150 kg ha⁻¹ de N foram superiores ao tratamento sem aplicação de N durante todo o ciclo.

TABELA 21. Número de panículas de arroz irrigado por metro quadrado em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo de inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação			Nº de panículas m ⁻²
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	593 b*
	0	60	30	641 ab
	10	54	26	642 ab
	20	46	24	630 ab
	40	33	17	645 ab
150	0	100	50	688 a
	10	93	47	692 a
	20	86	44	621 ab
	40	73	37	676 a
	CV (%)			

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.3.2 Número grãos por panícula

Para esse componente, houve somente efeito simples de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 22). Em relação ao tratamento com adição de 4,42 t ha⁻¹ de resíduos de azevém, o número de grãos de arroz por panícula foi reduzido em 14 e 16% nos tratamentos pousio e com adição de menor quantidade de massa seca de azevém (1,87 t ha⁻¹), respectivamente.

TABELA 22. Número de grãos por panícula de arroz irrigado em função de sistemas de cobertura de solo no inverno, na média de nove sistemas de manejo da adubação nitrogenada no arroz irrigado. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo de inverno	Nº de grãos panícula ¹
Pousio	64 b*
1,87 t ha ⁻¹ de MS ¹ azevém ¹	62 b
4,42 t ha ⁻¹ de MS azevém	74 a
CV (%)	20,0

¹Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.3.3 Peso de 1000 grãos

Para esse componente do rendimento, não houve efeito dos fatores sistema de cobertura de solo no inverno e sistema de manejo da adubação nitrogenada (Apêndice 6). O valor médio observado para peso de 1000 grãos foi de 26,3 g.

4.3.4 Esterilidade de espiguetas

Para esse parâmetro, também não foram significativos os efeitos dos fatores sistemas de cobertura de solo no inverno e sistemas de manejo da adubação nitrogenada no arroz (Apêndice 7). O valor médio observado para esterilidade de espiguetas foi de 16%.

4.3.5 Índice de colheita aparente

Para essa característica, não houve efeito dos fatores sistema de cobertura de solo no inverno e sistema de manejo da adubação nitrogenada no arroz. O valor médio observado para esse parâmetro foi de 0,52 (Apêndice 8).

4.3.6 Rendimento de grãos

Foi significativo apenas o efeito simples de sistemas de manejo da adubação nitrogenada (Tabela 23). O rendimento de grãos médio foi de 10,5 t ha⁻¹, com variação de 9,5 a 11,5 t ha⁻¹. O rendimento de grãos obtido no tratamento sem aplicação de N durante todo o ciclo foi similar aos obtidos nos tratamentos com dose total de 90 kg ha⁻¹, exceto quando não se aplicou N na semeadura. Nessa dose, as aplicações de 10, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura reduziram o rendimento em 12, 17 e 17% em relação ao tratamento sem aplicação de N na semeadura e com aplicação de 90 kg ha⁻¹ em cobertura. Já na dose total de 150 kg ha⁻¹, o rendimento de grãos não foi influenciado pela dose de N na semeadura.

TABELA 23. Rendimento de grãos de arroz irrigado em função de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, na média de três sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação			Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)
	Semeadura	Cobertura		
		V ₃	V ₈	
0	0	0	0	10,0 bc*
90	0	60	30	11,5 a
	10	54	26	10,1 bc
	20	46	24	9,6 c
	40	33	17	9,5 c
150	0	100	50	10,7 ab
	10	93	47	11,0 a
	20	86	44	11,3 a
	40	73	37	10,9 a
CV (%)				7,2

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

4.3.7 Rendimento de engenho e teor de proteína nos grãos

Esses dois parâmetros não foram influenciados pelos sistemas de cobertura de solo no inverno e pelos sistemas de manejo da adubação nitrogenada na cultura do arroz (Apêndices 9 e 10). Os valores médios observados para rendimento de engenho e teor de proteína nos grãos foram de 63,0 e 7,6%, respectivamente.

5 DISCUSSÃO

Para facilitar a discussão dos resultados, serão abordados inicialmente os aspectos relacionados à cultura do azevém, em seguida os pertinentes à reciclagem de nutrientes para a cultura do arroz irrigado em sucessão, aos efeitos dos resíduos na densidade inicial de plântulas de arroz e na concentração de ácidos orgânicos e, por último, ao desenvolvimento das plantas e ao rendimento de grãos de arroz.

A primeira hipótese do presente trabalho é que a utilização do azevém como cobertura de solo no inverno contribui para a reciclagem de nutrientes na entressafra do arroz. Dessa forma, o cultivo do azevém poderia reciclar nutrientes do solo, disponibilizando-os posteriormente para a cultura do arroz irrigado cultivado em sucessão e, assim, diminuindo a possibilidade de perdas para o ambiente.

Os rendimentos de massa seca da parte aérea do azevém variaram entre 2,94 a 4,42 t ha⁻¹ nos dois anos de condução do experimento (Tabelas 2 e 4), que são considerados, respectivamente, médio e alto, segundo a classificação de Amado (2002). Esses rendimentos foram semelhantes aos obtidos em experimentos anteriores realizados no mesmo local (Menezes *et al.*, 2001; Jandrey, 2008; Serpa *et al.*, 2009). No primeiro ano, o rendimento de massa seca

da parte aérea do azevém não variou em função das duas doses (50 e 100 kg ha⁻¹) de N aplicadas em cobertura (Tabela 2). Em função disso, realizou-se o corte e a retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N para diferenciar as quantidades de resíduos presentes no solo. O fato da área experimental ter sido mantida em pousio no verão nos quatro anos anteriores ao experimento e de que, durante esse período no inverno, ela ter sido cultivada com o consórcio de serradela nativa e azevém podem ter contribuído para o aumento da disponibilidade de N no solo. Esse histórico de uso da área foi, provavelmente, determinante para obtenção do máximo rendimento de massa seca do azevém no primeiro ano já com a aplicação da menor dose de N em cobertura (50 kg ha⁻¹). A baixa relação C:N (23:1) da palha do azevém no primeiro ano de realização do experimento (Tabela 2) também é um indicativo de que havia uma alta disponibilidade de N para o desenvolvimento das plantas.

Em função desses resultados, no segundo ano reduziu-se as doses de N aplicadas em cobertura no azevém pela metade em cada um dos tratamentos (25 e 50 kg ha⁻¹ de N). Com isso, observou-se aumento do rendimento de massa seca da parte aérea com o incremento da dose de N (Tabela 4). No entanto, a relação C:N dos resíduos foi alta, sendo de 51:1 e 57:1, respectivamente, com as aplicações de 25 e 50 kg ha⁻¹ de N (Tabela 4). Esses altos valores da relação C:N observados no segundo ano estão associados ao baixo teor de N nos resíduos de azevém (menor que 1%) (Tabela 5). Isso pode estar relacionado à menor disponibilidade de N no solo em função de que, no segundo ano, o experimento foi realizado no mesmo local do ano anterior, o que diminuiu o efeito do cultivo do

consórcio de serradela nativa e azevém durante os anos em que a área esteve em pousio na disponibilização de N.

Com o aumento do rendimento de massa seca do azevém com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura no segundo ano (Tabela 4) houve maior acúmulo de N, P, Mg e S por hectare nos resíduos de azevém nesse tratamento em relação ao com aplicação de 25 kg ha⁻¹ de N (Tabela 5). No entanto, ao contrário do esperado, houve menor acúmulo de P, K, Ca, Mg e S nas plântulas de arroz (estádio V₃) em sucessão ao azevém comparadas às em sucessão ao pousio (Tabela 10). Além disso, não houve diferenças nas quantidades acumuladas de todos os macronutrientes nas plântulas de arroz no estágio V₃ entre os dois tratamentos com diferentes quantidades de resíduos de azevém (Tabela 10).

As maiores quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S por plântula de arroz no estágio V₃ em sucessão ao pousio no segundo ano podem estar relacionadas à maior produção de massa seca por plântula em relação ao tratamento com aporte de 4,30 t ha⁻¹ de resíduos de azevém (Tabela 9). A quantidade acumulada de macronutrientes por plântula depende do teor do nutriente no tecido e da produção de massa seca por plântula. Assim, considerando a pouca variação verificada nos teores dos nutrientes no tecido em função de sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 10), a quantidade acumulada de macronutrientes por plântula de arroz variou de forma proporcional à produção de massa seca por plântula.

A adubação de base aplicada no arroz também pode estar relacionada à redução da quantidade acumulada de macronutrientes por plântula de arroz nos dois tratamentos com resíduos de azevém em relação ao pousio no segundo ano.

É possível que a alta adubação aplicada na semeadura do arroz (50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 100 kg ha^{-1} K_2O) tenha contribuído para mascarar o efeito dos macronutrientes disponibilizados pelos resíduos de azevém para as plântulas de arroz, pelo menos até o estágio V_3 . Além da adubação de base, o amplo intervalo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz também pode ter influenciado a reciclagem de macronutrientes dos resíduos de azevém para a cultura do arroz, especialmente para o K. Quando há um amplo intervalo entre a dessecação de espécies de cobertura de solo e a semeadura da cultura em sucessão, a rápida liberação de K (80% em trinta dias) dos resíduos pode aumentar a perda desse nutriente por lixiviação, especialmente em solos arenosos e com baixa CTC (Mielniczuk, 2005).

Além disso, é preciso considerar que os efeitos da reciclagem de nutrientes são geralmente visualizados a médio e longo prazos para a maioria dos nutrientes (Anghinoni, 2007). Portanto, é preciso investigar esse aspecto por um período maior de tempo do que os dois anos de realização do experimento. Somado a isso, para uma visualização clara da reciclagem de nutrientes pelo azevém seria ideal a inclusão de um tratamento sem adubação no arroz em sucessão e a determinação dos teores e quantidades de macronutrientes acumulados em estádios mais avançados de desenvolvimento da planta de arroz. O azevém possui grande potencial na reciclagem de nutrientes devido à alta capacidade de produção de massa seca e absorção de nutrientes. Em função disso, essa espécie apresenta elevado potencial para reduzir perdas de nutrientes durante a entressafra do arroz.

Baseado nos aspectos discutidos, a hipótese de que o cultivo do azevém poderia contribuir para reciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para o arroz em sucessão não pôde ser confirmada.

Além do uso potencial como cultura recicladora de nutrientes, outro benefício da utilização do azevém como cobertura de solo no inverno é o efeito positivo de seus resíduos em diminuir a infestação de plantas daninhas. Embora não tenha sido avaliado no presente trabalho, observou-se visualmente que a presença de resíduos de azevém reduziu muito a incidência de plantas daninhas em relação ao pousio. A presença de resíduos culturais sobre o solo dificulta a emergência e/ou o desenvolvimento de plantas de várias espécies daninhas devido ao efeito físico de sombreamento pelos resíduos, à redução da amplitude térmica do solo e à liberação de aleloquímicos para o solo (Severino & Christoffoleti, 2001).

A segunda hipótese do trabalho é de que a presença de alta quantidade de resíduos de azevém (mais que $4,0 \text{ t ha}^{-1}$) pode reduzir a densidade inicial de plântulas de arroz e contribuir para a produção de ácidos orgânicos na solução do solo em concentrações fitotóxicas após o alagamento.

Nos dois anos, não houve redução da densidade inicial de plântulas devido à presença de resíduos de azevém em relação ao tratamento pousio, independentemente da quantidade de resíduos aportada ao solo (Tabelas 6 e 7). Pelo contrário, no segundo ano de estudo a densidade inicial de plântulas foi maior nos dois tratamentos com presença de resíduos de azevém em relação ao pousio (Tabela 7).

O aumento da densidade inicial de plântulas no segundo ano nos dois tratamentos com resíduos de azevém em relação ao pousio pode estar relacionado à manutenção de maior umidade do solo por maior período de tempo nos tratamentos com presença de resíduos. Isso evita a formação de crosta na superfície do solo, que pode dificultar a emergência das plântulas da cultura em sucessão (Sá & Molin, 1994). A maior umidade do solo em função da presença de resíduos culturais em sua superfície ocorre devido à interceptação e à reflexão de parte da radiação solar incidente sobre o solo para a atmosfera pelos resíduos. Isso diminui o aquecimento excessivo do solo e a perda de água por evaporação. Na cultura do milho, em sistema plantio direto, a redução na evaporação da água do solo foi de 40% com adição de 6,0 t ha⁻¹ de resíduos de aveia preta (*Avena sativa*) em relação ao tratamento com solo descoberto (Andrade *et al.*, 2008). Esses efeitos são mais importantes em regiões tropicais e subtropicais, onde a radiação solar é mais intensa, podendo elevar a temperatura do solo, na profundidade de germinação das sementes, a valores superiores a 50°C (Derpsh *et al.*, 1985). Nessas condições, a germinação de sementes de arroz pode ser drasticamente reduzida (Yoshida, 1981).

As diferentes respostas da densidade inicial de plântulas de arroz aos sistemas de cobertura de solo no inverno nos dois anos podem estar associadas aos diferentes intervalos entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz e da relação C:N dos resíduos de azevém. No primeiro ano, o maior intervalo (83 dias) entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz e a menor relação C:N dos resíduos de azevém (23:1) (Tabela 2) provavelmente determinaram maior decomposição dos resíduos. Assim, no primeiro ano, a quantidade de resíduos na

superfície do solo no momento da semeadura do arroz pode ter sido menor em relação à verificada no momento da dessecação. Já no segundo ano, o intervalo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz foi de 34 dias e os resíduos de azevém apresentaram maior relação C:N (51:1 e 57:1) (Tabela 4). Esses dois aspectos podem ter reduzido a decomposição dos resíduos de azevém, resultando em maior acúmulo de resíduos sobre o solo no momento da semeadura do arroz. Assim, a provável redução da quantidade de resíduos sobre o solo no momento da semeadura do arroz no primeiro ano pode ter diminuído o efeito dos resíduos em reduzir a perda de água e a temperatura do solo em relação ao segundo ano. Isso pode ter levado à ausência de efeito de sistemas de cobertura de solo no inverno na densidade inicial de plântulas de arroz no primeiro ano.

O efeito da presença de resíduos de azevém sobre o solo na densidade inicial de plântulas de arroz pode estar relacionado à sua forma de manejo. Nos dois anos de realização do experimento, os resíduos de azevém não foram manejados, ou seja, as plantas desseçadas permaneceram em pé. Com isso, o possível efeito prejudicial da presença de resíduos sobre o solo na densidade inicial de plântulas pode ter sido minimizado. Por outro lado, caso os resíduos tivessem sido manejados de forma a colocá-los em maior contato com o solo, por exemplo, pela passagem do equipamento rolo faca, isso provavelmente aumentaria a sua decomposição. Com isso, a quantidade de resíduos sobre o solo por ocasião da semeadura poderia ser menor, o que diminuiria os seus efeitos em reduzir a perda de umidade e a temperatura do solo. Essa condição poderia ser prejudicial para a emergência das plântulas de arroz, caso o solo estivesse com

pouca umidade no momento da semeadura. Entretanto, não foi observada falta de umidade no solo no momento da semeadura do arroz nos dois anos de realização do experimento.

Se por um lado a presença de resíduos culturais sobre o solo pode beneficiar a emergência das plântulas de arroz, por outro a presença desses resíduos pode contribuir para o atraso na época de realização da semeadura do arroz. Esse aspecto é mais relevante caso o solo esteja úmido em decorrência de precipitações pluviais próximas à data planejada para a semeadura. Com o atraso na semeadura do arroz para depois de 15 de novembro, ocorre redução significativa de seu potencial produtivo. Portanto, o efeito da presença e do sistema de manejo de resíduos sobre a densidade inicial de plântulas de arroz parece estar relacionado à umidade do solo no momento da semeadura. No entanto, são escassas as informações a respeito do efeito do manejo de resíduos sobre a densidade inicial de plântulas de arroz.

O fato da presença de resíduos de azevém não ter reduzido a densidade inicial de plântulas de arroz nos dois anos de estudo do presente trabalho contraria os resultados obtidos por Menezes *et al.* (2001). Esses autores observaram redução da densidade inicial de plântulas de arroz em sucessão ao azevém comparado a outras espécies de cobertura de solo (aveia preta, aveia branca e serradela nativa), à vegetação espontânea e à testemunha pousio. A redução da densidade inicial de plântulas de arroz em sucessão ao azevém foi atribuída a possíveis efeitos alelopáticos dos resíduos de azevém sobre a germinação de sementes de arroz semeado em sucessão. No presente trabalho, o intervalo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz nos dois anos de

estudo (83 dias no primeiro ano e 34 dias no segundo ano) pode ter contribuído para reduzir o efeito alelopático dos resíduos de azevém sobre a germinação das sementes e sobre o desenvolvimento inicial das plântulas de arroz (Constantin & Oliveira Jr., 2005).

Em função dos aspectos discutidos, a hipótese de que a presença de alta quantidade de resíduos de azevém sobre o solo poderia reduzir a densidade inicial de plântulas não foi confirmada.

Além desse aspecto, na segunda hipótese do presente trabalho considera-se que a presença de alta quantidade de resíduos de azevém (mais que $4,0 \text{ t ha}^{-1}$) como cobertura de solo no inverno pode contribuir para produção de ácidos orgânicos na solução do solo em concentrações fitotóxicas para o arroz em sucessão após o alagamento.

Nas amostras de solução do solo foi detectada somente a presença de acetato, ou seja, ácido acético na forma totalmente dissociada. O ácido acético é, geralmente, o principal ácido orgânico formado durante a decomposição anaeróbica de compostos orgânicos, sendo responsável por mais de 60% da composição dos ácidos orgânicos produzidos em ambientes anaeróbios (Lynch, 1976). Os ácidos propiônico e butírico e as suas formas totalmente dissociadas não foram detectados. Esses resultados podem estar associados ao fato de que durante a fase da fermentação anaeróbica chamada acetogênese, os microrganismos convertem os ácidos orgânicos com mais de dois carbonos (propiônico e butírico) em ácido acético (Sam-Soon *et al.*, 1987).

A concentração de acetato na solução do solo não foi influenciada pelos sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 12). Isso pode ser atribuído a

grande variabilidade dos resultados obtidos entre repetições, evidenciada pelo alto coeficiente de variação (Apêndice 1). O longo tempo de armazenamento das amostras (12 meses) pode ter contribuído para essa variabilidade. A razão desse longo tempo foi a dificuldade de adequação da metodologia a ser utilizada para determinação da concentração de ácidos orgânicos. A grande variabilidade de concentração de acetato entre repetições também pode estar relacionada à movimentação da lâmina de água dentro da área experimental. Com a entrada da água de irrigação para manutenção da lâmina de água, a concentração dos ácidos pode ter sido diluída em determinados locais, especialmente quando a entrada de água coincidiu com a data de coleta. Além disso, pode ter ocorrido diluição da concentração dos ácidos devido à movimentação da solução do solo junto ao coletor no momento da coleta devido à locomoção das pessoas que realizaram a coleta.

As mudanças nos valores do pH da solução são uma das principais causas da alteração na proporção de formas não dissociadas e dissociadas de ácidos orgânicos e, conseqüentemente, da sua fitotoxidez (Camargo *et al.*, 2001). A constante de dissociação do ácido acético é $pK=4,76$, portanto, em pH 4,76 ele se encontra 50% dissociado na forma de acetato e 50% não dissociado na forma de ácido (Strobel, 2001). Assim, em pH inferior a 4,7 predomina a forma não dissociada (ácido acético) e em pH acima de 4,7 predomina a forma dissociada (acetato), que não é considerada fitotóxica (Armstrong & Armstrong, 1999). A ausência de fitotoxidez do acetato em relação ao ácido acético pode estar associada ao fato de moléculas com carga positiva ou negativa serem menos absorvidas pelas plantas do que as neutras (Marschner, 1995). Com efeito,

Camargo *et al.* (1993) e Fortes *et al.* (2008) observaram redução da fitotoxidez de ácido acético sobre plântulas de arroz, respectivamente com o aumento do pH da solução de 4,0 e 3,7 para 6,0. A forma como os ácidos orgânicos se encontram na solução do solo parece ser o principal fator que controla sua fitotoxidez em vez das suas concentrações totais (Rao & Mikkelsen, 1975).

Geralmente, após as primeiras quatro semanas de alagamento, o pH da solução do solo tende à neutralidade (Ponnanperuma, 1972). No entanto, no presente trabalho, o pH da solução do solo foi superior 6,0 em todas as coletas (dados não apresentados), o que pode ter contribuído para que predominasse a forma totalmente dissociada do ácido (acetato) na solução do solo. Armstrong & Armstrong (1999) observaram que, em pH igual a 6,0, 92% dos ácidos orgânicos, inclusive o ácido acético, estavam na forma completamente dissociada (acetato).

O fato de ter sido detectada somente a forma totalmente dissociada do ácido acético na solução do solo (acetato), a qual não é considerada fitotóxica às plantas, é coerente com a ausência de prejuízos verificada no desenvolvimento das plantas e no rendimento de grãos, mesmo em função da presença de elevadas quantidades de resíduos de azevém. Geralmente, a redução do rendimento de grãos verificada no arroz irrigado cultivado em sucessão ao azevém tem sido atribuída a efeitos fitotóxicos de ácidos orgânicos na solução do solo (Pinto *et al.*, 2003). No entanto, os estudos realizados a campo realizados até o momento não permitem relacionar a fitotoxidez dos ácidos orgânicos à redução do rendimento de grãos. Isso porque os resultados obtidos para rendimento de grãos não são acompanhados da determinação da concentração dos ácidos na

solução do solo, ou ainda a concentração de ácidos na solução do solo não é relacionada ao rendimento de grãos como no trabalho de Bohnen *et al.* (2005).

No caso do efeito dos ácidos orgânicos na germinação de sementes e, portanto, na densidade inicial de plântulas de arroz, as condições aeróbicas do solo no período entre a semeadura e a emergência das plântulas reduz a possibilidade de formação de ácidos orgânicos em concentrações fitotóxicas. Além disso, as baixas concentrações de ácidos orgânicos já quantificadas em solos cultivados sob sistema plantio direto após o alagamento (Bohnen *et al.*, 2005), não influenciam a germinação de sementes de arroz (Castilhos *et al.*, 2009).

Diante dos aspectos discutidos, a hipótese de que a presença de altas quantidades de resíduos de azevém contribuem para produção de ácidos orgânicos na solução do solo em concentrações fitotóxicas para o arroz em sucessão após o alagamento não pôde ser confirmada.

A terceira hipótese do trabalho é que o manejo da adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura no arroz irrigado varia de acordo com o sistema de cobertura de solo no inverno.

Os resultados obtidos nos dois anos sobre produção de massa seca da parte aérea por plântula (Tabelas 8 e 9 e Figura 2) evidenciaram que não houve efeito de imobilização de N devido à presença de resíduos de azevém. Isso foi evidenciado pela ausência de interação entre os fatores sistemas de cobertura de solo no inverno e doses de N na semeadura nos dois anos para o parâmetro produção de massa seca por plântula de arroz no estágio V₃. O amplo intervalo entre a dessecação do azevém e data de semeadura do arroz foi, provavelmente, uma das causas da ausência da interação. No primeiro ano, em função das altas

precipitações pluviárias verificadas em outubro de 2008 (Apêndice 12), a semeadura do arroz foi realizada somente no início de novembro, ou seja, aos 83 dias após a dessecação do azevém. Já no segundo ano esse intervalo foi menor, embora também tenha sido maior que 30 dias (34 dias).

Para resíduos culturais com alta relação C:N, a observância do intervalo superior a 30 dias é considerada adequada para mitigar o efeito de imobilização de N pelos microrganismos no início de desenvolvimento das plantas da cultura em sucessão (Silva *et al.*, 2006). Com isso, a possível imobilização de N pelos microrganismos do solo em função do aporte de alta quantidade de resíduos de azevém provavelmente não coincidiu com o desenvolvimento inicial das plantas de arroz. Pelo contrário, no momento da semeadura do arroz o N imobilizado pela população microbiana poderia já ter sido remineralizado e, conseqüentemente, liberado na forma de N inorgânico para o solo (Cantarella, 2007). No primeiro ano, a baixa relação C:N dos resíduos de azevém (23:1) também deve ter contribuído para mitigar o efeito da imobilização de N pelos microrganismos do solo (Victoria *et al.*, 1992).

A alta fertilidade inicial do solo no primeiro ano também pode estar associada à ausência de resposta da produção de massa seca por plântula de arroz no estágio V_3 aos sistemas de cobertura de solo e às doses de N na semeadura (Tabela 8). A área experimental encontrava-se em pousio no verão nos quatro anos anteriores à implantação do experimento. Nesse período, durante o inverno havia o cultivo do consórcio das espécies serradela nativa e azevém. A presença dessas espécies de cobertura de inverno, especialmente da leguminosa,

pode ter aumentado a qualidade física, química e biológica do solo, disponibilizando, conseqüentemente, mais N no solo.

O cultivo contínuo do arroz no segundo ano pode ter contribuído para diminuir a disponibilidade de N do solo, já que a produção de massa seca por plântula aumentou de forma quadrática com o incremento da dose de N na semeadura, independentemente do sistema de cobertura de solo no inverno (Figura 2). A dose de máxima eficiência técnica foi de 26,6 kg ha⁻¹ de N. Nesse ano, em função do experimento ter sido realizado no mesmo local do ano anterior, o efeito positivo do cultivo do consórcio de serradela nativa e azevém durante os anos em que a área esteve em pousio na disponibilização de N foi menor. Além disso, o rendimento de grãos obtido no primeiro ano foi alto, chegando a 11,5 t ha⁻¹, resultando em grande exportação desse nutriente por ocasião da colheita.

Essa resposta da plântula de arroz ao incremento da dose de N na semeadura verificada no segundo ano pode estar relacionada ao efeito direto de maior disponibilidade de N na capacidade fotossintética das plântulas. A fotossíntese contribui para o crescimento das plântulas, mesmo em seus estádios iniciais de desenvolvimento. Na primeira semana após a emergência, com temperatura de 22 a 31°C, a fotossíntese é responsável por menos de 30% do crescimento, na segunda semana, por mais de 84%, e, na terceira semana, é responsável por todo o crescimento da planta. Portanto, a partir dos estádios V₃ e V₄ as plântulas de arroz tornam-se autotróficas (Yoshida, 1981). Caso as plântulas do presente experimento tivessem sido coletadas um pouco mais tarde, no estágio V₄, provavelmente as diferenças na produção de massa seca por plântula entre as

doses de N na semeadura fossem ainda mais evidentes, já que a demanda por N seria maior.

O maior desenvolvimento das plântulas de arroz no estágio V_3 devido ao aumento da dose de N na semeadura no segundo ano pode proporcionar outras vantagens que podem resultar em aumento de produtividade. Dentre essas, destaca-se a viabilização do início mais antecipado da irrigação, resultando em maiores eficiências de uso da água (Marcolin *et al.*, 2007) e de controle de plantas daninhas, características que conferem maior sustentabilidade ao sistema de produção.

No segundo ano, a produção de massa seca por plântula de arroz no estágio V_3 também foi influenciada pelos sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 9). Na presença de $4,30 \text{ t ha}^{-1}$ de resíduos de azevém houve redução da produção de massa seca por plântula no estágio V_3 em relação ao pousio (Tabela 9). Essa resposta pode estar relacionada ao estiolamento verificado nas plântulas de arroz em sucessão ao azevém nesse estágio, especialmente no tratamento com presença de $4,30 \text{ t ha}^{-1}$ de resíduos. A presença de resíduos culturais em grande quantidade sombreia a superfície do solo e diminui a incidência de luz para as plântulas da cultura em sucessão. Em função disso, elas podem apresentar maior estatura e menor massa seca. Com menor disponibilidade de luz diminui a síntese de fotoassimilados, levando à redução do peso seco das plantas (Taiz & Zeiger, 2006).

No primeiro ano do estudo observou-se menor estiolamento das plântulas de arroz do que no segundo ano. No primeiro ano, grande parte dos resíduos já havia sido decomposta no momento da semeadura do arroz, devido ao maior

intervalo de tempo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz. Assim, os resíduos de azevém sobre o solo podem não ter sombreado as plântulas de arroz em uma intensidade que alterasse seu desenvolvimento. Outro aspecto associado ao efeito dos resíduos no estiolamento das plantas relaciona-se à forma de manejo dos resíduos de azevém. Nos dois anos os resíduos não foram manejados, ou seja, as plantas permaneceram em pé. Caso os resíduos tivessem sido manejados, com a utilização de rolo faca, por exemplo, o seu volume sobre o solo seria menor, o que poderia ter reduzido o sombreamento das plântulas e, em consequência, o estiolamento.

Além desse aspecto, a forma de manejo dos resíduos de azevém também pode ter contribuído para que não tenha havido imobilização de N, especialmente no segundo ano. Sem manejo dos resíduos de azevém, o seu contato com o solo foi gradual. À medida que os resíduos em contato com o solo foram sendo decompostos, os resíduos que estavam em pé foram depositando-se sobre o solo. Assim, com o aporte gradual de C ao solo, a intensidade do processo de imobilização de N do solo e dos resíduos também pode ter ocorrido gradualmente. Isso pode ter diminuído o efeito dos resíduos sobre a disponibilidade de N para o arroz em sucessão, especialmente no segundo ano, já que o intervalo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz foi menor (34 dias), embora esse período seja considerado adequado para mitigar o efeito de imobilização de N. No entanto, são escassas as informações a respeito do efeito do tipo de manejo dos resíduos culturais na mineralização de N para as culturas em sucessão.

No primeiro ano, o rendimento de grãos de arroz não foi influenciado pelos sistemas de cobertura de solo no inverno (Apêndice 1). Essa ausência de resposta

pode ser devido ao amplo intervalo entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz e ao histórico de alta fertilidade do solo da área experimental. Esses dois fatores podem ter contribuído para aumentar a disponibilidade de N no solo e, com isso, minimizado o efeito da quantidade de resíduos de azevém na disponibilidade de N para as plantas de arroz. Com efeito, obteve-se alto rendimento de grãos (10 t ha^{-1}) no tratamento testemunha sem aplicação de N na semeadura e em cobertura, na média dos três sistemas de cobertura de solo no inverno (Tabela 23). Os resultados do presente trabalho diferem dos obtidos por Menezes *et al.* (2001), que observaram redução do rendimento de grãos de arroz cultivado em sucessão ao azevém no sistema plantio direto em relação ao convencional. Além disso, Pinto *et al.* (2003) observaram redução do rendimento de grãos de arroz com o aumento da quantidade de resíduos de azevém aportada ao solo no sistema mix-pré-germinado. Os resultados obtidos foram atribuídos ao possível efeito de concentrações fitotóxicas de ácidos orgânicos na solução do solo.

O rendimento de grãos foi influenciado pelos sistemas de manejo da adubação nitrogenada no primeiro ano (Tabela 23). No entanto, a resposta observada foi diferente da esperada, especialmente com relação ao incremento da dose de N na semeadura na menor dose total de N (90 kg ha^{-1}). Nessa dose, o incremento da dose de N na semeadura de zero para 40 kg ha^{-1} reduziu o rendimento de grãos. Isso pode estar associado ao fato de que a dose de N aplicada em cobertura reduziu-se à medida que a dose de N na semeadura aumentou. Ou seja, nos tratamentos com 0, 10, 20 e 40 kg ha^{-1} de N na semeadura foram aplicados 90, 80, 70 e 50 kg ha^{-1} de N em cobertura. Dessa forma, a aplicação de menores doses de N em cobertura, foi, provavelmente,

insuficiente para atender à demanda das plantas durante todo seu ciclo, diminuindo o rendimento de grãos em relação ao tratamento com aplicação da dose total de 90 kg ha^{-1} em cobertura.

Na maior dose total de N aplicada (150 kg ha^{-1}), não se observou redução do rendimento de grãos com o incremento da dose de N na semeadura (Tabela 23). Nessa dose, foram aplicados em cobertura 150, 140, 130 e 110 kg ha^{-1} de N, respectivamente nos tratamentos com aplicação de 0, 10, 20 e 40 kg ha^{-1} de N na semeadura. Portanto, as doses aplicadas em cobertura nessa maior dose total foram 66, 75, 85 e 120% superiores às aplicadas na dose total de 90 kg ha^{-1} de N. Isso reforça o fato de que, para a menor dose total de N aplicada a aplicação de 80, 70 e 50 kg ha^{-1} de N em cobertura pode não ter sido suficiente para se atingir o desenvolvimento adequado de plantas e o rendimento potencial de grãos.

A possível perda de parte do N aplicado na semeadura, especialmente na menor dose total de N (90 kg ha^{-1}), pode ser uma das causas da redução do rendimento observada quando se aplicou parte do N na semeadura. Na maior dose total de N (150 kg ha^{-1}), esse efeito pode não ter sido importante, devido ao fato da dose de N aplicada em cobertura, independentemente da dose aplicada na semeadura, ainda ter sido suficiente para não limitar o desenvolvimento das plantas e o rendimento de grãos.

No primeiro ano, não houve associação do rendimento de grãos com nenhum dos componentes do rendimento. Entretanto, algumas características do desenvolvimento das plantas de arroz seguiram um padrão de resposta similar ao do rendimento de grãos. Na menor dose de N (90 kg ha^{-1}), o rendimento de massa seca no estágio V_8 reduziu-se com aplicação de 40 kg ha^{-1} na semeadura em

relação aos tratamentos com aplicação de 0 e 10 kg ha⁻¹ de N (Tabela 16). Além disso, embora estatisticamente não significativo, houve tendência de redução do número de perfilhos por planta e da quantidade de N acumulado na massa seca da parte aérea no estágio V₈ com a aplicação de 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura em relação aos tratamentos sem aplicação e com aplicação de 10 kg ha⁻¹ na menor dose total de N (90 kg ha⁻¹) (Tabelas 13 e 18). O rendimento de massa seca da parte aérea do arroz, o qual decorre dos aumentos do número de perfilhos e folhas, está associado ao rendimento de grãos, principalmente na época de semeadura preferencial (Fageria, 2006). Segundo Duy et al. (2004), o número e o tamanho das espiguetas são determinados pela matéria seca acumulada até o florescimento, enquanto que o peso do grão é função da translocação de fotoassimilados e da taxa e duração da fotossíntese após o florescimento.

No segundo ano, houve redução do número de perfilhos por planta com a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura, comparada aos tratamentos sem aplicação de N ou com aplicação de 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura, na menor dose total de N (90 kg ha⁻¹) (Tabela 14). Em função desse resultado, especula-se que ele vá se refletir no rendimento de grãos a ser avaliado no segundo ano do experimento, ou seja, com a aplicação da menor dose total de N (90 kg ha⁻¹) poderá haver novamente uma redução do rendimento com a diminuição da dose de N em cobertura.

Diante do exposto, a hipótese de que o manejo da adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura no arroz irrigado varia de acordo com o sistema de cobertura de solo no inverno não pôde ser confirmada.

Os resultados obtidos no presente trabalho são uma contribuição inicial para uma futura recomendação de adubação nitrogenada para o arroz irrigado a ser baseada nos sistemas de coberturas de solo no inverno, a semelhança do que é recomendado para a cultura do milho no Estado.

Os aspectos discutidos evidenciam a necessidade de continuidade de estudos relacionados à rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea. Dentre eles, é importante se avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo de resíduos de cobertura de solo no inverno na densidade inicial de plântulas de arroz e na dinâmica de nutrientes no solo e na planta e seus efeitos sobre o desenvolvimento e o rendimento de grãos do arroz em sucessão.

6 CONCLUSÕES

Considerando-se o histórico da área experimental que se encontrava em pousio durante quatro anos com o cultivo do consórcio de serradela nativa e azevém no inverno e o intervalo mínimo de 34 dias verificado entre a dessecação do azevém e a semeadura do arroz, pode-se concluir que:

Devido ao histórico da área experimental e da elevada adubação de base (fósforo e potássio) aplicada no arroz para obtenção de alto rendimento de grãos, não é possível evidenciar, na avaliação realizada no início do desenvolvimento das plantas de arroz (estádio V₃), a reciclagem de nutrientes do azevém para a cultura do arroz irrigado em sucessão em relação ao pousio.

A presença de elevadas quantidades de resíduos de azevém (até 4,42 t ha⁻¹ de massa seca) sobre o solo, dessecado com antecedência mínima de 34 dias antes da semeadura do arroz, não interfere no estabelecimento inicial do arroz, uma vez que não reduz a densidade inicial de plântulas em relação à sucessão ao pousio.

O cultivo do azevém como cobertura de solo no inverno, dessecado com antecedência mínima de 34 dias antes da semeadura do arroz e com o aporte de alta quantidade de resíduos (até 4,42 t ha⁻¹ de massa seca), não causa efeitos de

imobilização de N pelos microrganismos do solo nas plântulas de arroz em sucessão.

Independentemente dos sistemas de cobertura de solo no inverno testados, o cultivo de arroz irrigado pelo segundo ano consecutivo na mesma área determina resposta das plântulas de arroz ao incremento da adubação nitrogenada na semeadura.

A solução do solo cultivado com arroz irrigado em sucessão ao azevém e ao pousio no primeiro ano, coletada do terceiro ao 23º dia após o alagamento, apresenta somente acetato, ou seja, ácido acético na forma totalmente dissociada, que não é considerada fitotóxica.

Os dados obtidos no primeiro ano indicam a resposta do rendimento de grãos de arroz ao manejo da adubação nitrogenada não depende dos sistemas de cobertura do solo no inverno testados.

No primeiro ano, com a aplicação da menor dose total de N no arroz (90 kg ha^{-1}), o incremento da dose de N na semeadura, com conseqüente redução da dose de N aplicada em cobertura, resulta em menor rendimento de grãos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.21, n.2, p.341-349, 2001.

AITA, C.; FRIES, M. R.; GIACOMINI, S. J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: FERTIBIO 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2000. CD-ROM.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.601-612, 2003.

AMADO, T.J.C. et al. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Indicação de adubação nitrogenada no RS e SC adaptada ao uso de plantas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.241-248, 2002.

ARMSTRONG, J.; ARMSTRONG, W. Phragmites die back: toxic effects of propionic, butyric and caproic acid in relation to pH. **New Phytologist**, London, v.142, p.201,-217, 1999.

ANDRADE, J.G. et al. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2008, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

ANDRES, A.; AVILA, L.A. de; MARCHEZAN, E.; MENEZES, V.G. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7, n. 2, p. 85-88, 2001

ANGHINONI, I. et al. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha:IRGA, 2004. 52p. (Boletim Técnico,1)

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 874-919.

ARGENTA, G. et al. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno e em dois locais. II – Efeitos sobre o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.4, p.587-593, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.4, p.745-754, 1999.

AVILA, L.A. de. et al. Banco de sementes de arroz vermelho em sistemas de semeadura de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.773-777, 2000.

BOENI, M.; GENRO JR, S.A.; ANGHINONI, I.; SILVA, P.R.F. da; SHOENFELD, R.; WOJCIECHOWKA, G.; SILVA, C.O. Evolução dos indicadores da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2009. 1CD-ROM.

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

CAMARGO, F.A. de O.; SANTOS, G. de A.; ROSSIELO, R.O.P. Efeito dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.1011-1018, 1993.

CAMARGO, F.A. et al. Aspectos fisiológicos e caracterização de toxidez a ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.523-529, 2001.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CASTILHOS, G.; SILVA, B.; DELATORRE, C.A. Efeitos de ácidos orgânicos na germinação de sementes de arroz da CV IRGA 417. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** CD-ROOM.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S. de. Dessecação antecedendo a semeadura direta pode afetar a produtividade. **Informações Agrônomicas**, 109, p.14-15, 2005.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

CRUSCIOL, C.A.C. *et al.* Qualidade industrial e teores de nutrientes dos grãos do arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.25, n.2, p.409-415, 2003.

DERPSCH, R. Adubação verde e rotação de culturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3., Ponta Grossa. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1985. p. 85-104.

DERPSCH, R. Importância da rotação de culturas e da adubação verde nos sistemas de produção de trigo/soja no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, Castro – PR, 1993. **Anais...** Assunção, Paraguai, 1993. p. 58-75.

DUY, P.Q. *et al.* Analysis of the dry matter production process related to yield and yield components of rice plants grown under the practice of nitrogen-free basal dressing accompanied with sparse planting density. **Plant Production Science**, Tokyo, v.7, n.2, p.155-164, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -. EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Sistemas de Cultivo - Plantio Direto e Cultivo Mínimo em Arroz Irrigado. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap07.htm>. Acesso em: 07 nov. 2009.

FAGERIA, N.K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.30, n.6, p. 843-879, 2007.

FERREIRA, A.G.; ÁQUILA, M.E.A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.12, p.175-204, 2000.

FORTES, M. DE. A.; SOUZA, R.O.; SCHMIDT, F. Toxidez por ácido acético em arroz sob diferentes valores de pH da solução nutritiva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.6, p.1581-1588, 2008.

GUIMARÃES, C.M.; FAGERIA, N.K.; FILHO, M.P.B. Como a planta de arroz se desenvolve. **Arquivo do Agrônomo**, Lavras, n.13, p.1-12, 2002. (Informações Agronômicas, 99).

HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., PAULSEN, G.M. (Eds.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p.285-302.

HOFFMANN-CAMPO, C.B; SILVA, M.T.B. da.; OLIVEIRA, L.J. **Aspectos biológicos e manejo integrado de *Sternechus subsignatus* na cultura da soja**. Passo Fundo, RS : Embrapa Soja, 1999. 32p. (Circular Técnica, 22).

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. [Informações] Disponível em: http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=noticia_detalhe&id=3221. Acesso em: 16 nov. 2009.

JACKSON, P.C.; ST. JOHN, J.B. Changes in membrane lipids of roots associated with changes in permeability. **Plant Physiology**, Rockville, v.66, p.801–804, 1980.

JANDREY, D. **Dose de N em cobertura no arroz irrigado em sucessão a espécies de inverno**. 2009. 64f. Dissertação (Mestrado - Plantas de Lavoura) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KITUR, B.K. et al. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison v.76, n.2, p.240-242, 1984.

KOPP, M.M.; LUZ, V.K. DA.; MAIA, L.C. DA.; SOUZA, R.O.; CARVALHO, F.I.F. DE.; OLIVEIRA A.C. DE. Análise da germinação de cultivares de arroz submetidas a estresse por ácido acético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2599-2603, 2008.

LAL, R. Sustainable Land Use Systems and soil Resilience. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds.) **Soil resilience and sustainable land use**. Budapeste : SWCS, 1994. p. 41-67.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, n.1-2, p.1-22, 2004.

LI, G. et al. Allelopathic effects of decaying Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) residues on rice. **Allelopathy Journal**, Haryana, v.22, n.1, p.15-24, 2008.

LYNCH, J.M. Products of soil microorganisms in relation to plant growth. **Critical Reviews in Microbiology**, New York, v.5, n.1, p.67-107, 1976.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; GENRO JUNIOR, S.A. Volume e eficiência de uso de água para a cultura do arroz em função de época de início de irrigação por inundação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v.1, p.474-476.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; GENRO JUNIOR, S.A. MENEZES, V. Produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v.1, p.411-413.

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

MARTINELLI, J.A. et al. Soybean pod blight and root rot caused by lineages of the *Fusarium graminearum* and the production of mycotoxins. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.492-498, 2004.

MENEZES, V. G. et al. Serradela nativa: uma alternativa de inverno para as várzeas do sul do Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 415, p. 19-22, 1994.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; LOPES, M. C. B.; SILVA, P. R. F. da; TEICHMANN, L. L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1107-1115, 2001.

MIELNICZUK, J. Rotação de culturas e níveis críticos de biomassa sobre o solo. In: ENCONTRO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., Pato Branco, 1998. **Anais...** Pato Branco, 1998. CD-ROM

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato- POTAFOS, 2005. p. 165-178.

MORAES, P.V.D. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2009.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa : Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p.1-16.

NASCIMENTO, P.C. do. et al. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1821-1827, 2009.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGA, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMMER, M.E., eds. **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Part 3. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.961-1010.

NEUE, H.U.; GAUNT, J.L.; WANG, Z.P. et al. Carbon in tropical wetlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1/4, p.163-185, 1997.

NICOLOSO, R. da S. et al. Nabo forrageiro: alternativa de ciclagem de nutrientes e escarificação biológica do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.17, n. 104, 28-33, 2008.

PANG J. et al. Effect of secondary metabolites associated with anaerobic soil conditions on ion fluxes and electrophysiology in barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v.145, p. 266-276, 2007.

PANISSON, E.; REIS, E.M.; BOLLER, W. Quantificação de Danos Causados pela Giberela em Cereais de Inverno, na Safra 2000, em Passo Fundo, RS. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, p.189-192, 2003.

PINTO E. G. et al. Rendimento do arroz e manejo da irrigação e da palha de azevém no sistema mix de pré-germinado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.227-231, 2003.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.

RAO, D.N. ; MIKKELSEN, D.S. Effect of acetic, propionic, and butyric acids on young rice seedlings growth. **Agronomy Journal**, Madison, n. 69, p. 923-928, 1975.

REGO, P.G. Economia das rotações de cultura em plantio direto. **Revista Mensal Batavo**, n.31, 1994. p.20-28.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos químicos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.797-805, 2000.

ROBSON, T.W.; TAYLOR, A.B. Effect of acetic acid on the respiration of parts of oat seedlings. **American Journal of Botany**, New York, v.28, n.10, p.135, 1974.

ROMAN, E.S.; VELOSO, J.R. de O. Controle cultural, coberturas mortas e alelopatia em sistemas conservacionistas. In: EMBRAPA/CNPT; FUNDACEP-FECOTRIGO; FUNDAÇÃO ABC. **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo – RS : Aldeia Norte, 1993. p. 77 a 84.

SÁ, J.C. de M.; MOLIN, R. **Manejo do solo e rotação e sucessão de culturas na lavoura de feijão**. Castro-PR : Batavo, 1994. p.21-27.

SAM-SOON, P.A.L.N.S. et al. Hypothesis for pelletization in the upflow anaerobic sludge bed reactor. **Water SA**, Pretoria, v.13, n.2, p.69-80, 1987.

SANTI, A. et al. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 6, p.1075-1083, 2003.

SAHARAWAT, K.L. Fertility and organic matter in submerged rice soils. **Current Science**, Bangalore, v.88, n.5, p.735-739, 2005.

SCIVITTARO, W.B. et al. **Uso do inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida em cultivo de arroz irrigado**. Pelotas: EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2008. 23p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 72)

SERPA, M. da S. et al. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** CD-ROOM.

SEVERINO, F.J.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p.223-228, 2001.

SHANGGUAN, Z.; SHAO, M.; DYCKMANS, J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.156, p.46-51, 2000.

SILVA, P.R.F. da *et al.* Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.1011-1020, 2006.

SOARES, A.L.A.; CARRÃO, V.H. **Plantio direto de arroz irrigado: uma ponte entre passado e futuro**. Porto Alegre : Monsanto, 1993. 33p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas, 2007. 154p.

SOUSA, R. O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

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

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.C.D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS, 2008. 222p.

- STROBEL, B.W. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution – a review. **Geoderma**, Amsterdam, v.99, p.169-198, 2001.
- SURCKHA, K. et al. Effect of straw on yield components of rice (*Oryza sativa* L.) under rice-rice cropping system. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 192, n.2, p.92-101, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2008, 820p.
- TAKENAGA, H. Nutrient absorption in relation to environmental factors. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. et al. **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Nosan Gyoson Bunka Kyokai, 1995. p. 278-294.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.
- VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. de. Imobilização de nitrogênio no solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.76-83, 2005.
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- VICTORIA, R.L. et al. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N. et al. (Coord). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.105-120.
- WALKER, D. J.; BLACK, C.R.; MILLER, A.J. The role of cytosolic potassium and pH in the growth of barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, p. 957-964, 1998.
- WASSMAN, R. et al. Methane emissions from rainfed rice. In: FRAGILE lives in fragile ecosystems. Philippines: International Rice Research Institute, 1995. p.217-225.
- WATANABE, I. Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. In: ORGANIC matter and Rice. Los Baños: IRRI, 1984. p.237-258.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Resumo da análise de variância das características avaliadas. Cachoeirinha, RS. 2008/09 e 2009/10.

Cultura do azevém 2008

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Rendimento de MS	Teor de N na parte aérea	Teor de P na parte aérea	Teor de K na parte aérea
Bloco	2	461066,6667 ^{ns}	0,22551667 ^{ns}	0,00450000 ^{ns}	0,02333333 ^{ns}
Dose de N	1	2400,0000 ^{ns}	0,34081667 ^{ns}	0,00250000 ^{ns}	0,01000000 ^{ns}
CV ¹ (%)		6,70	18,6	25,6	25,6

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2008

Causas de variação	GL	Quadrados médios				
		Teor de Ca na parte aérea	Teor de Mg na parte aérea	Teor de S na parte aérea	N acumulado na parte aérea	
Bloco	2	0,00225833**	0,00120833 ^{ns}	0,00128333 ^{ns}	790,903949 ^{ns}	
Dose de N	1	0,00040000**	0,00010000 ^{ns}	0,00000000 ^{ns}	606,779041 ^{ns}	
CV ¹ (%)		0%	3,8	13,6	15,5	

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2008

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		P acumulado na parte aérea	K acumulado na parte aérea	Ca acumulado na parte aérea	Mg acumulado na parte aérea
Bloco	2	22,86264000 ^{ns}	240,5253333 ^{ns}	29,01313800 ^{ns}	10,23984133 ^{ns}
Dose de N	1	2,49640000 ^{ns}	21,1600000 ^{ns}	0,05664400 ^{ns}	0,01166400 ^{ns}
CV ¹ (%)		15,8	33,3	8,8	5,0

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2008

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		S acumulado na parte aérea	Relação C:N
Bloco	2	7,93670733 ^{ns}	17,08208333 ^{ns}
Dose de N	1	0,15523600 ^{ns}	4,20250000 ^{ns}
CV ¹ (%)		5,1	18,7

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2008¹

Causas de variação	GL	Quantidade de resíduos aportada ao solo	Quadrados médios			
			N acumulado na parte aérea	P acumulado na parte aérea	K acumulado na parte aérea	
Bloco	2	552600,000 ^{ns}	684,204453 ^{ns}	22,84888333 ^{ns}	150,179000 ^{ns}	
Dose de N	1	9779266,667*	5208,881633**	66,42250000 ^{ns}	2023,200400 ^{ns}	
CV ² (%)		17,8	11,8	12,4	38,0	

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹Após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N.

²CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2008/09¹

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		Ca acumulado na parte aérea	Mg acumulado na parte aérea	S acumulado na parte aérea
Bloco	2	27,4301040 ^{ns}	9,16027283 ^{ns}	7,20377283*
Dose de N	1	220,9979560 ^{ns}	54,33164100 ^{ns}	44,52892900**
CV ² (%)		15,6	8,9	1,0

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹Após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N.

²CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2009

Causas de variação	GL	Rendimento de MS	Quadrados médios		
			Teor de N na parte aérea	Teor de P na parte aérea	Teor de K na parte aérea
Bloco	2	157819,340 ^{ns}	0,04175245 ^{ns}	0,00240000 ^{ns}	0,0500000 ^{ns}
Dose de N	1	2770865,127*	0,00393845 ^{ns}	0,00041667 ^{ns}	0,10666667*
CV ¹ (%)		8,6	15,8	10,0	2,9

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2009

Causas de variação	GL	Quadrados médios				
		Teor de Ca na parte aérea	Teor de Mg na parte aérea	Teor de S na parte aérea	N acumulado na parte aérea	
Bloco	2	0,00561667 ^{ns}	0,00140000 ^{ns}	0,00135000 ^{ns}	32,0892588 ^{ns}	
Dose de N	1	0,00881667 ^{ns}	0,00060000 ^{ns}	0,00001667 ^{ns}	270,9542789*	
CV ¹ (%)		23,4	18,8	10,3	7,1	

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2009

Causas de variação	GL	Quadrados médios					
		P acumulado na parte aérea	K acumulado na parte aérea	Ca acumulado na parte aérea	Mg acumulado na parte aérea		
Bloco	2	2,26336599*	15,4210369 ^{ns}	12,51080596 ^{ns}	1,75690243 ^{ns}		
Dose de N	1	8,77729312**	133,6798402 ^{ns}	84,21607491 ^{ns}	10,07582985*		
CV ¹ (%)		2,8	11,9	20,0	12,8		

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do azevém 2009

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		S acumulado na parte aérea	Relação C:N
Bloco	2	1,38089078*	171,8846000 ^{ns}
Dose de N	1	3,94123456**	55,0248167 ^{ns}
CV ¹ (%)		5,1	14,6

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Densidade inicial de plântulas	Produção de MS em V ₃ plântula ⁻¹	Teor de N na parte aérea em V ₃	N acumulado em V ₃ plântula ⁻¹
Bloco	5	447,31 ^{ns}	0,21469 ^{**}	0,10327 ^{ns}	0,00028 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	2970,26 ^{ns}	0,00121 ^{ns}	0,48737 ^{ns}	0,00004 ^{ns}
N na semeadura	3	331,01 ^{ns}	0,05401 ^{ns}	0,01791 ^{ns}	0,00010 ^{ns}
Cobertura*N semeadura	6	933,48 ^{ns}	0,03028 ^{ns}	0,11784 ^{ns}	0,00004 ^{ns}
CV ¹ (%)		17,1	18,0	13,1	25,6

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios					
		Nº de perfilhos planta ⁻¹	Rendimento de MS em V ₈	Teor de N na parte aérea em V ₈	N acumulado em V ₈	Rendimento de MS em R ₄	
Bloco	2	0,10491 ^{ns}	0,03801 ^{ns}	0,05701 ^{ns}	14,72009 ^{ns}	24,95739 ^{**}	
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	1,92819 ^{ns}	2,09090 [*]	0,06611 ^{ns}	777,31612 ^{ns}	10,83804 ^{ns}	
Sistema de manejo da adubação nitrogenada	8	1,41807 [*]	1,89724 [*]	0,20461 ^{ns}	989,92831 ^{**}	12,19342 ^{**}	
Cobertura*Manejo do N	16	0,84508 ^{ns}	0,27519 ^{ns}	0,24317 ^{ns}	334,02520 ^{ns}	4,52666 ^{ns}	
CV ¹ (%)		22,2	18,8	32,3	37,3	14,3	

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios					
		Teor de N na parte aérea em R ₄	N acumulado em R ₄	Nº de panículas m ⁻²	Nº de grãos panícula ⁻¹	Peso de 1000 grãos	
Bloco	2	0,00647 ^{ns}	1507,34704 ^{ns}	2010,75048 ^{ns}	700,92023*	13,82410*	
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	0,18891 ^{ns}	912,98858 ^{ns}	33704,11688 ^{ns}	1021,89053*	0,98018 ^{ns}	
Sistema de manejo da adubação nitrogenada	8	0,05125 ^{ns}	2042,83017 ^{ns}	9510,93640*	363,63488 ^{ns}	4,58752 ^{ns}	
Cobertura*Manejo do N	16	0,04190 ^{ns}	695,51621 ^{ns}	3605,83089 ^{ns}	160,00426 ^{ns}	3,36173 ^{ns}	
CV ¹ (%)		23,9	26,3	10,0	20,0	7,4	

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2008/09

		Quadrados médios				
Causas de variação	GL	Esterilidade de espiguetas	Índice de colheita	Rendimento de grãos	Rendimento de grãos inteiros	Teor de proteína nos grãos
Bloco	2	0,44858 ^{ns}	0,01113*	3789286,01*	12,1648393 ^{ns}	2,51002683 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	4,94227 ^{ns}	0,00464 ^{ns}	1652354,776 ^{ns}	1,77260154 ^{ns}	0,40033282 ^{ns}
Sistema de manejo da adubação nitrogenada	8	76,60674 ^{ns}	0,00268 ^{ns}	3996432,55**	9,02222533 ^{ns}	22,02029925 ^{ns}
Cobertura*Manejo do N	16	36,43851 ^{ns}	0,00227 ^{ns}	852856,32 ^{ns}	18,7014957 ^{ns}	23,70107621 ^{ns}
CV ¹ (%)		41,0	7,4	7,2	5,2	18,0

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Concentração de acetato na solução do solo 2008/09

Causas de variação	GL	Quadrados médios				
		Concentração de acetato aos 5 DAA	Concentração de acetato aos 10 DAA	Concentração de acetato aos 15 DAA	Concentração de acetato aos 20 DAA	Concentração de acetato aos 23 DAA
Bloco	2	508908.011 ^{ns}	17952866.16 ^{ns}	391004.4315 ^{ns}	1717911.180 ^{ns}	12393563.82 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	641560.012 ^{ns}	14107013.21 ^{ns}	263740.2512 ^{ns}	661309.739 ^{ns}	26589402.90 ^{ns}
CV ¹ (%)		135	244	135	77	117

DAA: dias após o alagamento.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Densidade inicial de plântulas	Produção de MS em V ₃ plântula ⁻¹	Teor de N na parte aérea em V ₃	Teor de P na parte aérea em V ₃
Bloco	5	682,60674 ^{ns}	90916,5452*	0,99680754 ^{ns}	0,01035938**
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	10909,68575*	89093,0617*	0,66972580 ^{ns}	0,01010127**
N na semeadura	3	2704,27276 ^{ns}	116000,5514*	0,83296877 ^{ns}	0,00083285 ^{ns}
Cobertura*N semeadura	6	901,12013 ^{ns}	23585,3688 ^{ns}	0,13680114 ^{ns}	0,00087512 ^{ns}
CV ¹ (%)		16,2	17,1	26,7	8,7

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Teor de K na parte aérea em V ₃	Teor de Ca na parte aérea em V ₃	Teor de Mg na parte aérea em V ₃	Teor de S na parte aérea em V ₃
Bloco	5	0,13595776**	0,00406269**	0,00391651 ^{ns}	0,10983603 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	0,17011756**	0,00150974 ^{ns}	0,00527143*	0,13310958 ^{ns}
N na semeadura	3	0,18112237**	0,00220406*	0,00198241*	0,13128496 ^{ns}
Cobertura*N semeadura	6	0,05871578 ^{ns}	0,00024192 ^{ns}	0,00019602 ^{ns}	0,12012726 ^{ns}
CV ¹ (%)		6,4	8,2	13,1	99,0

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		N acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹	P acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹	K acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹	Ca acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹
Bloco	5	210,577972*	0,07790709 ^{ns}	37,0151626 ^{ns}	0,24038216 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	323,8303532 ^{ns}	4,45566795**	173,2025799*	1,69568554*
N na semeadura	3	161,773084 ^{ns}	1,65728001*	187,4304396**	2,30273964**
Cobertura*N semeadura	6	56,114588 ^{ns}	0,36933058 ^{ns}	27,7784683 ^{ns}	0,16342854 ^{ns}
CV ¹ (%)		28,7	19,4	19,0	18,0

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		Mg acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹	S acumulado na parte aérea em V_3 plântula ⁻¹
Bloco	5	0,46963551 ^{ns}	0,052555802 ^{ns}
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	1,39044945*	1,73516016*
N semeadura	3	1,28693847**	1,60074799**
Cobertura* N semeadura	6	0,07256278 ^{ns}	0,17910622 ^{ns}
CV ¹ (%)		24,2	18,6

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 1 (Continuação)

Cultura do arroz irrigado 2009/10

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		Nº de perfilhos planta ⁻¹	Rendimento de MS em V ₈	Teor de N na parte aérea em V ₈	N acumulado em V ₈
Bloco	2	2,09873119**	332327,53 ^{ns}	1,36585089*	1201,12119*
Sistema de cobertura de solo no inverno	2	1,66910825 ^{ns}	575479,377*	0,76600487 ^{ns}	245,6594693 ^{ns}
Sistema de manejo da adubação nitrogenada	8	1,68076096**	1503178,35**	0,47329441 ^{ns}	1306,10864**
Cobertura* Manejo do N	16	0,27575967 ^{ns}	415847,30*	0,31944573 ^{ns}	497,01456 ^{ns}
CV ¹ (%)		25	20,9	26,5	34,7

*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

**Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}: não significativo.

¹CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 2. Teor e quantidade de nitrogênio (N) acumulada na massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado com três folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de doses de N na semeadura. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	N Semeadura (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N acumulado na parte aérea plântula ⁻¹ (mg)
Pousio	0	4,3 ^{ns}	0,75 ^{ns}
	10	4,4	0,76
	20	4,4	0,80
	40	4,4	0,81
1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	4,0	0,66
	10	4,2	0,83
	20	4,3	0,72
	40	4,3	0,82
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	0	4,3	0,72
	10	4,0	0,72
	20	3,9	0,71
	40	4,1	0,80
Média		4,2	0,76
CV (%)		13,1	25,6

¹Estádio V₃ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 3. Teor de nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estágio de oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação de N			Teor de N na parte aérea em V ₈ (%)	
		Semeadura	Cobertura			
			V ₃	V ₈		
Pousio	0	0	0	0	1,6 ^{ns}	
		0	60	30	1,6	
	90	10	54	26	1,8	
		20	46	24	1,2	
		40	33	17	1,7	
		0	100	50	2,2	
	150	10	93	47	1,9	
		20	86	44	2,0	
		40	73	37	2,3	
		0	0	0	0	1,6
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ³	0	0	60	30	1,9
			10	54	26	2,2
90		20	46	24	2,0	
		40	33	17	1,8	
		0	100	50	2,1	
		10	93	47	1,7	
150		20	86	44	2,1	
		40	73	37	1,8	
		0	0	0	0	1,7
		0	60	30	1,7	
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		90	10	54	26	1,5
			20	46	24	1,9
	40		33	17	2,2	
	0		100	50	1,8	
	150	10	93	47	2,1	
		20	86	44	1,6	
		40	73	37	2,1	
Média					1,9	
CV (%)					32,3	

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ³Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 4. Teor de nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado na antese¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação de N			Teor de N na parte aérea em R ₄ (%)		
		Semeadura	Cobertura				
			V ₃	V ₈			
Pousio	0	0	0	0	1,2 ^{ns}		
		90	0	60	30	0,9	
			10	54	26	1,0	
	20		46	24	1,1		
	40		33	17	0,9		
	150	0	100	50	0,8		
		10	93	47	1,2		
		20	86	44	1,4		
		40	73	37	1,0		
		0	0	0	0	1,0	
	187 t ha ⁻¹ de MS de azevém ³	90	0	60	30	1,0	
			10	54	26	0,9	
20			46	24	1,0		
40			33	17	0,8		
150		0	100	50	1,0		
		10	93	47	1,0		
		20	86	44	0,9		
		40	73	37	1,0		
		4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém	90	0	60	30	1,1
				0	60	30	1,0
10	54			26	1,2		
20	46			24	1,0		
150	40		33	17	1,1		
	0		100	50	1,2		
	10	93	47	1,3			
	20	86	44	1,2			
		40	73	37	1,3		
Média					1,1		
CV (%)					23,9		

¹Estádio R₄ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ³Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 5. Quantidade de nitrogênio (N) acumulada na massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado na antese¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação de N			N acumulado na parte aérea em R ₄ (kg ha ⁻¹)		
		Semeadura	Cobertura				
			V ₃	V ₈			
Pousio	0	0	0	0	109 ^{ns}		
		90	0	60	30	108	
			10	54	26	129	
			20	46	24	119	
	150	40	33	17	151		
		0	100	50	94		
		10	93	47	159		
		20	86	44	165		
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ³	0	40	73	37	121	
			0	0	0	109	
			90	0	60	30	102
				10	54	26	111
20		46		24	106		
150		40	33	17	120		
		0	100	50	109		
		10	93	47	122		
		20	86	44	118		
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	40	73	37	135	
			0	0	0	105	
			90	0	60	30	102
	10			54	26	123	
	20	46		24	100		
	150	40	33	17	127		
		0	100	50	146		
		10	93	47	161		
		20	86	44	157		
	Média		40	73	37	139	
						124	
	CV (%)					26,3	

¹Estádio R₄ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ³Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 6. Peso de 1000 grãos de arroz em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N			Peso de 1000 grãos (g)	
		Semeadura	Cobertura			
			V ₃	V ₈		
Pousio	0	0	0	0	25,6 ^{ns}	
		0	60	30	26,9	
	90	10	54	26	26,4	
		20	46	24	26,3	
		40	33	17	26,7	
		0	100	50	26,4	
	150	10	93	47	26,8	
		20	86	44	26,7	
		40	73	37	27,2	
		0	0	0	25,1	
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	0	0	0	25,1
			0	60	30	26,3
90		10	54	26	24,8	
		20	46	24	27,6	
		40	33	17	26,8	
		0	100	50	26,8	
150		10	93	47	17,7	
		20	86	44	26,1	
		40	73	37	25,9	
		0	0	0	27,5	
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	0	0	0	27,5
			0	60	30	26,8
	90	10	54	26	22,6	
		20	46	24	24,4	
		40	33	17	26,3	
		0	100	50	26,3	
	150	10	93	47	26,8	
		20	86	44	27,2	
		40	73	37	27,6	
		0	0	0	27,5	
	Média					26,3
	CV (%)					7,4

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 7. Esterilidade de espiguetas de arroz em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N			Esterilidade de espiguetas (%)		
		Semeadura	Cobertura				
			V ₃	V ₈			
Pousio	0	0	0	0	17 ^{ns}		
		90	0	60	30	15	
			10	54	26	15	
	20		46	24	13		
	40		33	17	28		
	150	0	100	50	10		
		10	93	47	14		
		20	86	44	23		
		40	73	37	12		
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	0	0	0	15	
			90	0	60	30	14
				10	54	26	14
20		46		24	16		
40		33		17	16		
150		0	100	50	18		
		10	93	47	12		
		20	86	44	21		
		40	73	37	14		
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	0	0	0	23	
			90	0	60	30	14
				10	54	26	14
	20	46		24	11		
	40	33		17	20		
	150	0	100	50	11		
		10	93	47	16		
		20	86	44	16		
		40	73	37	15		
	Média					16	
	CV (%)					41,0	

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 8. Índice de colheita aparente de arroz em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N			Índice de colheita		
		Semeadura	Cobertura				
			V ₃	V ₈			
Pousio	0	0	0	0	0,54 ^{ns}		
		90	0	60	30	0,51	
			10	54	26	0,51	
	20		46	24	0,54		
	40		33	17	0,50		
	150	0	100	50	0,52		
		10	93	47	0,42		
		20	86	44	0,52		
		40	73	37	0,52		
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	0	0	0	0,57	
			90	0	60	30	0,52
				10	54	26	0,53
20		46		24	0,51		
40		33		17	0,53		
150		0	100	50	0,54		
		10	93	47	0,52		
		20	86	44	0,54		
		40	73	37	0,54		
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	0	0	0	0,48	
			90	0	60	30	0,57
				10	54	26	0,55
	20	46		24	0,55		
	40	33		17	0,55		
	150	0	100	50	0,52		
		10	93	47	0,50		
		20	86	44	0,53		
		40	73	37	0,52		
	Média					0,52	
	CV (%)					7,4	

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 9. Rendimento de grãos inteiros de arroz em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N			Rendimento de grãos inteiros (%)	
		Semeadura	Cobertura			
			V ₃	V ₈		
Pousio	0	0	0	0	64 ^{ns}	
		0	60	30	62	
	90	10	54	26	58	
		20	46	24	65	
		40	33	17	63	
	150	0	100	50	63	
		10	93	47	66	
		20	86	44	67	
		40	73	37	63	
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	0	0	0	60
			0	60	30	63
		90	10	54	26	63
20			46	24	64	
40			33	17	67	
150		0	100	50	64	
		10	93	47	63	
		20	86	44	62	
		40	73	37	65	
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	0	0	0	65
			0	60	30	63
		90	10	54	26	65
	20		46	24	64	
	40		33	17	64	
	150	0	100	50	64	
		10	93	47	65	
		20	86	44	55	
		40	73	37	63	
	Média					63
	CV (%)					5,2

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 10. Teor de proteína nos grãos de arroz em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2008/09.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ¹ de aplicação de N			Teor de proteína nos grãos (%)	
		Semeadura	Cobertura			
			V ₃	V ₈		
Pousio	0	0	0	0	8,1 ^{ns}	
		0	60	30	6,3	
	90	10	54	26	7,4	
		20	46	24	7,7	
		40	33	17	8,4	
		0	100	50	7,9	
	150	10	93	47	7,8	
		20	86	44	6,6	
		40	73	37	7,5	
		0	0	0	7,5	
	1,87 t ha ⁻¹ de MS de azevém ²	0	0	0	0	7,5
			0	60	30	7,8
90		10	54	26	6,9	
		20	46	24	8,5	
		40	33	17	6,9	
		0	100	50	7,6	
150		10	93	47	7,3	
		20	86	44	6,6	
		40	73	37	7,8	
		0	0	0	8,5	
4,42 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	0	0	0	8,5
			0	60	30	7,2
	90	10	54	26	7,4	
		20	46	24	5,1	
		40	33	17	7,6	
		0	100	50	7,9	
	150	10	93	47	7,4	
		20	86	44	6,5	
		40	73	37	10,4	
		0	0	0	7,6	
	Média					7,6
	CV (%)					18,0

¹De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²Quantidade de resíduos aportada ao solo após o corte e retirada da área da parcela de metade da parte aérea das plantas de azevém no tratamento com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 11. Teor de nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado no estágio de oito folhas expandidas¹ em função de sistemas de cobertura de solo no inverno e de sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Cachoeirinha, RS, 2009/10.

Sistema de cobertura de solo no inverno	Dose total de N (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹) e estágio ² de aplicação de N			Teor de N na parte aérea em V ₈ (%)		
		Semeadura	Cobertura				
			V ₃	V ₈			
Pousio	0	0	0	0	2,2 ^{ns}		
		90	0	60	30	2,1	
			10	54	26	2,9	
			20	46	24	2,4	
	150	40	33	17	2,4		
		0	100	50	2,4		
		10	93	47	2,4		
		20	86	44	2,3		
	2,94 t ha ⁻¹ de MS de azevém	0	40	73	37	2,7	
			0	0	0	2,3	
			90	0	60	30	2,2
				10	54	26	2,0
20		46		24	2,3		
150		40	33	17	2,1		
		0	100	50	2,1		
		10	93	47	2,7		
		20	86	44	2,2		
4,30 t ha ⁻¹ de MS de azevém		0	40	73	37	2,3	
			0	0	0	2,7	
			90	0	60	30	2,6
	10			54	26	2,7	
	20	46		24	1,7		
	150	40	33	17	1,9		
		0	100	50	2,2		
		10	93	47	2,8		
		20	86	44	2,9		
	Média		40	73	37	3,7	
						2,4	
	CV (%)					26,5	

¹Estádio V₈ de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ²De acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). ^{ns}: não significativo (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

APÊNDICE 12. Temperatura média (°C) e precipitação pluvial (mm) ocorridas durante abril de 2008 e setembro de 2009. Cachoeirinha, RS.

Dia	Abril 2008		Maio 2008		Junho 2008	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	23.3	0.2	13.4	0	10.7	0.2
2	21.6	0	15.8	88.8	13.6	0
3	18.1	0.4	16.4	52	15.2	12.6
4	18	0.2	16.7	0.8	15.8	1.6
5	17.9	0	15.2	1.2	16.1	6.8
6	20.4	0	13.2	0.2	15.9	4.6
7	21.9	0	12.3	0.2	13.1	10.2
8	22.7	0	13.1	0.2	15.8	24
9	23.3	0	12.6	0	15.7	28.2
10	21.3	0.2	14.6	0	10	0.2
11	22.5	6.2	15.2	0.2	8.4	0.2
12	20.7	2.2	16.8	0.2	9.6	0
13	17.7	78.2	17.4	0	9.4	0.2
14	14.3	0	17.9	0	13.4	1
15	12.7	0.2	16.1	0.2	10.2	0
16	16.8	0	15.1	0.2	6.9	0
17	19.1	0	14.9	0.2	6.3	0.2
18	18.6	0.2	16.4	0.2	8.1	0.2
19	17.9	0.2	21.2	0	12.1	0.8
20	19.3	0.2	22.6	0	13.2	13.6
21	18.9	2.6	23.3	0	11.5	0
22	19.6	0	23.7	0	11.3	0
23	18.9	0.6	22.2	0	9.3	0.4
24	19.1	0.4	19.2	0	13	1
25	19.4	0	14	0	13.2	0.4
26	17.7	0.6	12.8	0.2	13.7	21.2
27	19.5	0	15	0.2	15.4	7.2
28	18.3	64.8	16.4	33.4	16.4	5
29	15.6	2.4	12.3	12.6	15.8	0.2
30	10.7	0	8.3	0	14.9	0
31			7.2	0		
Total		159.8		191		140

APÊNDICE 12 (Continuação)

Dia	Julho 2008		Agosto 2008		Setembro 2008	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	14.9	0	14.7	6.8	16.3	0.2
2	12.4	9	15	47.6	19.9	0
3	14.5	0	11.3	0.2	19.1	0
4	14.2	0	10.7	0	13	0.2
5	16.1	0.2	7.6	0	10	59.4
6	16.4	0.2	-	-	11.9	16.2
7	17.7	0.2	-	-	10.7	0
8	17.6	5.4	12.9	0	12.3	0
9	16.6	0	12.4	0.2	15.9	0
10	17.3	0	15.4	0	18.4	30.6
11	17.9	0.2	18.4	0.2	17.6	48
12	17.2	0.2	15.2	29.4	15.3	0.4
13	18	0	13.8	0.2	12.6	2.2
14	18.7	0	17.3	0	11.3	0
15	18.4	0.2	19.9	0	11.8	0
16	15.7	0.2	18.5	11	12.6	0
17	16.2	0.2	16.9	15.2	12.9	0.2
18	15.4	0	15.1	36.4	14.9	0.2
19	14.6	0	16.4	0.6	16.6	0
20	14.7	1.4	19.2	0.2	16.7	4.2
21	17.2	4.8	17.2	13	14.8	8
22	18.5	3	12.4	0.6	15.9	13.4
23	14.1	0	11.4	4.6	16.6	0.4
24	13.8	0	16.1	8	15.1	0.2
25	10.8	0	16.4	0	16.7	0
26	11.8	0	14	0.2	18.2	0
27	13.8	56.8	16.2	0.2	18.4	0
28	14.7	6.6	19.1	0.6	19.7	0
29	15.4	60.6	12.9	0.4	20.4	0
30	16.4	11.8	11.5	0	20.2	4.4
31	15	0	13.6	0		
Total		161		175.6		188.2

- : Dados não disponibilizados.

APÊNDICE 12 (Continuação)

Dia	Outubro 2008		Novembro 2008		Dezembro 2008	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	20.2	0.4	20.6	2.6	23.2	15.6
2	20.6	0	20.9	5.4	20.2	36.4
3	17.8	0	20.7	0.4	18.4	0.2
4	18.7	15.4	22.3	0	19.1	0
5	15.9	9.4	23.1	0.2	18.4	0
6	16.1	0	21.9	1	20.6	0
7	14.7	0.2	21.8	0	23.4	0
8	13.8	0	23.6	0.2	26.3	0
9	16.6	0	23.1	0	26.3	1.8
10	18.8	0	22.6	0	22.4	2.8
11	17.9	40.4	21.7	0	21.7	2.2
12	23.1	0	21.8	0	22.4	0
13	22.5	2.8	20.1	0	21.3	0
14	19.2	31.4	21.9	0	21.7	0
15	19.8	13.8	22	0.2	22	8.4
16	19.3	0	16.9	8.6	22.4	0
17	17	4.6	18.1	0	22.4	0
18	16.2	16.2	19.7	0	22.2	0.2
19	19.3	0	17	0.4	22.6	0
20	21.4	0	19.4	0	24.1	0
21	24.3	0.2	20.1	0	25.8	0
22	21.5	31	20.3	0.8	26.3	0
23	20.4	0.6	22.2	0	25.3	31
24	20.9	0.4	23.3	0	22.1	20.2
25	20.1	34	24.5	0	23.4	0.2
26	21.3	24.2	24.4	0	22.9	-
27	20.5	0	24.8	0	23.4	0
28	19	0	24.8	0	25.8	0
29	20	7.6	25.1	0	23.6	11.6
30	19.9	0	24.2	46	22.1	0
31	18.7	0			24.3	0
Total		232.6		65.8		130.6

APÊNDICE 12 (Continuação)

Dia	Janeiro 2009		Fevereiro 2009		Março 2009	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	23.2	0	22.8	1.8	25.7	1.2
2	20.6	4.8	22.8	0.4	-	45.4
3	16.5	67.8	25.9	0.2	-	0.2
4	19.4	7	23.9	0.4	25.6	0.2
5	20.1	0	21.9	0	24.4	1
6	22.3	0	24.9	0.2	22.8	0
7	25.1	0	24.8	0	22.7	0.2
8	23.9	11.4	24.1	0	23.2	0.2
9	22.1	5.6	25.1	0	23.4	0
10	22.6	4.2	25.3	0.2	23.9	0
11	23.4	15.8	25.3	1.2	24.4	0
12	24	0.2	21.5	0.6	23.1	2.8
13	22.6	0	21.2	0.2	24	0.2
14	24.5	0	23.1	0.2	23.3	0
15	23.8	0	23	0.2	20.5	10.8
16	23.2	0	25.7	0	19.2	0.2
17	25.3	0	25.7	0	19.2	2
18	25.6	0.6	27.1	0.2	20.4	0
19	20.8	54	25.8	5	21.8	0
20	21.4	0	26.9	29.2	21.4	2.2
21	20.2	0	25.6	3.4	18.3	0.2
22	22.2	0	27.3	0	18	0.2
23	22.6	0	22	21.6	15.9	0.2
24	22.9	0	23	0.2	22.9	0
25	24.7	0	22.3	0	21.8	0
26	26.3	0	22.4	0.4	23.4	0.2
27	25.8	0	23.1	0.4	23.3	0
28	25.6	17.8	24.3	0.4	23.7	0
29	24.9	10.8			24.9	0.2
30	25.7	5.2			16	0.2
31	23.2	6			17.4	0
Total		211.2		66.4		67.8

- : Dados não disponibilizados.

APÊNDICE 12 (Continuação)

Dia	Abril 2009		Maio 2009		Junho 2009	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	19.9	0	17.2	0	12	0
2	19.1	0	18.6	0	9.7	0.2
3	22.9	0	18.7	0.4	7.6	0
4	21.2	3.6	19	0.2	8.3	0.2
5	21.7	2	20.2	8.6	11.6	0.2
6	-	0.2	16.2	1.2	10.4	0.2
7	-	0.2	15.8	0	11.2	0
8	14.7	0.4	14.6	0.2	11.9	6.4
9	20.6	0	18.8	0	13.7	10
10	16.8	0	8.8	0.4	13	0.2
11	16.4	0	10.3	0.2	11.4	0
12	18.6	0	18.8	12.8	10.8	0.4
13	21.9	0	-	11.4	13.8	0.4
14	17.1	0	15.6	20.4	11.7	0.2
15	17.9	0	13	0.8	12.8	0.2
16	19.1	0.2	10.7	0.2	13.1	1.4
17	19.2	0	12.9	0	12.7	1.2
18	18.7	0.2	15	8.6	15.3	0.2
19	16.8	7.4	16.4	0.4	6.8	0.4
20	12.2	0.2	8.6	0.2	2.9	0.2
21	15.3	0.2	14.4	0.2	9.5	0
22	19.9	0	14	0.2	17.4	8.6
23	20.1	0	11.9	0.2	5.8	13.4
24	19.8	0.2	12.4	0.2	10.7	0
25	21.7	0	19.6	1	10.7	0
26	8.9	0.2	17.2	0	5.3	0.2
27	20.3	0	16.8	0	10.8	0.2
28	17.3	0.2	12.3	0	12.6	0
29	17.1	0.2	12.9	0	19.1	2.6
30	18	0.2	14.6	42.6	14.3	0
31			13.4	0.2		
Total		15.6		110.6		47

- : Dados não disponibilizados.

APÊNDICE 12 (Continuação)

Dia	Julho 2009		Agosto 2009		Setembro 2009	
	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação	Temperatura	Precipitação
1	10.7	0	14.3	3.2	18.3	11.8
2	9.8	0.2	-	11.4	-	10.8
3	8.3	0.2	7.7	4	-	4
4	10.4	0	-	0.2	-	1
5	12.7	0.2	16.1	0	3.6	0
6	16.1	2.6	7.7	17	-	0.2
7	16.8	15	-	20	-	25.6
8	-	4.4	-	48.2	12.4	13.4
9	12.9	7.6	-	68	11.2	5.6
10	-	0.4	-	2	-	22
11	12.1	0	-	0.2	-	44.8
12	9.5	0	-	0.2	-	29.4
13	5.4	0.2	3.8	0.4	-	4.6
14	9.9	0	8.7	0.2	-	0.2
15	10.1	4.4	16	0	1.9	0.2
16	-	7.2	19	0	-	0
17	-	0.2	14.9	40.4	6.1	6
18	12.9	0	-	7.4	-	8.6
19	-	0.8	-	18.6	16.2	0
20	12.1	0	-	3.2	14.6	0
21	17.9	0	12.6	0	4.9	0.2
22	16.1	10.6	8.5	0	8.2	0
23	7.8	0	12.8	0.2	11.4	24
24	5	0	-	0.2	14.2	0.2
25	4.3	0	-	0	5.5	0
26	5.2	0.2	0.7	0.2	18	10.8
27	6.7	0.2	7.6	0	-	55
28	6.8	1.2	9	0	-	7.6
29	9.7	0	16.1	0	11.7	0
30	7.3	0.2	6.1	0.2	2.2	0.6
31	8.8	0	18.6	0		
Total		55.8		245.4		286.6

- : Dados não disponibilizados.

VITA

Vladirene Macedo Vieira, filha de Alvim de Castro Vieira e Ireni Macedo Vieira, nasceu em 13 de julho de 1982, em Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil.

Concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Dr. Genésio Pires. Em 2003 ingressou na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde desenvolveu atividades como bolsista de iniciação científica no Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia sob orientação do professor Miguel Dall'Agnol e no Departamento de Plantas de Lavoura sob orientação do professor Paulo Regis Ferreira da Silva.

Graduou-se Engenheira Agrônoma em dezembro de 2007 e ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia da UFRGS, em março de 2008, no Departamento de Plantas de Lavoura, sob orientação do professor Paulo Regis Ferreira da Silva.