

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

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE ARROZ IRRIGADO EM SUCESSÃO A  
COBERTURAS DE SOLO**

Silmara da Luz Correia  
Engenheira Agrônoma/UFRGS

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Abril de 2013

### CIP - Catalogação na Publicação

Correia, Silmara da Luz

Desempenho agrônômico de arroz irrigado em  
sucessão a coberturas de solo / Silmara da Luz  
Correia. -- 2013.

xi, 82 f.

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva.  
Coorientadora: Madalena Boeni.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa  
de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,  
2013.

1. Arroz irrigado. 2. Tipos de cobertura. 3.  
Rendimento de grãos. I. Silva, Paulo Regis Ferreira  
da, orient. II. Boeni, Madalena, coorient. III.  
Título.

SILMARA DA LUZ CORREIA  
Engenheira Agrônoma - UFRGS

## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

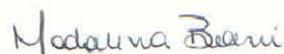
### MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 26.04.2013  
Pela Banca Examinadora



PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA  
Orientador - PPG Fitotecnia



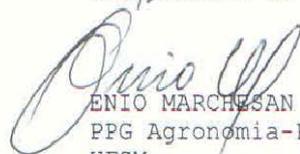
MADALENA BOENI  
Coorientadora - IRGA



CHRISTIAN BREDEMEIER  
PPG Fitotecnia



IBANOR ANGHINONI  
PPG Ciência do Solo/UFRGS



ENIO MARCHESAN  
PPG Agronomia-Produção Vegetal  
UFSM

Homologado em: 17 DEZ 2013  
Por



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia



PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais e ao Ricardo,  
pelo incentivo para o cumprimento  
de mais essa etapa.

## **AGRADECIMENTO**

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

Aos colegas Guilherme Batista Menegati, Michael da Silva Serpa, Darlan Rodrigo Marchesi e os bolsistas de iniciação científica Matheus Maass, Gabriela Carmona, Laís Miozzo, Isadora Jaeger, Guilherme Menezes, Cristhiano Gehlen e Bruna Guterres Soares pela ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

Aos meus pais Vorli e Julia e ao Ricardo Manke pelo incentivo, amor e compreensão.

Aos colegas da salinha de pós-graduação do Departamento de Plantas de Lavoura pela amizade, incentivo e carinho.

À Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz, pela viabilização de realização desse trabalho a campo, em especial Madalena Boeni e Felipe Carmona pela amizade e exemplo de profissionalismo.

Aos técnicos e demais funcionários do Instituto Riograndense do Arroz pelo auxílio na realização do trabalho.

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

Ao técnico de laboratório Fábio e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial aos professores Christian Bredemeier e Carla A. Delatorre.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

# DESEMPENHO AGRONÔMICO DE ARROZ IRRIGADO EM SUCESSÃO À COBERTURAS DE SOLO<sup>1</sup>

Autor: Silmara da Luz Correia  
Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva  
Coorientador: Madalena Boeni

## RESUMO

O uso de espécies de cobertura de solo no inverno pode constituir-se em uma estratégia eficiente para adição e/ou ciclagem de nutrientes e contribuir para aumentar o rendimento de grãos de arroz cultivado em sucessão. No entanto, o manejo inadequado dos resíduos vegetais pode atrasar a época de semeadura do arroz e reduzir a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas. Diante disso, os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar o efeito de resíduos de espécies de cobertura de solo no inverno na adição de nutrientes para o arroz irrigado em sucessão; b) determinar o efeito de espécies de cobertura de solo na emergência e no desenvolvimento das plantas de arroz irrigado cultivado em sucessão e c) avaliar o desempenho agrônomo do arroz irrigado cultivado em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo, sob três níveis de adubação. O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas (2010/11 e 2011/12) em Cachoeirinha, RS. Os tratamentos constaram de quatro tipos de cobertura de solo no inverno (serradela nativa (*Ornithopus micranthus*), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), consórcio serradela- azevém e pousio) e de três níveis de adubação na cultura do arroz irrigado cultivado em sucessão, de acordo com a análise de solo (sem adubação e para expectativas de resposta Média e Muito Alta à adubação). O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. O uso de espécies de cobertura de solo no período de inverno intensifica a adição de nutrientes para o arroz cultivado em sucessão. Entre as espécies de cobertura avaliadas, a serradela apresenta maior aporte de nutrientes ao sistema solo-planta, principalmente de N, tanto em cultivo solteiro como em consórcio com azevém, em relação ao azevém solteiro. A presença de resíduos vegetais na superfície do solo, com rendimentos considerados médios ou altos, pode ser benéfica ou prejudicial à emergência de plantas de arroz em relação à sucessão ao pousio, dependendo principalmente do regime de precipitação pluvial vigente durante o subperíodo semeadura-emergência do arroz. Embora ocorra significativo acúmulo de nutrientes nas espécies de coberturas de solo no inverno, não há evidências de que sua utilização resulte em maior rendimento de grãos de arroz em sucessão, independentemente do nível de adubação do arroz.

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (82 p.) Abril, 2013.

# PERFORMANCE OF AGRICULTURE RICE IN SUCCESSION TO SOIL COVERS<sup>1</sup>

Author: Silmara da Luz Correia  
Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva  
Co-adviser: Madalena Boeni

## ABSTRACT

The use of soil cover species in the winter could be an effective strategy to add and/or to cycle nutrients and to contribute to increase rice grain yield grown in succession. However, the inadequate management of cover residues can delay rice sowing date and reduce the emergence and early growth development of rice plants. Thus, the objectives of this study were: a) to evaluate the effect of residues of species of soil covering in the winter in addition nutrient for irrigated rice in succession, b) to determine the effect of soil cover types in the emergence and development of rice plants grown in succession and c) to evaluate rice agronomic performance grown in sequence to four cover soil types, under three fertilization levels. The experiment was conducted during two growing seasons (2010/11 and 2011/12) at Cachoeirinha, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The treatments consisted of four cover soil types in winter ryegrass (*Lolium multiflorum*), a leguminous species (*Ornithopus micranthus*), a system with simultaneous cropping of ryegrass and Ornithopus and a fallow soil) and three fertilizer rates in rice grown in succession, according to the analysis of soil (without fertilizer and according to the expectations of Medium and Very High response to fertilization). The experimental design was a randomized complete block, disposed in split-plot, with four replications. The use of species cover crops during winter intensifies the addition of nutrients to the rice grown in succession. Among the species cover evaluated, leguminous species has higher nutrient contribution to soil-plant system, especially N, both as in single culture or as simultaneous cropping with ryegrass, compared to ryegrass single culture. The presence of crop residue on soil surface, with yields considered medium or high, may be beneficial or harmful to the emergence of rice plants in relation to succession to fallow soil, depending mainly on rainfall regime that occurs during sowing-emergence period. Although the significant nutrient contribution given by plant cover crops, the results obtained in two years do not show that its use results in higher grain yield of rice in succession, regardless of the level of fertilization on rice.

---

<sup>1</sup>Master of Science Dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (82 p.) April, 2013.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1 Potencialidades de uso de espécies de cobertura de solo no inverno em áreas de cultivo de arroz irrigado .....	7
2.2 Limitações e estratégias para viabilizar o cultivo de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno. ....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3.1 Local e solo da área experimental .....	22
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	23
3.3 Manejo das espécies de cobertura do solo no inverno .....	24
3.4 Manejo da cultura do arroz irrigado.....	25
3.5 Parâmetros avaliados.....	27
3.5.1 Parâmetros de solo e dados meteorológicos.....	28
3.5.2 Parâmetros relacionados as espécies de cobertura de solo.....	29
3.5.2.1 Rendimento de massa seca da parte aérea.....	29
3.5.2.2 Teores de carbono e lignina na massa seca da parte aérea das plantas .....	29
3.5.2.3 Quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea das plantas.....	29
3.5.3 Parâmetros relacionados à cultura do arroz irrigado .....	30
3.5.3.1 Densidade inicial de plantas .....	30
3.5.3.2 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas .....	30
3.5.3.3 Quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea.....	30
3.5.3.4 Componentes do rendimento .....	30
3.5.3.5 Esterilidade de espiguetas.....	31
3.5.3.6 Índice de colheita aparente .....	31
3.5.3.7 Rendimento de grãos .....	31
3.6 Análise estatística.....	31
4 RESULTADOS.....	33
4.1 Dados meteorológicos referentes aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 .....	33
4.1.1 Radiação solar global .....	33
4.1.2 Temperatura média do ar.....	35
4.1.3 Precipitação pluvial ocorrida entre o período anterior à semeadura ao estabelecimento das plantas de arroz.....	36
4.2 Evolução dos atributos químicos do solo durante o período experimental.....	37

	Página
4.3 Parâmetros relacionados aos tipos de coberturas de solo no inverno .....	38
4.3.1 Rendimento de massa seca, relação C/N, teores de carbono orgânico e de lignina e relação lignina/N de resíduos da parte aérea .....	38
4.3.2 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas de cobertura.....	39
4.4 Parâmetros relacionados ao estabelecimento inicial e ao desenvolvimento das plantas de arroz.....	40
4.4.1 Densidade inicial de plantas .....	40
4.4.2 Rendimento de massa seca de parte aérea de plantas no estágio V <sub>3</sub> .....	41
4.4.3 Quantidades de nutrientes acumuladas nas plantas no estágio V <sub>3</sub> .....	42
4.4.4 Rendimento de massa seca de parte aérea de plantas no estágio V <sub>8</sub> .....	43
4.4.5 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas no estágio V <sub>8</sub> .....	43
4.4.6 Rendimento de massa seca da parte aérea do arroz na antese (R <sub>4</sub> ) .....	45
4.4.7 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas na antese (R <sub>4</sub> ) .....	47
4.5 Parâmetros relacionados ao rendimento de grãos de arroz .....	49
4.5.1 Componentes do rendimento.....	49
4.5.1.1 Número de panículas por metro quadrado.....	49
4.5.1.2 Número de grãos por panícula.....	50
4.5.1.3 Peso do grão.....	51
4.5.1.4 Esterilidade de espiguetas.....	51
4.5.2 Índice de colheita aparente (ICa).....	51
4.5.3 Rendimento de grãos .....	52
5 DISCUSSÃO .....	54
6 CONCLUSÕES .....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
8 APÊNDICES.....	77
9 VITA .....	82

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Atributos químicos do solo em quatro datas de amostragens durante a condução do experimento. Cachoeirinha-RS .....	38
2. Rendimento de massa seca <sup>1</sup> da parte aérea, relação C/N, teores de C e lignina e relação lignina/N de resíduos da parte aérea dos tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....	39
3. Quantidades de nutrientes acumulada <sup>1</sup> nas parte aérea das plantas de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS .....	40
4. Densidade inicial de plantas de arroz, na média de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS .....	41
5. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz no estágio V <sub>3</sub> <sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11 .....	42
6. Quantidades de nutrientes acumulada na parte aérea de plantas de arroz no estágio V <sub>3</sub> <sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11 .....	42
7. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12 .....	43
8. Quantidades acumulada de N e P nas plantas de arroz no estágio V <sub>8</sub> <sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12.....	44
9. Quantidade acumulada de K nas plantas de arroz no estágio V <sub>8</sub> <sup>1</sup> , em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS. 2011/12.....	45
10. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em R <sub>4</sub> <sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....	46

11. Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas de arroz em $R_4^1$ em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS. 2010/11 .....	47
12. Quantidades acumuladas de N nas plantas de arroz em $R_4^1$ em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12 .....	48
13. Quantidades acumuladas de P e K nas plantas de arroz em $R_4^1$ em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12 .....	49
14. Número de panículas por metro quadrado de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS .....	50
15. Número de panículas por metro quadrado de plantas de arroz em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno, na média de três níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2011/12 .....	50
16. Esterilidade de espiguetas em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11 .....	51
17. Índice de colheita aparente ( $IC_a$ ) de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS .....	52
18. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11 .....	52
19. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12.....	53

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Radiação solar global por decêndio nos meses de setembro a março referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1975 a 2002. Cachoeirinha, RS. Fonte: Cargnelutti <i>et al.</i> (2004); INMET (2012). ....	35
2. Temperatura média do ar por decêndio nos meses de setembro a março referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1960 a 1990. Cachoeirinha-RS. Fonte: INMET (2012).....	36
3. Precipitação pluvial ocorrida durante o período anterior à semeadura e durante o período de estabelecimento das plantas de arroz referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1960 a 1990. Cachoeirinha-RS. Fonte: INMET (2012).....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz irrigado (*Oryza sativa L.*) é uma cultura de grande importância econômica e social para o Estado do Rio Grande do Sul. Neste Estado, os denominados “solos de terras baixas” ocupam uma área de 5,4 milhões de hectares, nos quais, anualmente, são cultivados cerca de um milhão de hectares com arroz irrigado, cuja produtividade média de grãos na safra 2011/12 foi de 7,7 t ha<sup>-1</sup> (IRGA, 2012). O RS é o estado maior produtor de arroz irrigado do Brasil, contribuindo com quase 60% da produção nacional (CONAB, 2012).

No atual sistema de produção de grãos, as demandas técnicas e sócio-econômicas têm aumentado a necessidade de intensificação de uso dos recursos de produção, com mínimo impacto ambiental. Em algumas áreas produtoras de arroz, tem-se observado estagnação nos rendimentos de grãos obtidos, mesmo com a adoção de cultivares com alto potencial produtivo e de altos níveis tecnológicos. Para se ultrapassar esse patamar, é importante que se aumente o potencial produtivo desses solos. Nesse sentido, a adoção de sistemas conservacionistas de preparo de solo, com uso de sistemas de sucessão de culturas, pode se constituir em uma estratégia eficiente para se atingir maiores rendimentos nessas áreas.

Embora ainda seja prática pouco difundida entre os orizicultores, o uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas pode resultar em vários benefícios à cultura do arroz irrigado, como quebra de ciclo de pragas e doenças, diminuição de infestação de plantas

daninhas, especialmente do arroz vermelho (*Oryza sativa*), e alternância nos padrões de extração e de ciclagem de nutrientes, pelo uso de espécies com diferentes sistemas radiculares. Além disso, os cultivos de soja e milho no verão em sucessão a diferentes espécies de cobertura de solo no inverno são alternativas de intensificação de uso do solo, melhorando sua qualidade e resultando em maior eficiência do manejo do sistema, pelo melhor uso dos recursos e também pela redução dos custos de produção.

Os benefícios da adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas não se limitam ao aumento da produtividade, mas também à melhoria da qualidade física, química e biológica do solo. Neste aspecto, o solo é considerado um sistema aberto, onde as perdas de nutrientes podem ser significativas. A utilização de espécies de plantas de cobertura na entressafra do arroz é fundamental, não apenas por introduzir material vegetal para proteger o solo, mas também porque estas plantas absorvem e acumulam nutrientes nos tecidos, que poderiam ser perdidos do solo. Em um planejamento de uso eficiente do solo, a contínua adição de resíduos é ação prioritária para conservá-lo e o que nele existe. O efeito principal desse sistema deve-se à presença de plantas e de seus resíduos sobre o solo, à atividade radicular e à relação agregação-acúmulo de matéria orgânica. Especialmente dessa relação, que é de efeito mútuo, surgem novas propriedades no solo, dentre elas o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que influi na dinâmica de alguns nutrientes no solo.

Espécies de cobertura de solo, como azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e serradela nativa (*Ornithopus micranthus*) apresentam alto potencial de utilização durante o inverno em solos em que se cultiva arroz irrigado, devido à capacidade de adaptação a condições de solos mal drenados. O azevém pode produzir alto rendimento de massa seca com adequada adubação, o que confere a essa espécie grande habilidade de reciclar nutrientes e de adicionar resíduos ao solo, além da possibilidade de pastejo em sistemas de

integração lavoura-pecuária, constituindo-se em importante alternativa de cultivo no inverno. Por sua vez, a serradela nativa, embora tenha menor potencial de rendimento de massa seca, por ser uma leguminosa estabelece simbiose com bactérias fixadoras de N, podendo beneficiar o arroz cultivado em sucessão pelo aporte de N, em solos que são, em sua grande maioria, pobres em matéria orgânica. Com isto, pode haver redução nos custos de produção e benefícios ao ambiente, já que há menor risco de contaminação de corpos de água com nitrogênio mineral (nitrato e nitrito). Além do N, outros nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio podem ter suas disponibilidades aumentadas pela ciclagem.

Cada espécie cultivada como cobertura de solo no inverno apresenta vantagens e desvantagens para a cultura em sucessão e para o sistema de produção em que estão inseridas, tornando difícil a indicação de uma única espécie que reúna somente aspectos desejáveis. Neste aspecto, o uso de sistemas consorciados de culturas pode propiciar a formação de coberturas de solo mais próximas do ideal, podendo contribuir para aumentar o rendimento de grãos da cultura em sucessão e para melhoria do sistema de produção. Os sistemas consorciados podem proporcionar eficiente cobertura vegetal e maior ciclagem e adição de nutrientes no solo, principalmente de N, no caso da presença de espécies leguminosas.

Embora o uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas tenha muitas vantagens potenciais para o sistema de produção, se mal manejado pode resultar em algumas limitações para o cultivo do arroz irrigado. Uma das principais é a possibilidade da presença de palha em quantidade elevada, mantendo o solo com excesso de umidade, o que pode dificultar a semeadura do arroz na época recomendada (01 de setembro a 10 de novembro) (SOSBAI, 2012), que é uma das condições essenciais para obtenção de altas produtividades. Além disso, devido à condição natural de má drenagem do solo onde se cultiva arroz irrigado, a decomposição de resíduos vegetais geralmente ocorre de forma

anaeróbica, o que pode resultar na formação de ácidos orgânicos em concentrações que podem ser tóxicas às plantas de arroz em estádios iniciais do desenvolvimento. Em cultivos de terras altas, sistemas de sucessão de culturas têm sido amplamente estudados, sendo já disponíveis estratégias de manejo das espécies de cobertura de solo de inverno para beneficiar as culturas em sucessão, especialmente para o milho.

A inexpressiva utilização de plantas de cobertura de inverno em áreas cultivadas com arroz irrigado demonstra a falta de entendimento de como viabilizar seu cultivo, visando melhor aproveitamento de suas potencialidades e, assim, contribuir para a sustentabilidade da atividade orizícola. Diante disso, há necessidade de estudos para desenvolver estratégias de manejo que favoreçam a adoção desse sistema de produção no cultivo de arroz irrigado em sucessão e que minimizem seus possíveis efeitos indesejáveis.

Diante do exposto, elaboraram-se as seguintes hipóteses de trabalho na presente pesquisa:

- A. A utilização de espécies vegetais de cobertura de solo no inverno contribui para a adição de nutrientes para o arroz irrigado cultivado em sucessão, resultando em melhoria dos atributos químicos do solo.
- B. A presença de resíduos culturais de espécies de cobertura de solo no inverno interfere no estabelecimento inicial e/ou no desenvolvimento das plantas de arroz em sucessão.
- C. Há melhoria do desempenho agrônômico do arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em relação a áreas que permanecem em pousio, especialmente sob condições limitantes de fertilidade do solo.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram:

- a. Avaliar o efeito de resíduos de espécies de cobertura de solo no inverno na adição de nutrientes para o arroz irrigado em sucessão;

- b. Determinar o efeito de coberturas de solo no inverno no estabelecimento inicial e no desenvolvimento das plantas de arroz irrigado cultivado sob três níveis de adubação; e
- c. Avaliar o desempenho agrônômico do arroz irrigado cultivado em sucessão a quatro diferentes tipos de cobertura de solo no inverno, sob três níveis de adubação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devido à importância econômica, cultural e nutricional do arroz, inúmeros trabalhos de pesquisa são realizados anualmente em nível mundial, buscando gerar novas tecnologias para aumentar sua produção e produtividade. Investigações nas áreas de melhoramento genético e de manejo da cultura visam o aumento de produtividade, com maior eficiência de uso dos insumos utilizados e com diminuição de custos de produção e de riscos de poluição ambiental (Koutroubas & Ntanos, 2003).

Embora a produtividade média das lavouras de arroz irrigado no estado do RS tenha aumentado nos últimos anos, devido ao uso de cultivares com alto potencial produtivo e à melhoria das práticas de manejo da cultura (Menezes *et al.*, 2012), uma prática pouco pesquisada e difundida entre os orizicultores é o uso de rotação e sucessão de culturas no cultivo do arroz irrigado, o que contribuiria para a sustentabilidade do sistema produtivo, uma vez que os resíduos culturais são importantes fontes de nutrientes.

Apesar de inúmeras vantagens da adoção desse sistema, como melhorias nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, o seu uso também pode apresentar limitações, principalmente relacionadas à quantidade e à qualidade de resíduos adicionados ao solo e à viabilização da semeadura do arroz na época recomendada (01 de setembro a 10 de novembro) (SOSBAI, 2012). Diante disso, a investigação desses processos é fundamental na busca de estratégias que amenizem esses problemas. Assim, serão abordadas nessa revisão as potencialidades de uso de espécies de cobertura de solo no

inverno em áreas de cultivo de arroz irrigado e as limitações e estratégias para viabilizar o cultivo de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno.

## **2.1 Potencialidades de uso de espécies de cobertura de solo no inverno em áreas de cultivo de arroz irrigado**

Há grande potencial de uso de coberturas de solo no inverno em áreas de cultivo de arroz no estado do RS. A área cultivada anualmente com arroz é de, aproximadamente, um milhão de hectares, porém a área orizícola disponível para cultivo chega a três milhões de hectares, de um total de 5,4 milhões de hectares. Em algumas regiões arrozeiras do Estado, como a Depressão Central e as Planícies Costeiras Interna e Externa, o arroz irrigado é cultivado anualmente sem uso de espécies de cobertura de solo no inverno. Em outras, como a Fronteira Oeste, a Campanha e a Zona Sul, o arroz participa de sistemas com áreas em pousio, utilizadas com pecuária extensiva de corte, aproveitando-se a resteva do arroz e a pastagem nativa, em intervalos de dois, três ou mais anos. Nessas regiões, há grande extensão de área em pousio, que vem sendo subutilizada.

Por outro lado, o cultivo contínuo de arroz irrigado pode reduzir a fertilidade do solo, quando não se realiza a reposição necessária de nutrientes e não se cultiva plantas no período da entressafra, e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. Além disto, pode haver aumento da incidência de pragas, doenças e plantas daninhas com o monocultivo do arroz.

No estado do RS, o principal sistema de cultivo do arroz adotado é o cultivo mínimo, que na safra 2011/12 correspondeu a 67,5% da área cultivada (Menezes *et al.*, 2012). No sistema de cultivo mínimo, as operações de preparo do solo podem ser realizadas desde o verão anterior até o início da primavera, sendo a cobertura vegetal composta principalmente por plantas daninhas (SOSBAI, 2012). Dessa forma, o preparo do

solo logo após a colheita implica em alguns questionamentos a respeito dos seus efeitos a curto e longo prazos. Entre eles, cita-se o destino dos nutrientes oriundos da decomposição de cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de palha resultante do cultivo de arroz. Em estudo realizado por Massoni *et al.* (2013), foi avaliado o efeito dos diferentes manejos do solo e da palha após a colheita do arroz sobre os teores de N mineral e de P e K disponíveis do solo. Nesse estudo, verificou-se que, independentemente do manejo pós-colheita utilizado para a palha de arroz irrigado, não houve aumento nos teores dos nutrientes avaliados no solo ao final do período de entressafra. Dessa forma, é preciso conhecer as possíveis perdas que ocorrem no sistema, uma vez que, geralmente, o solo é preparado cerca de seis meses antes da implantação do novo cultivo de arroz e permanece apenas com a vegetação espontânea neste período, portanto sujeito a perdas de nutrientes.

Um sistema alternativo para produção de arroz irrigado é o cultivo mínimo com o uso de espécies de cobertura de solo no inverno, pois, além de reduzir custos de produção pela redução do número de operações de preparo, oferece outros benefícios ao sistema de produção. Entre os principais benefícios advindos do uso desse sistema destacam-se: ciclagem de nutrientes, redução dos níveis de infestação de plantas daninhas, principalmente de arroz vermelho, otimização do uso e melhoria de qualidade do solo pelo incremento de matéria orgânica, quebra de ciclos de doenças e pragas, otimização de uso de máquinas e mão-de-obra, diversificação de renda e aumento de produtividade e de rentabilidade do cultivo. Além disso, pode resultar em menor necessidade de aplicação de fertilizantes, devido ao aproveitamento da adubação aplicada anteriormente (Verneti Júnior *et al.*, 2009).

Os resíduos culturais são importantes fontes de nutrientes, sendo que a forma como são manejados pode manter ou aumentar a fertilidade do solo. A quantidade de nutrientes acumulada depende da espécie utilizada, do estágio fenológico considerado, do rendimento

de massa seca e do período de semeadura (Boer *et al.*, 2007). A avaliação dos efeitos de curto e longo prazos da incorporação de diferentes tipos de resíduos culturais na ciclagem e nos acúmulos de carbono (C), nitrogênio (N) e de outros nutrientes é importante para o desenvolvimento de técnicas de manejo que maximizem a produtividade do arroz cultivado em sucessão e minimizem impactos ao ambiente (Wassman *et al.*, 1995).

Considera-se que a condição ideal é aquela em que o solo tenha sempre uma espécie de planta se desenvolvendo ao longo do ano, o que determina altos fluxos de C e energia no sistema solo-planta-atmosfera, com reflexos na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Quando esse fluxo de matéria e energia é positivo, aumenta o nível de organização do solo, conferindo sustentabilidade e qualidade a este sistema (Vezzani, 2001).

O solo é um sistema aberto, onde as perdas de nutrientes podem ser significativas. A utilização de espécies de cobertura em períodos ociosos é importante, não apenas por introduzir material vegetal para proteger o solo, mas também porque estas plantas absorvem e acumulam nos tecidos nutrientes que poderiam ser perdidos. Num planejamento de uso eficiente do solo, a contínua adição de resíduos é ação prioritária para conservar o solo e o que nele existe. O efeito principal desse sistema deve-se à presença da planta e de seus resíduos sobre o solo, à atividade radicular e à relação agregação-acúmulo de matéria orgânica. Especialmente dessa relação, que é de efeito mútuo, surgem novas propriedades no solo, dentre elas o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que influi na dinâmica de alguns nutrientes no solo (Anghinoni *et al.*, 2007; Vezzani & Mielniczuk, 2009).

Um dos principais benefícios do uso de sistemas de sucessão de culturas é o aumento do estoque de carbono no solo, devido ao balanço positivo de carbono (Blair *et al.*, 1997; Lal, 2004). Esse aumento resulta da maior adição de resíduos em relação às

perdas que, no sistema plantio direto, têm menor taxa de decomposição do que no sistema de preparo convencional do solo (Bayer *et al.*, 2006; Tisdal *et al.*, 1996). O aumento ao longo do tempo de estoques de carbono e, conseqüentemente, de N contribui para seqüestro do C atmosférico, diminuindo a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa (Lal, 2004). Portanto, a utilização do sistema plantio direto, em solos bem crenados, é uma das principais estratégias para aumentar o potencial produtivo de solos de baixa produtividade pelo aumento, a longo prazo, dos teores de matéria orgânica e de nutrientes no solo em função da adição de resíduos.

O uso de sistemas de sucessão de culturas permite a adição de nutrientes ao sistema, via fixação biológica de N e ciclagem de nutrientes, podendo haver redução na quantidade a ser aplicada sob a forma de fertilização mineral e no custo de produção da lavoura (Marchesi, 2011b). Segundo Anghinoni (2009), há necessidade de desenvolvimento de pesquisas sobre manejo de resíduos de espécies de cobertura de solo e da própria palhada de arroz, que passa a ser elevada quando se atinge altos rendimentos de grãos (de até 12 Mg ha<sup>-1</sup>). Nesse sentido, a adição de palha e a ciclagem de nutrientes originada pela cultura antecessora ao arroz irrigado podem manter e/ou aumentar a fertilidade de solo ao longo do tempo, pois são fontes de nutrientes. Também é importante avaliar os efeitos do aporte de diferentes tipos de resíduos culturais e seu manejo (Wassman *et al.*, 1995).

Um aspecto a ser considerado na disponibilidade e na demanda de nutrientes para o cultivo em sucessão a espécies de cobertura de solo é a qualidade dos resíduos culturais. A taxa de decomposição de resíduos é controlada por diversos processos intrínsecos aos resíduos como, por exemplo, as concentrações da fração solúvel em água, de N, de lignina e de polifenóis, além das relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N (Reinertsen *et al.*, 1984; Trinsoutrot *et al.*, 2000). Segundo Aita & Giacomini (2003), a velocidade de

decomposição e liberação de N de resíduos culturais de plantas de cobertura é inversamente proporcional às relações C/N e lignina/N e diretamente proporcional à concentração de N total na fitomassa.

O N é um dos nutrientes mais estudados quando se visa incrementos em produtividade nos sistemas agrícolas, pois é o que, geralmente, mais limita o rendimento de grãos nas poáceas. Ele desempenha inúmeras funções na fisiologia da planta, sendo constituinte de paredes celulares, clorofilas, proteínas, ácidos nucléicos e outros componentes da célula (Taiz & Zaiger, 2009). A eficiência de seu uso pelas plantas é baixa, raramente excedendo 50% da quantidade aplicada (Lara *et al.*, 2000). Cerca de 50% do N absorvido pelas plantas é exportado pelos grãos, sendo que o restante permanece nos resíduos culturais. A maior ou menor disponibilidade de N no solo dependerá da intensidade dos processos de imobilização e mineralização da palha. A direção das reações, ou seja, se prevalecerá um ou outro processo, dependerá principalmente da relação C/N do material vegetal adicionado ao solo. A adição de resíduos de alta relação C/N, como os das espécies da família das poáceas, estimula a atividade microbiana, diminuindo a disponibilidade de N para as plantas do cultivo em sucessão, principalmente nos seus estádios iniciais de desenvolvimento, devido à maior habilidade dos microrganismos de competirem pelo N disponível (Cantarella, 2007).

Por outro lado, o uso de espécies da família das leguminosas, cujas plantas são capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN), resulta em aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (Perin *et al.*, 2004). A baixa relação C/N de resíduos vegetais de espécies dessa família favorece sua decomposição e mineralização de N por microrganismos do solo (Zotarelli, 2000). Dessa forma, os microrganismos do solo imobilizam menos N para o seu crescimento populacional, disponibilizando mais N para as plantas já nos estádios iniciais de desenvolvimento da

planta sucessora. Portanto, a sincronia entre oferta e demanda desse nutriente está associada à velocidade de liberação pelos resíduos vegetais. Outros fatores que afetam a disponibilidade de N para o cultivo em sucessão são o manejo da massa seca, as condições de temperatura do ar e/ou do solo e a frequência de períodos de secagem e umedecimento de resíduos. Neste sentido, a taxa de decomposição de resíduos é menor em ambiente alagado, o que pode reduzir a taxa de mineralização de N para o arroz irrigado cultivado em sucessão ao azevém (Olk *et al.*, 2007). Assim, a otimização da absorção de N depende do fracionamento da dose e das condições ambientais quando de sua aplicação, somado à atividade microbiana que, conjuntamente, poderão determinar maior sincronismo entre taxa de liberação no solo e velocidade de absorção pelas plantas (Ceretta *et al.*, 2006). O manejo adequado do N consiste em compatibilizar a necessidade das plantas com os processos de perdas, devido principalmente à volatilização de amônia, à lixiviação de nitrato, à denitrificação e ao escoamento superficial.

Outro nutriente importante para desenvolvimento das plantas é o fósforo (P). Na planta, a maior parte do P encontra-se associada aos componentes orgânicos do tecido vegetal, sendo sua liberação intimamente ligada ao processo de decomposição pelos microrganismos do solo (Marschner *et al.*, 1995). Esse nutriente é suprido às raízes das plantas principalmente via difusão e interceptação radicular, sendo absorvido nas formas iônicas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ , e permanece nas células na forma oxidada (Bissani *et al.*, 2008). Dependendo do manejo adotado nos sistemas agrícolas, pode ocorrer sua adsorção às partículas coloidais de argilas e matéria orgânica do solo. A presença constante de cobertura no solo aumenta a concentração de P na sua camada mais superficial. Este fato, aliado à produção de ânions orgânicos oriundos da decomposição microbiana de resíduos vegetais, pode aumentar a competição pelos sítios de adsorção de P ao solo, liberando P para a solução. Assim, a presença constante de cobertura do solo é importante para reduzir

o processo de adsorção de P e intensificar seu suprimento às raízes das plantas (Rheinheimer *et al.*, 2000).

Por ser macronutriente importante na cultura do arroz irrigado, o potássio (K) é demandado em quantidade igual ou superior ao N (Genro Junior *et al.*, 2007). O K é o cátion mais abundante no citoplasma celular e está presente em altas concentrações também nos cloroplastos. Esse nutriente é fundamental para gerar pressão de turgor relacionada ao crescimento e à expansão celular (Taiz & Zaiger, 2009). Tendo em vista a elevada demanda de K pelas plantas de arroz e a possibilidade de perdas desse nutriente, a adoção de sistema de sucessão de culturas pode favorecer a manutenção desse nutriente no sistema de produção. Cerca de 67% das amostras de solo de lavouras arroteiras do Rio Grande do Sul apresenta algum grau de deficiência desse nutriente, apesar do aumento que tem se verificado na quantidade adicionada via fertilização química (Boeni *et al.*, 2010). Possivelmente, essa diminuição nos teores de K nos solos seja principalmente por saídas por percolação no perfil e/ou escoamento superficial. Outra causa dessa redução pode estar relacionada aos baixos teores de argila e matéria orgânica desses solos, cultivados continuamente com pousio hibernar (Boeni *et al.*, 2010).

Embora a quantidade absorvida de K pelo arroz irrigado seja elevada, a quantidade removida pelos grãos é pequena (aproximadamente 20%), por ser um nutriente não constitutivo de tecidos estruturais e com grande mobilidade na planta. Devido a essa característica, o K retorna ao solo com a deposição da palha, de forma relativamente rápida, formando gradiente decrescente de concentração no perfil, a partir da superfície, sendo que seu controle é dependente da CTC do solo. Quando não se cultiva uma espécie em sucessão ao arroz, o escoamento superficial de água da lavoura pode provocar perdas desse nutriente (Marchesi, 2011b).

Com adoção de sistemas sem intervalo de pousio entre uma cultura e outra, o K é absorvido, permanecendo a maior parte do tempo no tecido vegetal, protegido de perdas por lixiviação e erosão (Mielniczuk, 2005). Além disso, no sistema plantio direto, os aumentos da CTC do solo com as elevações dos teores de matéria orgânica e do pH do solo aumentam a capacidade de retenção de K pelo solo e modificam sua distribuição nos sítios de troca e na solução do solo, o que também reduz perdas por lixiviação. Assim, os maiores rendimentos de massa seca obtidos pelas culturas com o aumento da fertilidade do solo magnificam a adição de K (Santi *et al.*, 2003).

Ao contrário de N e P, o K não está ligado a qualquer composto orgânico na planta, por isso não requer o envolvimento de microrganismos para sua liberação, sendo assim sua liberação é mais rápida que a de N e P (Marschner *et al.*, 1995). Diversos trabalhos relacionam K como o nutriente mineralizado mais rapidamente. Marchesi (2011b) verificou que cerca de 90% do teor remanescente de K na palha de azevém, foi liberado até os 56 dias após a disposição dos sacos de decomposição, independentemente do sistema de manejo da palha. Dessa forma, o K representa um nutriente em que o prazo de implantação das culturas deve ser minimizado, com vistas à diminuição de perdas, devido a sua rápida liberação.

Neste contexto, o uso de sistemas de sucessão de culturas é um fator importante para definição do potencial de rendimento de grãos e para obtenção de maior estabilidade do rendimento ao longo do tempo. Esses são objetivos almejados pelos agricultores, sendo um dos componentes da sustentabilidade dos cultivos. Esses benefícios podem ser alcançados pelo uso de sucessão de culturas no sistema plantio direto, que atue na contínua melhoria da qualidade do solo. Desse processo de melhoria resulta a construção da fertilidade do solo, capaz de aumentar os rendimentos de massa seca e de grãos das culturas.

Portanto, o conhecimento do desempenho de espécies de inverno que se adaptem às condições de solos mal drenados, antecedendo à cultura do arroz, é fundamental para sustentabilidade de sistemas de produção de arroz irrigado. O azevém é a principal espécie cultivada para formação de cobertura de solo para semeadura direta do arroz (Menezes *et al.*, 1994). Sua importância é estratégica em áreas de cultivo de arroz, já que é uma das poucas espécies adaptadas a este ambiente. Além disso, pode ser utilizada com duplo propósito, para cobertura de solo e para pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Dentre as espécies leguminosas, a serradela e o cornichão (*Lotus corniculatus*) apresentam elevado potencial de utilização em áreas de cultivo de arroz irrigado durante o inverno e a primavera, devido a sua alta capacidade de adaptação a condições de solo mal drenados (Menezes *et al.*, 1994). Além de promoverem cobertura de solo e serem utilizadas como fonte protéica para animais, o uso de espécies leguminosas pode reduzir a dose de adubação nitrogenada a ser utilizada no cultivo em sucessão. Nesse sentido, para a cultura do milho já se utiliza a cultura antecessora como um dos critérios para recomendação de adubação nitrogenada, uma vez que, no milho cultivado após coberturas leguminosas de inverno, pode-se reduzir a dose de N em até 20 kg ha<sup>-1</sup> (CQFS RS/SC, 2004). O uso dessas espécies como fonte de N é particularmente importante em solos com baixos teores de matéria orgânica, em que as doses de fertilizantes nitrogenados a serem aplicadas são elevadas, em função dos baixos teores de N prontamente disponíveis (Aita *et al.*, 2001). O cultivo de serradela no inverno pode disponibilizar N em quantidade adequada para obtenção de rendimentos de grãos ao redor de 8,0 a 9,0 t ha<sup>-1</sup> de arroz em sucessão, sem a aplicação de N em cobertura (Macedo *et al.*, 2007).

A consorciação de espécies poáceas e leguminosas apresenta vários benefícios à qualidade do solo. Especificamente em relação ao N, as espécies poáceas atuam na

ciclagem do N mineral do solo, reduzindo os riscos de lixiviação, enquanto as leguminosas adicionam este nutriente pela FBN, contribuindo para aumento da sua disponibilidade para as culturas em sucessão. A decomposição de resíduos em sistemas consorciados de culturas depende da proporção das espécies que compõem a consorciação e da relação C/N resultante (Henrichs *et al.*, 2001). Porém, de modo geral, a velocidade de decomposição de resíduos culturais de espécies consorciadas é intermediária em relação aos cultivos isolados de leguminosas e de poáceas. A contribuição de N das consorciações para as culturas em sucessão é muito dependente da proporção das leguminosas. Quando há predomínio de poáceas, parte do N adicionado pelas leguminosas pode ser imediatamente imobilizada pelos microrganismos durante a decomposição de resíduos, reduzindo a disponibilidade deste nutriente para a cultura em sucessão (Decker *et al.*, 1987).

Além de melhorias nos atributos do solo, a utilização de sistemas de sucessão de culturas tem grande influência na infestação de plantas daninhas. A sua adoção é uma alternativa prática e econômica para redução do banco de sementes de arroz vermelho no solo, que é a principal espécie de plantas daninha infestante da cultura do arroz irrigado (Agostineto *et al.*, 2001). A presença de resíduos culturais sobre o solo suprime, então, a emergência de grande número de espécies de plantas daninhas, incluindo o arroz vermelho e o capim arroz, reduzindo sua infestação e, conseqüentemente, o banco de sementes no solo.

## **2.2 Limitações e estratégias para viabilizar o cultivo de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno.**

Embora muito difundida em cultivos de terras altas, a adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas ainda é pouco utilizada em áreas de cultivo de arroz irrigado nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Dentre as limitações existentes para implantação desse sistema, a principal é a má drenagem dos solos cultivados com arroz,

pois limita o desenvolvimento de espécies de plantas não adaptadas a essa condição. Além desse aspecto, o uso de sistemas de sucessão de culturas demanda planejamento, devendo-se considerar as exigências das culturas, as características de clima e de solo e a adequação da área para uso de espécies cultivadas em terras altas. Dessa forma, o cultivo de espécies de cobertura de solo no inverno em áreas de arroz exige eficiente sistema de drenagem e semeadura na época correta para permitir adequado desenvolvimento das plantas.

Outra restrição ao uso de sistemas de sucessão de culturas com arroz irrigado está relacionada à possibilidade de se semear esta cultura fora da época recomendada de cultivo para o Estado do RS, que é de 01 de setembro a 10 de novembro (SOSBAI, 2012). Isso ocorre devido à dificuldade de executar adequadamente a operação de semeadura direta, podendo reduzir o estabelecimento e o desenvolvimento inicial das plantas de arroz em sucessão e imobilizar nutrientes. Dessa forma, a implantação de outros cultivos antecedendo o arroz irrigado ainda é muito limitada, apesar dos potenciais benefícios técnicos, sócio-econômicos e ambientais.

Esse fato se reflete na escassez de informações sobre o uso de plantas de cobertura no período da entressafra nesses ambientes. Uma das dificuldades é saber o momento e a forma de manejar a planta, para que a mesma não prejudique a implantação da lavoura de arroz dentro da época recomendada. Em semeaduras realizadas no início do período recomendado, há maior dificuldade de estabelecimento da cultura de arroz e, geralmente, se obtém menor densidade inicial de plantas, em função da ocorrência de baixa temperatura do solo. Por outro lado, semeaduras realizadas após o período recomendado limitam o rendimento de grãos. Em semeaduras tardias, a probabilidade de ocorrência de adversidades meteorológicas durante o desenvolvimento da planta são maiores, como menor disponibilidade de radiação solar entre os estádios de pré-floração (microsporogênese) e floração e, além disso, há menor eficiência de uso da adubação

nitrogenada (Freitas *et al.*, 2008). Dessa forma, a semeadura de arroz fora da época recomendada limita o rendimento de grãos, uma vez que os tetos de rendimento são definidos pelo fator mais limitante. Nesse contexto, a escolha adequada da espécie e do manejo adequado de plantas de cobertura de solo pode reduzir os riscos de semear arroz fora da época preferencial.

Dentre essas espécies de cobertura de solo, o azevém, a serradela nativa e o cornichão apresentam alto potencial de utilização em áreas de cultivo com arroz irrigado durante o inverno, devido à capacidade de adaptação a condições de solos mal drenados (Menezes *et al.*, 1994). O azevém é a espécie mais utilizada como cobertura de solo, devido à facilidade de implantação e baixo custo de aquisição de sementes e possibilidade de usá-lo para pastejo animal. O azevém pode produzir altos rendimentos de massa seca com adequada adubação, o que confere a essa espécie grande habilidade de ciclar nutrientes e adicionar resíduos ao solo, constituindo-se em importante alternativa de cultivo no inverno (Dias *et al.*, 1995). Já as espécies leguminosas, além de propiciarem cobertura vegetal dessas áreas no inverno, podem beneficiar o solo pela fixação de N atmosférico e serem utilizadas como fonte protéica para animais.

Os resíduos vegetais podem ser incorporados ao solo ou mantidos sobre sua superfície. No sistema conservacionista em terras altas, a presença de resíduos sobre o solo geralmente aumenta o rendimento das culturas em sucessão (Derpsch *et al.*, 1985). Quando mantidos na superfície do solo, os resíduos podem ser manejados sob diferentes formas. Eles podem ser mantidos em pé até à semeadura da cultura em sucessão, com reduzido contato com o solo, ou podem ser rolados com auxílio de equipamentos, como o rolo-faca, ou triturados, com uso de roçadeira ou equipamento similar, formando uma camada de resíduos com contato mais próximo ao solo (Silva *et al.*, 2010). Assim, a dinâmica de

nutrientes em sistemas de sucessão pode ser influenciada pelos diferentes métodos de manejo de resíduos de vegetais.

Embora tenha muitas vantagens potenciais como cultura antecessora ao arroz, o manejo inadequado, principalmente do azevém, pode prejudicar o arroz irrigado em sucessão. Assim, a presença de alta quantidade de resíduos de azevém na superfície do solo, acima de  $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de rendimento de massa seca, conforme classificação de Amado *et al.* (2002), pode dificultar a implantação e o desenvolvimento inicial das plantas de arroz em sucessão. A presença de resíduos em excesso, especialmente quando a dessecação é realizada muito próxima da semeadura do arroz, pode se constituir em barreira física na operação de semeadura por dificultar o corte da palha, o que pode deixar sementes de arroz descobertas, refletindo-se em redução da densidade inicial de plantas. Além disso, a presença de alta quantidade de palha pode dificultar a perda de umidade do solo que, somada à condição de má drenagem, pode resultar em atraso na semeadura do arroz.

No entanto, em estudos realizados por Vieira *et al.* (2011) e Marchesi *et al.* (2011a), em que foram obtidos altos rendimentos de massa seca de azevém,  $4,4$  e  $4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, o estabelecimento inicial de plantas de arroz não foi influenciado pela quantidade de massa seca produzida. Em outro estudo, Correia *et al.* (2013) obtiveram rendimentos de massa seca de azevém variáveis de  $3,7$  a  $7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , de acordo com a época de dessecação, que variou de 6 a 90 dias antes da semeadura do arroz. Nesse estudo, tanto o estabelecimento inicial de plantas quanto o rendimento de grãos de arroz irrigado não foram influenciados pela quantidade de massa seca produzida e pela época de dessecação. No entanto, o fato da presença de resíduos de azevém não ter reduzido a densidade de plantas de arroz nesses estudos contraria resultados obtidos por Menezes *et al.* (2001), que observaram menor densidade de plantas de arroz em sucessão ao azevém, quando comparado a outras espécies de cobertura de solo (aveia preta, aveia branca e

serradela nativa), à vegetação espontânea e à testemunha pousio (solo desnudo), dessecadas 15 dias antes da semeadura do arroz irrigado.

Outra possível limitação da presença de alta quantidade de resíduos de azevém, que geralmente apresenta alta relação C/N, relaciona-se ao maior consumo de nitrogênio (N) pela biomassa microbiana do solo, que o imobiliza em sua massa celular, podendo causar sua deficiência no início do desenvolvimento das plantas do arroz em sucessão (Victoria *et al.*, 1992). Em resíduos culturais com valores de relação C/N entre 25 e 30, há equilíbrio entre as intensidades dos processos de mineralização e imobilização (Allison, 1966). Outra limitação na utilização do azevém é a possível produção de ácidos orgânicos em quantidades que podem prejudicar o estabelecimento de plântulas de arroz irrigado, especialmente quando cultivado em semeadura direta (Bohnen *et al.*, 2005).

Para culturas de terras altas, especialmente para o milho, já se dispõe de diversas estratégias para mitigar os efeitos indesejáveis de culturas antecessoras no inverno (Silva *et al.*, 2006). Entretanto, nas áreas onde se cultiva arroz, dispõe-se de poucas informações sobre o efeito de resíduos culturais de espécies de cobertura de solo no inverno e de seu adequado manejo para melhor desempenho agrônômico do arroz cultivado em sucessão. Assim, os possíveis efeitos prejudiciais de culturas antecessoras no inverno sobre o estabelecimento e desenvolvimento inicial de plantas de arroz poderão ser minimizados pela maior velocidade de emergência e vigor inicial de plântulas (Poppinigs, 1977; Fleck *et al.*, 2003).

A presença de plantas de cobertura de solo diminui a amplitude térmica e contribui na retenção de maior quantidade de água no solo, comparada ao sistema convencional de cultivo (Salton, 1991). Em áreas com solos mal drenados, maior retenção de água no solo pode atrasar a época de semeadura do arroz, uma vez que pode impedir a realização da operação de semeadura. No entanto, a utilização de práticas como preparo antecipado do

solo, adequação da área de cultivo e manejo adequado das plantas de cobertura pode minimizar esse efeito indesejável de excesso de umidade na semeadura. Por outro lado, em anos com baixa precipitação pluvial durante o período de semeadura do arroz, a presença de palha da cobertura do solo pode favorecer a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas de arroz, devido à retenção de maior umidade no solo.

Contudo, as possíveis limitações do uso de espécies de cobertura de inverno antecedendo ao cultivo do arroz irrigado podem ser minimizadas com adoção conjunta de práticas de manejo indicadas para obtenção de alto rendimento de grãos de arroz. Dentre elas, destacam-se o preparo antecipado do solo, a adequação da área para o cultivo, a época de dessecação e o sistema de manejo da palha das plantas de cobertura e o manejo da fertilidade do solo. A adoção dessas práticas é importante para viabilizar a semeadura do arroz na época preferencial, para favorecer a mineralização de nutrientes da cobertura de inverno para o arroz em sucessão e para minimizar o acúmulo de compostos químicos que podem ser tóxicos ao arroz irrigado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local e solo da área experimental

O experimento foi conduzido a campo durante dois anos agrícolas (2010/11 e 2011/12) 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 altitude de 7 m. O clima da região é do tipo subtropical úmido, conforme classificação de Köeppen, sendo considerado como de transição entre os tipos Cfa<sub>1</sub> (isoterma anual inferior a 18°C) e Cfa<sub>2</sub> (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 21,0 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de dezembro (INMET 2012).

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háptico Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). Os atributos físicos e químicos do solo da área no início da execução do experimento foram avaliados por amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade. A análise de solo, realizada em março de 2010, indicou os seguintes valores: argila: 16 %; pH em água: 5,2; P (Mehlich-1): 23,2 mg dm<sup>-3</sup>; K (Mehlich-1): 105 mg dm<sup>-3</sup>, CTC<sub>pH 7,0</sub>: 8,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e matéria orgânica: 18 g kg<sup>-1</sup>, conforme Tedesco *et al.* (1995).

Anteriormente à implantação do experimento, a área experimental foi cultivada com soja no verão. Contudo, devido a problemas no estabelecimento da cultura por condições meteorológicas adversas não foi realizada a colheita. Dessa forma, a área experimental permaneceu em pousio de verão (ausência de cultivo de arroz) por um ano. Na implantação do experimento (semeadura das culturas de cobertura de solo em abril de 2010), foi utilizado o sistema convencional de cultivo, preparando-se o solo com grade aradora leve. Após a dessecação das coberturas de solo, realizou-se a semeadura direta da cultura do arroz, a qual foi colhida e a palha, triturada com equipamento “triton” para acelerar a decomposição e facilitar a emergência das culturas de cobertura de solo no segundo ano agrícola (2011/12). Após a semeadura das coberturas, utilizou-se também grade aradora leve para incorporação das sementes. A semeadura do arroz em sucessão aos sistemas de cobertura de solo também foi realizada novamente em sistema de semeadura direta.

As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Água do IRGA, em Cachoeirinha, RS; o teor de N no tecido vegetal das espécies de cobertura no Laboratório de Fisiologia do Departamento de Plantas de Lavoura, da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); os teores de P e K no Laboratório de Análises de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS; o teor de C no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS e o teor de lignina no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

### **3.2 Tratamentos e delineamento experimental**

Nos dois anos agrícolas, os tratamentos constaram de quatro diferentes tipos de cobertura de solo no inverno (azevém, serradela nativa, consórcio serradela-azevém e

pousio) e de três níveis de adubação na cultura do arroz irrigado em sucessão (sem adubação e adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta, de acordo com a análise de solo (SOSBAI, 2012)).

Nos dois anos de execução do experimento, utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os sistemas de cobertura de solo foram locados nas parcelas principais e os níveis de adubação na cultura do arroz nas subparcelas. As parcelas principais apresentavam 10 m de comprimento por 10 m de largura, totalizando 100 m<sup>2</sup>, e as subparcelas apresentavam 10 m de comprimento por 3,1 m de largura, totalizando 31 m<sup>2</sup>.

No segundo ano, os quatro sistemas de cobertura do solo e os três níveis de adubação no arroz em sucessão foram locados, respectivamente, nas mesmas parcelas e subparcelas do ano anterior.

### **3.3 Manejo das espécies de cobertura do solo no inverno**

As espécies de cobertura de solo no inverno foram semeadas a lanço, no primeiro ano, em 22 de abril de 2010 e, no segundo ano, em 12 de abril de 2011.

Nos dois anos, não foi realizada adubação na semeadura das culturas de cobertura. Apenas nas parcelas com azevém solteiro, aplicou-se N em cobertura, na forma de ureia (46% de N). Foram aplicados 50 kg ha<sup>-1</sup> de N no primeiro ano e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N no segundo ano, em duas épocas de aplicação (início de perfilhamento e 20 dias após a primeira aplicação), com o objetivo de se atingir alto rendimento de massa seca da parte aérea, ao redor de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> (CQFS RS/SC, 2004).

A densidade de semeadura do azevém foi de 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, no primeiro e segundo ano. A densidade de semeadura da serradela foi de 6 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, no primeiro e segundo ano. No sistema de

consórcio serradela-azevém, a densidade de semeadura foi de 6 kg ha<sup>-1</sup> de serradela e 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de azevém no primeiro ano e o dobro dessas quantidades no segundo ano.

Nos dois anos, durante o inverno, as parcelas principais sob pousio foram mantidas permanentemente sem vegetação espontânea, utilizando-se herbicida glyphosate, (4 L de p.c. ha<sup>-1</sup>) em duas aplicações, sendo a primeira em 01 e 09 de junho de 2010 e 2011 e a segunda em 01 e 22 de agosto de 2010 e 2011, respectivamente. Nas parcelas principais com cultivos solteiros de serradela e azevém, foi realizado o controle de azevém espontâneo e serradela, respectivamente, com aplicação de cyhalofop-butyl (2 L de p.c. ha<sup>-1</sup>) e metsulfuron-methyl (4 g de p.c. ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

As dessecações das parcelas principais com azevém solteiro foram realizadas em 01 e 12 de setembro de 2010 e 2011, respectivamente, ou seja, aos 72 e 52 dias antes da semeadura do arroz em cada ano, sem posterior manejo da palha, deixando-a em pé. Nos sistemas em que o arroz sucedeu à serradela solteira ou ao consórcio serradela-azevém, as dessecações foram realizadas em 22 e 11 de outubro de 2010 e 2011, correspondendo, respectivamente, a 21 e 23 dias antes da semeadura do arroz. No dia da semeadura do arroz foi realizada uma dessecação em toda a área com herbicida glyphosate (4 L ha<sup>-1</sup> de p.c.).

Nos dois anos, anteriormente à dessecação das culturas de cobertura de solo (estádio de florescimento), foram coletadas amostras para determinação de rendimento de massa seca, relação C/N e teor de carbono, lignina e nutrientes (N, P e K) da parte aérea das culturas de cobertura de solo.

### **3.4 Manejo da cultura do arroz irrigado**

A semeadura do arroz foi realizada em 22 de outubro de 2010 e 13 de outubro de 2011 no primeiro e segundo anos, respectivamente. No entanto, a desuniformidade da umidade do solo entre parcelas com diferentes quantidades de cobertura, ocasionou

desuniformidade no estande inicial, havendo a necessidade de ressemeadura nos dois anos agrícolas. No primeiro ano, devido à alta precipitação pluvial acumulada no período que antecedeu a semeadura do arroz, houve maior retenção de umidade no solo, resultando em baixa emergência de plantas, havendo a necessidade de ressemeadura em 12 de novembro de 2010. No segundo ano, devido à menor precipitação pluvial verificada no período que antecedeu a semeadura do arroz, houve menor retenção de umidade no solo, o que dificultou o estabelecimento inicial do arroz semeado, havendo a necessidade de ressemeadura em 03 de novembro de 2011.

A implantação da cultura, nos dois anos de condução do experimento foi semeadura direta. A densidade de semeadura foi de 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes e o espaçamento entrelinhas de 0,17 m. A cultivar utilizada foi a IRGA 424, de porte baixo, ciclo médio e com alto potencial de rendimento de grãos. As sementes foram previamente tratadas com inseticida fipronil (0,4 g de p.c. kg<sup>-1</sup> de semente) para controle preventivo da bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*) e com fungicida à base de thiram e de carboxina (0,5 g de p.c. kg<sup>-1</sup> de semente) para controle de fungos de solo.

A adubação de base, nos dois anos, foi realizada conforme as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2012), aplicando-se 08, 34 e 54 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, pela utilização de 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-17-27 no nível de adubação para expectativa de resposta Média, e de 16, 68 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, pelo uso de 400 kg ha<sup>-1</sup> da mesma fórmula no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

Nos dois anos, a adubação nitrogenada em cobertura foi fracionada em duas aplicações, sendo 2/3 da dose no estágio V<sub>3</sub>, imediatamente antes da entrada da água, e 1/3 no estágio V<sub>8</sub>, segundo escala de Counce *et al.* (2000). Utilizou-se como fonte de N a ureia (45% de N). Nos tratamentos em que o arroz recebeu adubação para expectativa de

resposta Média, aplicou-se a dose total de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 55 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>3</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>8</sub> e, nos tratamentos em que o arroz recebeu adubação para expectativa de resposta Muito Alta, aplicou-se a dose total de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 110 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>3</sub> e 54 kg ha<sup>-1</sup> no estágio V<sub>8</sub>.

A emergência das plantas de arroz ocorreu em 22 e 12 de novembro, respectivamente, no primeiro e segundo ano e a duração do subperíodo semeadura-emergência foi de 10 dias. O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação de uma mistura de herbicidas pré e pós-emergência, penoxsulan e cyhalofop-butyl 0,2 e 2,0 L de p.c. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Nos dois anos, a irrigação por inundação teve início logo após a realização da primeira adubação nitrogenada em cobertura (estádio V<sub>3</sub>), com manutenção da lâmina da água de aproximadamente 5 cm. A supressão da água ocorreu quando as plantas atingiram o estágio R<sub>7</sub>, em que pelo menos um grão da panícula do colmo principal apresentava casca amarela.

Como técnica de manejo para manutenção da produtividade, fez-se a aplicação no estágio R<sub>2</sub> (emborrachamento) de fungicida (cresoxim-metílico + epoxiconazol), nas doses de 125 g de p.c. ha<sup>-1</sup> + 125 g de p.c. ha<sup>-1</sup> para controle preventivo das doenças brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha foliar (*Bipolaris oryzae*). Quinze dias após, realizou-se outra aplicação de fungicida e também de inseticida (tiametoxam), na dose de 200 g de p.c. ha<sup>-1</sup> para controle do percevejo-do-grão (*Oebalus poecilus*) e o inseticida clorantraniliprole na dose de 50 g de p.c. ha<sup>-1</sup> para controle da lagarta-da-panícula (*Pseudaletia* spp).

### 3.5 Parâmetros avaliados

Dentre as determinações efetuadas, algumas foram realizadas nos dois anos, enquanto outras apenas no primeiro ou no segundo ano. O rendimento de massa seca e as

quantidades acumuladas por hectare de N, P e K na parte aérea de plantas de arroz no estádio V<sub>3</sub> foram avaliados apenas no primeiro ano. Já a decomposição da palha dos cultivos solteiros de serradela e azevém, o rendimento de massa seca e as quantidades acumuladas por hectare de N, P e K na parte aérea de plantas de arroz no estádio V<sub>8</sub> foram avaliados apenas no segundo ano.

### **3.5.1 Parâmetros de solo e dados meteorológicos**

Foram realizadas análises de solo durante a condução do experimento em quatro momentos distintos. A primeira amostragem foi realizada em março de 2010, na implantação do experimento, antes da semeadura das espécies de cobertura de solo. Neste momento, foram coletadas três sub-amostras de solo com trado em cada parcela principal (conforme sistemas de cobertura de solo de inverno), na camada de 0 a 20 cm. A segunda e a terceira amostragens foram realizadas em 2011 durante a condução do segundo ano de estudo, em abril antes da semeadura das espécies de cobertura de solo e em outubro antes da semeadura do arroz, sendo coletadas três sub-amostras de solo com trado em cada subparcela (conforme níveis de adubação no arroz em sucessão), na profundidade de 0 a 20 cm. Já a quarta amostragem foi realizada em outubro de 2012, antes da semeadura do arroz para condução do terceiro ano de estudo (conforme tipos de cobertura de solo), cujos dados não serão objeto de discussão nesta dissertação. Após, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo e Água do IRGA, em Cachoeirinha-RS, onde foram determinados os seguintes atributos: teor de argila, pH em água, CTC efetiva, teor de matéria orgânica e teores de P e K disponíveis (Tedesco *et al.*, 1995).

Os dados diários de temperaturas máximos e mínimos, precipitação pluvial e radiação solar global durante os dois anos de condução do experimento foram obtidos junto ao 8º DISME/INMET, em Porto Alegre-RS.

### **3.5.2 Parâmetros relacionados as espécies de cobertura de solo**

#### **3.5.2.1 Rendimento de massa seca da parte aérea**

No primeiro ano, em cada parcela principal foram coletadas duas amostras da parte aérea das plantas e, no segundo ano, três amostras (0,5 m<sup>2</sup> por sub-amostra), as quais foram secas em estufa a 60°C até atingir peso constante. O rendimento de massa seca das amostras foi extrapolado para um hectare. A coleta da parte aérea das espécies de cobertura foi realizada no estágio de pleno florescimento das plantas, um dia antes da dessecação. No tratamento consórcio após a coleta das amostras separou-se o material proveniente da serradela e do azevém para quantificar a proporção dos mesmos na amostra. No tratamento em que a área ficou em pousio, como foi mantido sem vegetação no inverno, não se realizou coleta de plantas.

#### **3.5.2.2 Teores de carbono e lignina na massa seca da parte aérea das plantas**

Nos dois anos, foram utilizadas amostras de tecido vegetal correspondentes a toda parte aérea das plantas, realizadas por ocasião da coleta para determinação de rendimento de massa seca da parte aérea. O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método de combustão seca (Nelson & Sommers, 1996), em analisador Shimadzu TOC-V SH, e o teor de lignina conforme metodologia descrita por Prates *et al.* (2007) em material vegetal moído e seco.

#### **3.5.2.3 Quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea das plantas**

Os teores de N, P e K foram obtidos conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995) em material vegetal moído e as quantidades acumuladas foram obtidas pela multiplicação dos teores desses nutrientes no tecido vegetal pelo rendimento de massa seca das plantas.

### **3.5.3 Parâmetros relacionados à cultura do arroz irrigado**

#### **3.5.3.1 Densidade inicial de plantas**

Nos dois anos, esse parâmetro foi obtido pela contagem do número de plantas de arroz no estágio V<sub>3</sub> (antes do início do perfilhamento), em duas amostras de um metro de linha em cada subparcela, totalizando uma área de 0,34 m<sup>2</sup>. Os locais foram delimitados por duas hastes de metal, para posterior contagem do número de panículas.

#### **3.5.3.2 Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas**

No primeiro ano, foram coletadas amostras nos estádios V<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> (antese) e R<sub>9</sub> (maturação de colheita). Já no segundo ano, foram coletadas amostras nos estádios V<sub>8</sub>, R<sub>4</sub> e R<sub>9</sub>. Em cada subparcela foram coletadas duas amostras de um metro de linha, totalizando uma área de 0,34 m<sup>2</sup>. As amostras foram secas em estufa a 60°C até atingir peso constante e os rendimentos de massa seca das amostras foram extrapolados para um hectare.

#### **3.5.3.3 Quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea**

As quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea das plantas foram obtidas pela multiplicação dos teores de N, P e K no tecido vegetal pelo rendimento de massa seca da parte aérea. As amostras coletadas para determinação do rendimento de massa seca, em seus respectivos estádios de desenvolvimento, foram moídas e os teores de N, P e K determinados pela metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

#### **3.5.3.4 Componentes do rendimento**

O número de panículas m<sup>-2</sup> foi obtido pela contagem, em cada subparcela, do número de panículas presente na amostra na área demarcada (0,34 m<sup>2</sup>), extrapolando-se o valor obtido para um metro quadrado.

O número de grãos por panícula foi calculado pela razão entre o número total de grãos formados (extrapolado por regra de três a partir do peso de 200 grãos) e o número de panículas colhidas na área da amostra contendo, no mínimo, 30 panículas.

O peso do grão foi obtido pela pesagem de amostra de 200 grãos, com correção da umidade para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , com divisão de peso final por 200.

#### **3.5.3.5 Esterilidade de espiguetas**

Foi obtida pela pesagem de grãos chochos, separados da amostra pelo equipamento soprador de grãos, sendo expressa em percentagem pela relação entre peso total da amostra (grãos formados e chochos) e pelo total de panícula em cada subparcela.

#### **3.5.3.6 Índice de colheita aparente**

Obtido pela razão entre a massa seca de grãos pela massa seca total da parte aérea das plantas (folhas, colmos e grãos) de duas amostras  $0,34 \text{ m}^2$  por subparcela. As amostras foram coletadas um dia antes da colheita dos grãos de arroz.

#### **3.5.3.7 Rendimento de grãos**

Foi obtido pela extrapolação da produtividade obtida na área útil de cada subparcela para um hectare, corrigindo-se a umidade para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ . Nos dois anos do experimento, a área útil colhida por subparcela foi de  $16,8 \text{ m}^2$ , composta por 11 linhas centrais, com 9 m de comprimento.

### **3.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo F-teste ( $p < 0,05$ ). Quando significativas as diferenças, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ),

utilizando-se o programa de processamento de dados SAS. Não se realizou a análise conjunta dos dados relativos aos dois anos de realização do experimento devido a algumas diferenças na condução do experimento, relacionadas à adubação de cobertura aplicada no azevém solteiro e na época de semeadura do arroz.

## **4 RESULTADOS**

Para melhor entendimento, a apresentação dos resultados será feita para cada ano agrícola e será dividida em cinco partes: inicialmente, serão descritos os dados meteorológicos relativos aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12; em seguida, os dados referentes à evolução dos atributos químicos do solo ao longo da realização do experimento; a seguir, serão descritos os parâmetros relacionados aos tipos de cobertura de solo no inverno; após serão descritos os parâmetros relacionados ao estabelecimento inicial e ao desenvolvimento da planta de arroz e, por fim, os relativos ao rendimento de grãos de arroz. O Apêndice contém o resumo da análise de variância dos dados relativos aos parâmetros avaliados.

### **4.1 Dados meteorológicos referentes aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12**

#### **4.1.1 Radiação solar global**

A normal climática da radiação solar global aumentou de  $13,3 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ , no primeiro decêndio de setembro, a  $22,0 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ , no primeiro decêndio de janeiro (Figura 1). No primeiro ano (2010/11), durante a maior parte do ciclo de desenvolvimento do arroz, a radiação solar foi superior à normal climática, com exceção de dois períodos, entre o final do segundo decêndio e o início do terceiro de novembro e do final do terceiro decêndio de janeiro ao início do terceiro decêndio de fevereiro. O primeiro ocorreu logo após a semeadura, compreendendo o período de emergência das plântulas de arroz, e o

segundo período antecedeu o início de antese ( $R_4$ ), compreendendo os estádios  $R_2$  e  $R_3$  de desenvolvimento, conforme escala de Counce *et al.* (2000). No segundo ano (2011/12), a radiação solar global também foi superior à normal climática durante a maior parte do ciclo do arroz, com exceção apenas no terceiro decêndio de dezembro, em que ela foi, aproximadamente, 10% menor que a normal climática. Esse período correspondeu a um importante estágio de desenvolvimento do arroz, estágio  $V_8$ , época em que se fez a segunda aplicação da adubação nitrogenada em cobertura. Nesse segundo ano, foram registrados picos de elevada radiação, em média de  $26,2 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ , a partir do terceiro decêndio de dezembro ao terceiro decêndio de fevereiro, correspondendo aos estádios  $V_8$  a  $R_6$ .

Nos dois anos, durante o período de enchimento de grãos (estádios  $R_4$  a  $R_9$ ), que ocorreu entre o segundo decêndio de fevereiro ao segundo decêndio de março, a radiação solar foi, em média, 20% superior em relação à normal climática.

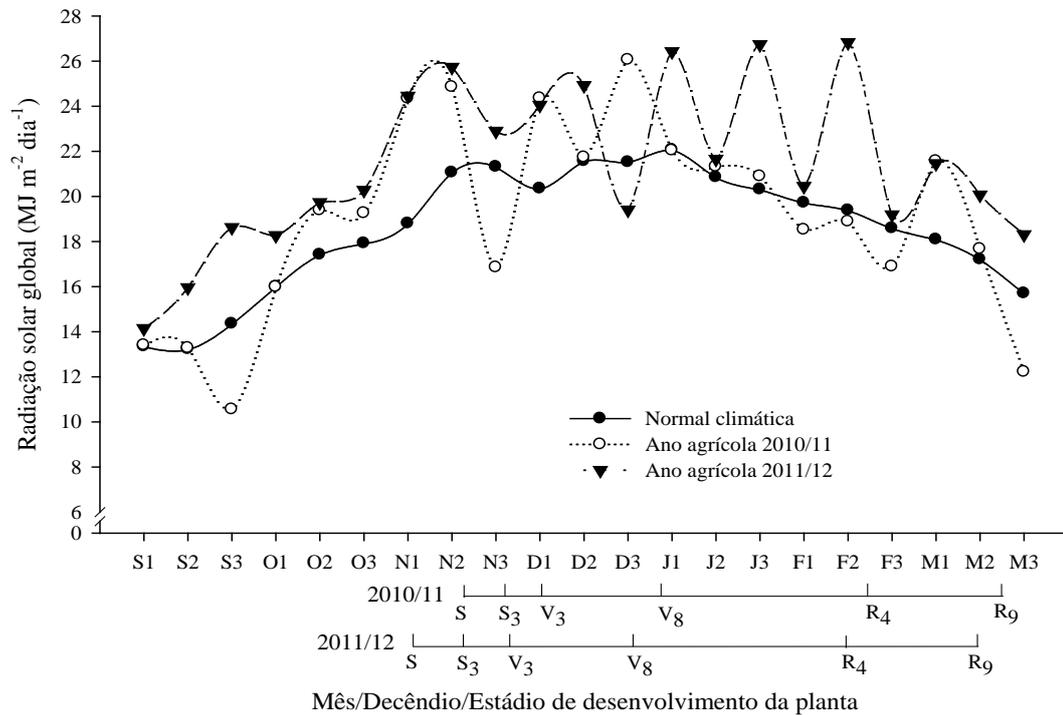


FIGURA 1. Radiação solar global por decêndio nos meses de setembro a março referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1975 a 2002. Cachoeirinha, RS. Fonte: Cargnelutti *et al.* (2004); INMET (2012).  
 Legenda: S=Semeadura; S<sub>3</sub>=Emergência do perfil do coleóptilo; V<sub>3</sub>=Colar formado na terceira folha do colmo principal; V<sub>8</sub>= Colar formado na oitava folha do colmo principal; R<sub>4</sub>=Antese; R<sub>9</sub>=Maturação de colheita, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000).

#### 4.1.2 Temperatura média do ar

A normal climática da temperatura média aumenta de, em torno de 16 °C no primeiro decêndio de setembro, a 24,8°C, no terceiro decêndio de janeiro (Figura 2). No primeiro ano (2010/11), durante a maior parte do ciclo de desenvolvimento do arroz, a temperatura média do ar foi superior à normal climática, principalmente, entre o segundo decêndio de dezembro e o primeiro decêndio de março, abrangendo desde o estágio V<sub>4</sub> até R<sub>7</sub> (final do enchimento de grãos). No segundo ano (2011/12), a temperatura média do ar também foi superior à normal climática durante a maior parte do ciclo de desenvolvimento da cultura, especialmente durante o período entre o segundo decêndio de janeiro e o segundo decêndio de março, correspondendo aos estádios R<sub>0</sub> (iniciação da panícula) a R<sub>9</sub> (maturação de colheita).

No primeiro e segundo anos, a temperatura média do ar foi, respectivamente, 0,3 e 3,8 °C superior à normal climática, principalmente durante a antese das plantas de arroz.

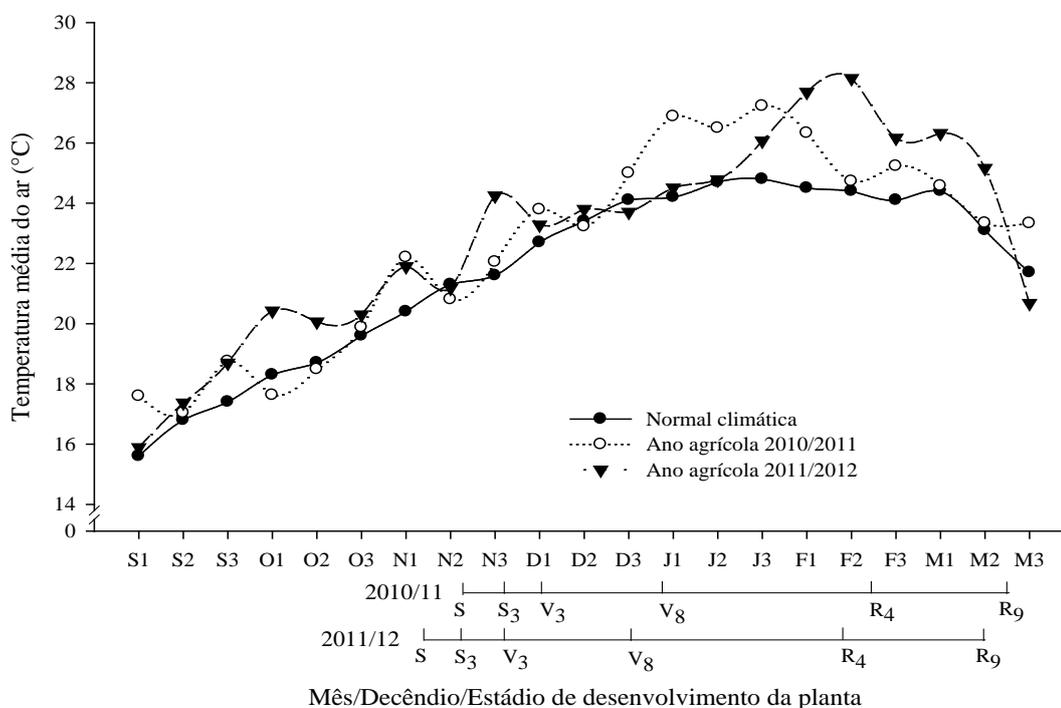


FIGURA 2. Temperatura média do ar por decêndio nos meses de setembro a março referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1960 a 1990. Cachoeirinha-RS. Fonte: INMET (2012).

Legenda: S=Semeadura; S<sub>3</sub>=Emergência do perfil do coleóptilo; V<sub>3</sub>=Colar formado na terceira folha do colmo principal; V<sub>8</sub>= Colar formado na oitava folha do colmo principal; R<sub>4</sub>=Antese; R<sub>9</sub>=Maturação de colheita, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000).

#### 4.1.3 Precipitação pluvial ocorrida entre o período anterior à semeadura ao estabelecimento das plantas de arroz

No primeiro ano (2010/11), a semeadura do arroz foi realizada em 12 de novembro de 2010. Após esta data, verificou-se maior precipitação pluvial em relação à normal climática (Figura 3). A quantidade de precipitação ocorrida durante o segundo e terceiro decêndios de novembro foi importante para a emergência e o estabelecimento inicial das plantas. Já no segundo ano (2011/12), a semeadura do arroz foi realizada nove dias mais cedo, em 03 de novembro de 2011. Neste período, observou-se uma condição diferente, em que a precipitação pluvial ocorrida foi menor em relação à normal climática, o que

permaneceu até o estágio V<sub>3</sub>, conferindo menor umidade ao solo e, assim, limitando o estabelecimento inicial de plantas.

Após o estágio V<sub>3</sub>, iniciou-se o processo de irrigação, mantendo-se uma lâmina de água constante, em torno de 5,0 cm, até o estágio R<sub>7</sub>, em que pelo menos um grão da panícula do colmo principal apresenta casca amarela.

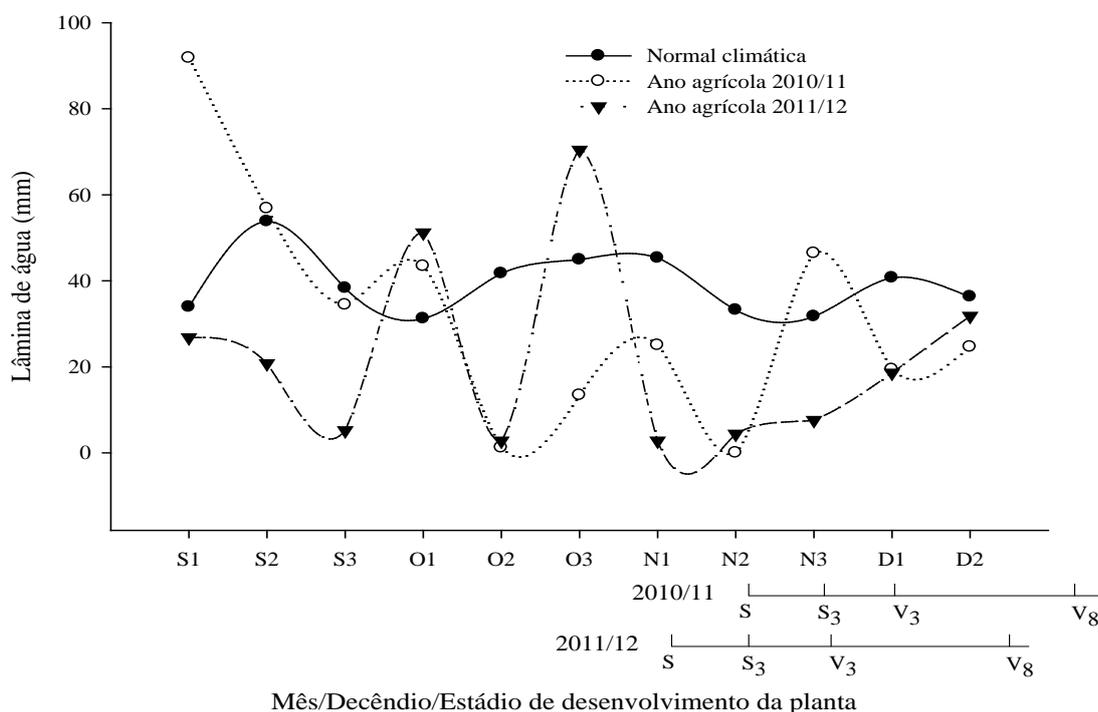


FIGURA 3. Precipitação pluvial ocorrida durante o período anterior à semeadura e durante o período de estabelecimento das plantas de arroz referente aos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12 e à normal climática do período de 1960 a 1990. Cachoeirinha-RS. Fonte: INMET (2012).

Legenda: S=Semeadura; S<sub>3</sub>=Emergência do perfil do coleótilo; V<sub>3</sub>=Colar formado na terceira folha do colmo principal; V<sub>8</sub>= Colar formado na oitava folha do colmo principal; R<sub>4</sub>=Antese; R<sub>9</sub>=Maturação de colheita, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000).

#### 4.2 Evolução dos atributos químicos do solo durante o período experimental

Esses atributos foram avaliados em quatro momentos distintos durante a condução do experimento e não foram influenciados pelos sistemas de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 1). Os valores médios observados para pH em

água, CTC efetiva, teor de matéria orgânica do solo, teor de P e de K foram, respectivamente, de 5,1; 7,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; 17,4  $\text{g kg}^{-1}$ ; 19,4  $\text{mg dm}^{-3}$  e 62,2  $\text{mg dm}^{-3}$ .

TABELA 1. Atributos químicos do solo em quatro datas de amostragens durante a condução do experimento. Cachoeirinha-RS

Atributos químicos do solo	Mês/Ano de realização da amostragem			
	Março/10	Abril/11	Outubro/11	Outubro/12
pH em água	5,2	5,1	4,8	5,3
CTC efetiva ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	8,0	7,6	7,2	7,3
Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	18,0	14,7	16,3	20,5
Teor de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	23,2	14,9	20,6	18,7
Teor de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	105,0	52,7	39,8	51,3

### 4.3 Parâmetros relacionados aos tipos de coberturas de solo no inverno

#### 4.3.1 Rendimento de massa seca, relação C/N, teores de carbono orgânico e de lignina e relação lignina/N de resíduos da parte aérea

Nos dois anos, o rendimento de massa seca da parte aérea das coberturas não variou em função dos tipos de cobertura de solo (Tabela 2). No entanto, os valores obtidos foram maiores no primeiro ano em relação ao segundo ano. No primeiro ano, o rendimento de massa seca variou de 3,71 a 4,63  $\text{Mg ha}^{-1}$  e, no segundo ano, de 2,33 a 3,10  $\text{Mg ha}^{-1}$  respectivamente nos cultivos solteiros de serradela e azevém. No consórcio serradela-azevém, os valores foram intermediários aos obtidos em seus respectivos cultivos solteiros.

Nos dois anos, a relação C/N, os teor de carbono orgânico e lignina e a relação lignina/N dos resíduos vegetais foram avaliados apenas nos cultivos solteiros de serradela e azevém. A relação C/N de resíduos de serradela foi, em média, 3,8 vezes menor que a de azevém e não variou entre anos (Tabela 2). Já, o teor de carbono orgânico nos resíduos não variou entre serradela e azevém e nem entre anos.

Nos dois anos, o teor de lignina de resíduos de serradela foi 3,0 vezes maior em relação ao de azevém e não variou entre anos. (Tabela 2). Por sua vez, a relação lignina/N

de resíduos de serradela foi, em média, 1,5 vezes menor que a de azevém e não variou entre anos.

TABELA 2. Rendimento de massa seca<sup>1</sup> da parte aérea, relação C/N, teores de C e lignina e relação lignina/N de resíduos da parte aérea dos tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Parâmetros avaliados nos resíduos	Tipos de cobertura de solo no inverno				CV <sup>2</sup> (%)
	Serradela (S)	Azevém (A)	Consórcio (S +A)	Pousio	
----- Ano agrícola 2010/11 -----					
Massa seca <sup>1</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )	3,71 ns	4,63	4,02	<sup>3</sup>	20,0
Relação C/N	12:1 b*	42:1 a	-	-	6,4
Teor de carbono (g kg <sup>-1</sup> )	403 ns	406	-	-	2,1
Teor de lignina (g kg <sup>-1</sup> )	107 a	36 b	-	-	2,4
Relação lignina/N	3:1 b	4:1 a	-	-	3,0
----- Ano agrícola 2011/12 -----					
Massa seca (Mg ha <sup>-1</sup> )	2,33 ns	3,10	2,69	<sup>3</sup>	14,4
Relação C/N	11:1 b	44:1 a	-	-	32,3
Teor de carbono (g kg <sup>-1</sup> )	433 ns	399	-	-	1,1
Teor de lignina (g kg <sup>-1</sup> )	115 a	38 b	-	-	0,9
Relação lignina/N	3:1 b	5:1 a	-	-	7,3

<sup>1</sup>Avaliado no momento da dessecação em plantas de azevém e serradela em plena floração e determinada em amostras de tecido vegetal correspondentes à parte aérea das plantas; <sup>2</sup>Coeficiente de variação; <sup>3</sup>Não determinado. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns - Não significativo ( $p < 0,05$ );

#### 4.3.2 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas de cobertura

No primeiro ano, apenas a quantidade acumulada de N na parte aérea das plantas variou em função dos tipos de cobertura de solo (Tabela 3). Houve maior acúmulo de N nos tratamentos com serradela solteira e consórcio serradela-azevém em relação ao azevém solteiro. Em cultivos solteiros, a serradela acumulou 3,5 vezes mais N na parte aérea em relação ao azevém, respectivamente 34,2 e 9,9 kg ha<sup>-1</sup>. No tratamento consorciado, predominou a serradela, com 87% do rendimento total de massa seca.

No segundo ano, as quantidades acumuladas de N e K na parte aérea variaram em função dos tipos de cobertura, enquanto ao de P não variou em função desse fator (Tabela 3). As quantidades acumuladas de N e K foram maiores nos tratamentos com serradela solteira e consórcio serradela-azevém em relação ao azevém solteiro. Em cultivos solteiros, a serradela acumulou 4,7 vezes mais N na parte aérea em relação ao azevém, respectivamente 42,1 e 9,0 kg ha<sup>-1</sup>. No tratamento consorciado, a serradela também predominou, contribuindo com 67% do rendimento total massa seca.

TABELA 3. Quantidades de nutrientes acumulada<sup>1</sup> nas parte aérea das plantas de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Nutrientes	Tipos de cobertura de solo no inverno				CV <sup>2</sup> (%)
	Serradela (S)	Azevém (A)	Consórcio (S +A)	Pousio	
----- Ano agrícola 2010/11(kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
N	127 a*	46 b	112 a	- <sup>3</sup>	11,0
P	14 ns	10	12	-	20,9
K	73 ns	81	84	-	37,5
----- Ano agrícola 2011/12 (kg ha <sup>-1</sup> )-----					
N	98 a	28 b	67 a	-	19,7
P	6 ns	5	6	-	12,7
K	38 a	17 b	30 a	-	12,8

<sup>1</sup>Avaliada no momento da dessecação em plantas de azevém e serradela em plena floração e determinada em amostras de tecido vegetal correspondentes à parte aérea das plantas; \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); <sup>2</sup>Coefficiente de variação; ns - Não significativo (p < 0,05). <sup>3</sup>Não determinado.

#### 4.4 Parâmetros relacionados ao estabelecimento inicial e ao desenvolvimento das plantas de arroz

##### 4.4.1 Densidade inicial de plantas

Para este parâmetro, nos dois anos, foi significativo apenas o efeito simples de tipos de cobertura de solo no inverno (Tabela 4). No primeiro ano, a densidade foi superior no tratamento pousio em relação aos demais tratamentos com cobertura de solo. Já, no segundo ano, observou-se resposta diferente, registrando-se maior densidade de plantas no

tratamento com consórcio serradela-azevém em relação ao azevém solteiro e pousio. As densidades obtidas no arroz em sucessão ao cultivo solteiro de serradela e ao consórcio serradela-azevém foram similares.

A densidade inicial média de plantas foi 35% maior no primeiro ano (257 plantas  $m^{-2}$ ) em relação ao segundo ano agrícola (168 plantas  $m^{-2}$ ).

TABELA 4. Densidade inicial de plantas de arroz, na média de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Ano agrícola	Tipos de cobertura de solo no inverno				CV <sup>2</sup> (%)
	Serradela (S)	Azevém (A)	Consórcio (S +A)	Pousio	
	----- Número de plantas $m^{-2}$ -----				
2010/11	225 b*	250 b	242 b	312 a	15,0
2011/12	167 ab	154 b	197 a	157 b	22,8

<sup>1</sup>Avaliação realizada com plantas no estágio V<sub>3</sub>, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

<sup>2</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.4.2 Rendimento de massa seca de parte aérea de plantas no estágio V<sub>3</sub>

Esse parâmetro foi avaliado só no primeiro ano, tendo sido significativo apenas o efeito simples de níveis de adubação aplicada na semeadura do arroz (Tabela 5). O rendimento de massa seca da parte aérea aumentou com o incremento do nível de adubação na semeadura do arroz. Em relação ao tratamento sem adubação, os rendimentos de massa seca aumentaram 11% e 47%, respectivamente com as aplicações de adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 5. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz no estágio V<sub>3</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>				CV <sup>3</sup> (%)
Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta		
----- kg ha <sup>-1</sup> -----				
75 b*	83 ab	110 a		33,9

<sup>1</sup>Plantas com três folhas expandidas de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.4.3 Quantidades de nutrientes acumuladas nas plantas no estágio V<sub>3</sub>

Esse parâmetro foi avaliado apenas no primeiro ano, sendo significativo apenas o efeito simples de níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 6). As quantidades acumuladas de N, P e K foram similares nos tratamentos sem adubação e com adubação na semeadura do arroz para expectativa de resposta Média. Essas quantidades aumentaram nos tratamentos com adubação para expectativa de resposta Muito Alta. Em relação à média dos tratamentos sem adubação e com adubação para expectativa de resposta Média, os valores aumentaram, em média, 50%, 50% e 41%, respectivamente para N, P e K.

TABELA 6. Quantidades de nutrientes acumulada na parte aérea de plantas de arroz no estágio V<sub>3</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Nutrientes	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>			CV <sup>3</sup> (%)
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	2,7 b*	3,3 b	4,5 a	33,7
P	0,2 b	0,2 b	0,3 a	42,5
K	2,1 b	2,0 b	2,9 a	37,9

<sup>1</sup>Plantas com três folhas expandidas de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.4.4 Rendimento de massa seca de parte aérea de plantas no estágio V<sub>8</sub>

Esse parâmetro foi avaliado apenas no segundo ano, tendo sido significativo apenas o efeito simples de níveis de adubação (semeadura mais primeira aplicação de N em cobertura) no arroz em sucessão aos tipos de cobertura de solo no inverno (Tabela 7). O rendimento de massa seca da parte aérea aumentou com o incremento do nível de adubação no arroz. Em relação aos tratamentos sem adubação, foram obtidos aumentos de 89% e 148% respectivamente nos tratamentos com a aplicação de adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 7. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>			CV <sup>3</sup> (%)
Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
877 c*	1.655 b	2.173 a	19,8

<sup>1</sup>Plantas com oito folhas expandidas de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.4.5 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas no estágio V<sub>8</sub>

Esse parâmetro também foi avaliado apenas no segundo ano. Para as quantidades acumuladas de N e P na parte aérea foi significativa a interação de tipos de cobertura de solo no inverno e níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 8).

A quantidade acumulada de N em sucessão ao pousio aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Média no arroz. Quando o arroz foi cultivado em sucessão aos demais tipos de cobertura, este parâmetro aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

A quantidade acumulada de N não diferiu entre tipos de cobertura nos tratamentos em que o arroz foi cultivado sem adubação ou com adubação para expectativa de resposta

Média (Tabela 8). Já, no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, houve maior acúmulo de N no arroz em sucessão ao azevém solteiro em relação aos demais tipos de cobertura de solo.

A quantidade acumulada de P em sucessão ao azevém solteiro aumentou com o incremento de adubação no arroz até à expectativa de resposta Muito Alta (Tabela 8). Já quando o arroz foi cultivado em sucessão aos demais tipos de cobertura, esse parâmetro aumentou até a expectativa de resposta Média.

Nos tratamentos em que o arroz foi cultivado sem adubação ou com adubação para expectativa de resposta Média, a quantidade acumulada de P também não diferiu entre tipos de cobertura (Tabela 8). Apenas no tratamento com adubação para expectativa de resposta Muito Alta, o arroz em sucessão ao azevém solteiro acumulou maior quantidade de P no tecido em relação aos demais tipos de cobertura.

TABELA 8. Quantidades acumulada de N e P nas plantas de arroz no estágio  $V_8$ <sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Tipos de cobertura de solo no inverno	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>		
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta
	----- N (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Serradela (S)	NS 18 b*	NS 24 b	B 43 a
Azevém (A)	10 c	37 b	A 68 a
Consórcio (S + A)	18 b	31 ab	B 45 a
Pousio	15 b	36 a	B 40 a
CV <sup>3</sup> (%)		32,1	
	----- P (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Serradela (S)	NS 3,4 b	NS 7,0 a	B 6,5 a
Azevém (A)	2,8 c	5,5 b	A 8,7 a
Consórcio (S + A)	3,0 b	6,0 a	B 6,3 a
Pousio	2,6 b	6,0 a	B 4,7 a
CV <sup>3</sup> (%)		23,1	

<sup>1</sup>Plantas com oito folhas expandidas de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); <sup>3</sup>Coefficiente de variação; NS – Não significativo ( $p < 0,05$ ).

A quantidade acumulada de K na parte aérea de arroz variou apenas em função de níveis de adubação no arroz em sucessão, tendo aumentado até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Média (Tabela 9). Em relação ao tratamento sem adubação, esse parâmetro aumentou 94% e 136%, respectivamente em relação aos tratamentos com adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 9. Quantidade acumulada de K nas plantas de arroz no estágio  $V_8$ <sup>1</sup>, em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS. 2011/12

Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>			CV <sup>3</sup> (%)
Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
19 b*	37 a	45 a	31,0

<sup>1</sup>Plantas com oito folhas expandidas de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.4.6 Rendimento de massa seca da parte aérea do arroz na antese (R<sub>4</sub>)

Nos dois anos, houve interação de tipos de cobertura de solo no inverno e níveis de adubação no arroz em sucessão para este parâmetro (Tabela 10). No primeiro ano, os rendimentos de massa seca da parte aérea de arroz cultivado em sucessão aos cultivos solteiros de serradela e azevém aumentaram com o incremento de adubação no arroz até a expectativa de resposta Muito Alta (Tabela 10). Já em sucessão ao consórcio serradela-azevém e ao pousio, esse parâmetro aumentou até à aplicação da adubação para expectativa de resposta Média.

Nos tratamentos sem adubação e com adubação para expectativa de resposta Média, não houve diferenças entre tipos de cobertura para esta característica (Tabela 10). Já no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, o arroz em sucessão à serradela

solteira produziu maior rendimento de massa seca em relação ao em sucessão ao pousio, mas não diferiu dos tratamentos com azevém solteiro e com consórcio serradela-azevém.

No segundo ano, o rendimento de massa seca de arroz cultivado em sucessão à serradela aumentou até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Média (Tabela 10). No entanto, no arroz em sucessão aos demais tipos de cobertura, esse parâmetro aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

Nos tratamentos sem adubação, o rendimento de massa seca foi maior no arroz cultivado em sucessão à serradela do que em sucessão ao azevém solteiro (Tabela 10). No nível de adubação para expectativa de resposta Média, o rendimento não variou em função do tipo de cobertura. Já, no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta o rendimento de massa seca foi maior no arroz em sucessão ao azevém solteiro do que o em sucessão à serradela.

TABELA 10. Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de arroz em R<sub>4</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Tipos de coberturas de solo no inverno	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>		
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta
----- Ano agrícola 2010/11 (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----			
Serradela (S)	NS 10,31 c*	NS 12,06 b	A 14,60 a
Azevém (A)	10,34 b	11,54 ab	AB 12,81 a
Consórcio (S + A)	9,74 b	11,69 a	AB 13,18 a
Pousio	11,08 b	12,87 a	B 11,85 ab
CV <sup>3</sup> (%)	9,1		
----- Ano agrícola 2011/12 (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----			
Serradela (S)	A 7,16 b	NS 10,51 a	B 12,21 a
Azevém (A)	B 5,25 c	10,00 b	A 14,71 a
Consórcio (S + A)	AB 6,62 c	10,15 b	AB 13,28 a
Pousio	AB 6,51 c	9,17 b	B 11,69 a
CV (%)	12,0		

<sup>1</sup>Avaliação realizada com plantas no início do florescimento – antese, de acordo com a escala proposta por Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coefficiente de variação. NS – Não significativo (p < 0,05).

#### 4.4.7 Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas na antese (R<sub>4</sub>)

No primeiro ano, as quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea de arroz variaram apenas em função de níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 11). Esses parâmetros aumentaram até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta. Em relação ao tratamento sem adubação, as quantidades acumuladas de N, P e K aumentaram, respectivamente, em 63, 27 e 51% com a aplicação de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

TABELA 11. Quantidades de nutrientes acumulada nas plantas de arroz em R<sub>4</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS. 2010/11

Nutrientes	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>			CV <sup>3</sup> (%)
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	104 c*	132 b	169 a	19,9
P	33 b	37 b	42 a	15,0
K	150 c	178 b	226 a	13,0

<sup>1</sup>Avaliação realizada com plantas no início do florescimento – antese, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coeficiente de variação.

No segundo ano, a quantidade acumulada de N variou apenas em função de níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 12). Em relação aos tratamentos sem adubação, este parâmetro aumentou em 28 e 82%, respectivamente com os níveis de adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 12. Quantidades acumuladas de N nas plantas de arroz em R<sub>4</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>			CV <sup>3</sup> (%)
Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
89 b*	114 ab	162 a	24,1

<sup>1</sup>Avaliação realizada com plantas no início do florescimento – antese, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>3</sup>Coefficiente de variação.

Já, para quantidades acumuladas de P e K nas plantas de arroz na antese no segundo ano, foi significativa a interação de tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 13). Em sucessão à serradela solteira, a quantidade acumulada de P na parte aérea aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Média. Já, quando o arroz foi cultivado em sucessão aos demais tipos de cobertura esse parâmetro aumentaram até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

Nos tratamentos sem adubação e com adubação para expectativa de resposta Média, a quantidade acumulada de P não diferiu em função de tipo de cobertura de solo (Tabela 13). Apenas no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta é que se observou efeito de tipos de cobertura, havendo maior acúmulo de P no arroz em sucessão a azevém solteiro em relação ao em sucessão à serradela e ao consórcio serradela-azevém.

Em sucessão à serradela, a quantidade acumulada de K na parte aérea de arroz aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Média (Tabela 13). Já, no arroz em sucessão aos demais tipos de cobertura, a quantidade acumulada de K aumentou até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

No tratamento sem adubação no arroz a quantidade acumulada de K na parte aérea do arroz não variou em função de tipos de cobertura de solo (Tabela 13). Enquanto no nível de adubação para expectativa de resposta Média este parâmetro foi maior no arroz em sucessão à serradela solteira em relação ao em sucessão ao pousio, no nível de adubação

para expectativa de resposta Muito Alta houve maior acúmulo de K no arroz em sucessão ao azevém solteiro em relação ao em sucessão à serradela solteira.

TABELA 13. Quantidades acumuladas de P e K nas plantas de arroz em R<sub>4</sub><sup>1</sup> em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Tipos de coberturas de solo no inverno	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>2</sup>		
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta
	----- P (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Serradela (S)	NS 25 b*	NS 32 a	B 34 a
Azevém (A)	20 c	32 b	A 47 a
Consórcio (S + A)	21 b	28 ab	AB 40 a
Pousio	22 b	26 b	B 38 a
CV <sup>3</sup> (%)	15,6		
	----- K (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Serradela (S)	NS 103 b	A 157 a	B 160 a
Azevém (A)	90 c	AB 127 b	A 202 a
Consórcio (S + A)	88 c	AB 119 b	AB 169 a
Pousio	102 b	B 107 b	AB 187 a
CV (%)	16,1		

<sup>1</sup>Avaliação realizada com plantas no início do florescimento – antese de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000). <sup>2</sup>Conforme SOSBAI (2012). <sup>3</sup>Coefficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); NS – Não significativo (p < 0,05).

## 4.5 Parâmetros relacionados ao rendimento de grãos de arroz

### 4.5.1 Componentes do rendimento

#### 4.5.1.1 Número de panículas por metro quadrado

Nos dois anos, foi significativo o efeito simples de nível de adubação no arroz para este componente do rendimento (Tabela 14). Enquanto no primeiro ano o número de panículas por metro quadrado aumentou até a aplicação do nível de adubação para expectativa de resposta Média, no segundo ano aumentou até a aplicação do nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta. Em relação ao tratamento sem adubação, essa característica aumentou 20% e 39% com a aplicação do nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, respectivamente no primeiro e segundo anos.

TABELA 14. Número de panículas por metro quadrado de plantas de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Ano agrícola	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>1</sup>			CV <sup>2</sup> (%)
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
	----- Panículas m <sup>-2</sup> -----			
2010/11	553 b*	657 a	662 a	13,5
2011/12	518 c	663 b	720 a	13,7

<sup>1</sup>Conforme SOSBAI (2012); <sup>2</sup>Coefficiente de variação; \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

No segundo ano também foi significativo o efeito simples de tipos de cobertura de solo (Tabela 15). O número de panículas por metro quadrado foi 16 e 12% maior no arroz em sucessão à serradela solteira, em relação, respectivamente, ao arroz em sucessão ao azevém solteiro e ao pousio. O número de panículas por metro quadrado foi similar no arroz em sucessão à serradela solteira e ao consórcio serradela-azevém.

Os valores médios observados para esta característica no primeiro e segundo anos foram similares, sendo de, respectivamente, 624 e 633 panículas m<sup>-2</sup>.

TABELA 15. Número de panículas por metro quadrado de plantas de arroz em sucessão a quatro tipos de cobertura do solo no inverno, na média de três níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Tipos de cobertura de solo no inverno				CV <sup>1</sup> (%)
Serradela (S)	Azevém (A)	Consórcio (S +A)	Pousio	
----- Panículas m <sup>-2</sup> -----				
685 a*	591 b	645 ab	612 b	13,7

<sup>1</sup>Coefficiente de variação; \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

#### 4.5.1.2 Número de grãos por panícula

Nos dois anos, esse componente do rendimento não foi influenciado por tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão (Apêndices 6 e 7). Na média dos tratamentos, o número de grãos por panícula foi 57% maior no primeiro ano (80) em relação ao segundo ano (51).

#### 4.5.1.3 Peso do grão

Assim como o número de grãos por panícula, o peso do grão não foi influenciado por tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão, nos dois anos (Apêndices 6 e 7). A variação entre anos nos valores foi baixa. Na média dos tratamentos, esse componente foi 9 % menor no primeiro ano (22,7) em relação ao segundo ano (25,0).

#### 4.5.1.4 Esterilidade de espiguetas

No primeiro ano, a esterilidade de espiguetas variou apenas em função de níveis de adubação no arroz (Tabela 16). Em relação ao tratamento sem adubação, houve redução de 25 e 42% na esterilidade de espiguetas, respectivamente com a aplicação dos níveis de adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 16. Esterilidade de espiguetas em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura do solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>1</sup>			
Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	CV <sup>2</sup> (%)
----- % -----			
2,4 a*	1,8 b	1,4 b	32,3

<sup>1</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>2</sup>Coefficiente de variação.

No segundo ano, esse parâmetro não foi influenciado por nenhum dos fatores (Apêndice 7). A esterilidade de espiguetas variou entre 2,0 e 4,7 %.

Os valores médios observados para esta característica no primeiro e segundo anos foram muito baixos, com valores de, respectivamente, 1,9 e 2,8%.

#### 4.5.2 Índice de colheita aparente (ICa)

Nos dois anos, foi significativo apenas o efeito simples de nível de adubação no arroz para este parâmetro (Tabela 17). Observou-se pequeno decréscimo do IC<sub>a</sub> com

aumento do nível de adubação no arroz, nos dois anos. Os valores obtidos foram muito similares, variando de 0,53 a 0,58.

TABELA 17. Índice de colheita aparente ( $IC_a$ ) de arroz em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS

Ano agrícola	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>1</sup>			CV <sup>2</sup> (%)
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
2010/11	0,56 a	0,55 ab	0,53 b	5,5
2011/12	0,58 a	0,56 ab	0,53 b	7,8

<sup>1</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>2</sup>Coefficiente de variação.

#### 4.5.3 Rendimento de grãos

No primeiro ano, este parâmetro variou apenas em função de nível de adubação no arroz em sucessão (Tabela 18). O rendimento de grãos aumentou com o incremento do nível de adubação no arroz. Em relação ao tratamento sem adubação, foram obtidos aumentos de 9 e 15% no rendimento de grãos, respectivamente com a aplicação de adubação para expectativas de resposta Média e Muito Alta.

TABELA 18. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, na média de quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Sem adubação	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>1</sup>		CV <sup>2</sup> (%)
	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta	
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----			
9,42 c*	10,29 b	10,88 a	5,2

<sup>1</sup>Conforme SOSBAI (2012). \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>2</sup>Coefficiente de variação.

No segundo ano, foi significativa a interação de tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão (Tabela 19). O rendimento de grãos de arroz em sucessão ao pousio aumentou até a aplicação de adubação para expectativa de resposta

Média. Já, quando o arroz foi cultivado em sucessão aos demais tipos de cobertura, houve resposta do rendimento de grãos até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta.

Nos tratamentos sem adubação e com adubação para expectativa de resposta Muito Alta não houve diferenças entre tipos de cobertura para essa característica (Tabela 19). Já, no nível de adubação para expectativa de resposta Média, obteve-se maior rendimento de grãos de arroz em sucessão ao pousio em relação ao cultivado em sucessão ao azevém solteiro e ao consórcio serradela-azevém.

Nos dois anos, o rendimento de grãos de arroz aumentou até a aplicação da adubação para expectativa de resposta Muito Alta. Na média dos tipos de cobertura de solo, esse parâmetro foi 16% maior no primeiro ano em relação ao segundo ano quando o arroz foi cultivado sem adubação. Já, com a aplicação de adubação para expectativa de resposta Média, não houve diferenças entre os dois anos de estudo. Por sua vez, com a aplicação de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, o rendimento de grãos foi 15% maior no segundo ano em relação ao primeiro ano.

TABELA 19. Rendimento de grãos em função de três níveis de adubação, em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Tipos de cobertura de solo no inverno	Níveis de adubação no arroz em sucessão <sup>1</sup>		
	Sem adubação	Para expectativa de resposta Média	Para expectativa de resposta Muito Alta
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		
Serradela (S)	NS 8,32 c*	AB 10,99 b	NS 12,71 a
Azevém (A)	7,64 c	B 9,65 b	12,60 a
Consórcio (S + A)	8,41 c	B 10,15 b	12,18 a
Pousio	8,16 b	A 11,58 a	12,43 a
CV <sup>2</sup> (%)	5,3		

<sup>1</sup>Conforme SOSBAI (2012). \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). <sup>2</sup>Coefficiente de variação. NS ou ns – Não significativo (p < 0,05).

## 5 DISCUSSÃO

Para facilitar a discussão dos resultados, serão abordados inicialmente aspectos relacionados às coberturas de solo no inverno e sua contribuição para adição de nutrientes para o arroz. Na sequência, serão discutidos os efeitos de resíduos culturais das coberturas de solo no estabelecimento inicial e no desenvolvimento de plantas de arroz e, por último, o desempenho agrônômico do arroz cultivado em sucessão a quatro tipos de cobertura de solo, sob três níveis de adubação.

De acordo com a primeira hipótese deste trabalho, a utilização de espécies vegetais de cobertura de solo no inverno contribui para adição de nutrientes para o arroz cultivado em sucessão, resultando em melhoria dos atributos químicos do solo.

Os rendimentos de massa seca da parte aérea das espécies de cobertura de solo variaram, no primeiro ano, de 3,71 a 4,63 Mg ha<sup>-1</sup> e, no segundo ano, de 2,10 a 3,10 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para serradela e azevém em cultivos solteiros (Tabela 2). Os rendimentos de massa seca obtidos, no primeiro ano são considerados altos, enquanto os do segundo ano são considerados médios, conforme classificação de Amado *et al.* (2002). A presença de cobertura de solo no inverno, com rendimentos de massa seca médio ou alto, pode contribuir para intensificar a ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os posteriormente ao arroz em sucessão. A redução do rendimento de massa seca verificada no segundo ano em relação ao primeiro se explica pela presença de alta quantidade de palha de arroz na superfície do solo, o que dificultou o estabelecimento das coberturas de

inverno em sucessão. Com isso, houve menor contato semente-solo, que é fundamental para sua emergência e rápido estabelecimento. Rendimentos similares de massa seca foram obtidos em experimentos anteriores realizados no mesmo local com serradela (Vieira *et al.* 2007) e azevém (Marchesi, 2011a; Correia *et al.*, 2013).

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram a possibilidade de um aporte total anual de até 15,70 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetal com os cultivos em sucessão de azevém solteiro e arroz (Tabelas 2 e 19). Essa quantidade de resíduos é superior à aportada apenas pelo cultivo de arroz em sucessão a pousio. Nesse sentido, em cultivos solteiros de serradela e azevém, o teor de carbono orgânico nos resíduos variou de 399 a 433 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 2). Assim, o uso de espécies de cobertura antecedendo o cultivo de arroz também pode contribuir para o balanço positivo de carbono (C), pelo aumento de seu estoque no solo. Estima-se que a adoção do sistema semeadura direta, com uso de sistemas de rotação e/ou sucessão, associado ao manejo de pastagens, possa adicionar ao solo quantidades que podem variar de 0,53 a 1,47 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Rice & Reed, 2007). Em terras altas, o aporte anual de resíduos em quantidade superior a 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> é importante para manter e/ou aumentar a matéria orgânica do solo, a médio e longo prazos (Bayer *et al.*, 2006).

Durante a condução do experimento não foi possível verificar efeito de tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz em sucessão no teor de matéria orgânica do solo (Tabela 1). Portanto, incrementos na matéria orgânica do solo somente são verificados com a consolidação do sistema de manejo conservacionista do solo, que ocorre entre 10 a 20 anos a partir do início de sua implantação (Anghinoni *et al.*, 2011). A matéria orgânica afeta a qualidade física, química e biológica do solo e, por esse motivo, tem sido utilizada como indicador da qualidade de sistemas de manejo de solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009). No entanto, pouco se conhece sobre o efeito de preparos de solo na dinâmica de matéria orgânica em solos com drenagem deficiente. Dessa forma,

Nascimento *et al.* (2009) avaliaram o efeito de 11 anos de cultivo de arroz em dois sistemas de manejo de solo (plantio direto e convencional) sobre o estoque de C orgânico e a taxa de decomposição da matéria orgânica. Eles verificaram que o estoque de C não variou entre sistemas de manejo do solo. Com relação à taxa de decomposição da matéria orgânica, não se verificou diferenças entre sistemas de manejo do solo, apresentando alta labilidade e baixa taxa de decomposição, comparado a um Argissolo aerado, sob as mesmas condições meteorológicas. Assim, a condição de alagamento do solo reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica e aumenta o estoque de C lábil, devido à reduzida atividade microbiana no solo pelo efeito da anaerobiose (Whitbread *et al.*, 2003). No entanto, no presente experimento esses possíveis efeitos do alagamento do solo sobre esses parâmetros não foram avaliados.

Outro fator que pode influenciar a adição de nutrientes é a qualidade de resíduos aportados pelas coberturas de solo no inverno. Nos dois anos, a relação C/N foi maior nos resíduos de azevém (entre 42 e 44:1), em relação aos de serradela (entre 12 e 11:1) (Tabela 2). Relações C/N superiores a 40 indicam maior potencial de imobilização de N durante o processo de decomposição de resíduos. Por outro lado, relações C/N inferiores a 15 sugerem potencial para rápida mineralização de N dos resíduos. Já, relações C/N que se aproximam de 25, são consideradas de equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização (Amado *et al.*, 2000). Assim, a alta relação C/N dos resíduos vegetais pode reduzir a cinética de decomposição e intensificar o processo de imobilização de nutrientes no período que antecede o cultivo de arroz (Aita & Giacomini, 2003). Esta situação pode ser crítica principalmente se coincidir com estádios fisiológicos de alto requerimento de nutrientes pela planta, com nos estádios iniciais de desenvolvimento. A falta de sincronia entre oferta e demanda de nutrientes está associada a menor velocidade de liberação de resíduos de espécies poáceas, como o azevém.

Além da relação C/N, o teor de lignina e a relação lignina/N de resíduos também podem afetar a taxa de decomposição e, com isso, a dinâmica de disponibilização de nutrientes, principalmente de N (Trinsoutrot *et al.*, 2000). Nos dois anos, os teores de lignina nos resíduos de serradela foram superiores (entre 107 e 115 g kg<sup>-1</sup>) em relação aos obtidos nos de azevém (entre 36 e 38 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2). O inverso ocorreu com a relação lignina/N que foi maior nos resíduos de azevém (4 e 5:1, respectivamente no primeiro e segundo anos) em relação à obtida nos resíduos de serradela (3:1, nos dois anos) (Tabela 2). Assim, os resultados obtidos evidenciam diferenças entre poáceas e leguminosas quanto à velocidade de decomposição de resíduos vegetais. Alguns autores sugerem que a velocidade de decomposição de resíduos culturais é inversamente proporcional ao teor de lignina (Trinsoutrot *et al.*, 2000; Ranells & Wagger, 1996). Outros autores evidenciaram que a velocidade de decomposição de resíduos culturais é inversamente proporcional às relações C/N e lignina/N total e diretamente proporcional ao teor de N total na fitomassa (Aita & Giacomini, 2003). Assim, a baixa relação C/N e o alto teor de lignina nos resíduos de serradela corroboram com os resultados obtidos na literatura.

Nos dois anos, a espécie leguminosa serradela apresentou alto potencial de adição e/ou ciclagem de nutrientes no solo (Tabela 3), principalmente de nitrogênio (N), por ser uma eficiente fixadora de N<sub>2</sub>. Em cultivo isolado, essa espécie acumulou 34 e 42 kg de N por tonelada de massa seca produzida, respectivamente no primeiro e segundo anos. Já, o azevém em cultivo solteiro acumulou apenas 10 e 9 kg de N por cada tonelada de massa seca produzida, respectivamente no primeiro e segundo anos. No consórcio serradela-azevém, predominou, nos dois anos, a serradela, que contribuiu com 87 e 67% do rendimento total de massa seca, respectivamente no primeiro e segundo anos, o que explica a similaridade observada no acúmulo de nutrientes entre o sistema consorciado e o cultivo solteiro de leguminosa. Assim, no cultivo consorciado dessas duas espécies o total de N

acumulado foi de 28 e 25 kg por tonelada de massa seca produzida, respectivamente no primeiro e segundo anos.

Em ambiente de solos mal drenados, a taxa de decomposição de resíduos vegetais é menor, o que pode afetar as taxas de liberação de N e P (Silva *et al.*, 2007) e dificultar o acompanhamento de processos de liberação desses nutrientes ao longo do ciclo de desenvolvimento do arroz em sucessão. Por outro lado, o K apresenta dinâmica diferenciado de N e P, pois não constitui compostos estruturais e tem grande mobilidade na planta (Taiz & Zaiger, 2009). Portanto, o K presente em resíduos vegetais é rapidamente liberado, retornando ao solo. Portanto, a baixa relação C/N verificada em resíduos de serradela favoreceu a decomposição, acelerando o processo de mineralização de nutrientes, como relatado por Aita & Giacomine (2003). Em estudo realizado por Marchesi (2011b) foi verificado que, cerca de 90% do teor remanescente de K na palha de azevém foi liberado até 56 dias após a disposição dos sacos de decomposição, independentemente do sistema de manejo da palha. Nesse trabalho, o resultado obtido foi relacionado à baixa relação C/N obtida nos resíduos de azevém, variando de 18 a 25:1, que foi bem inferior ao verificado no presente experimento. Os autores atribuíram esse fato à aplicação tardia da adubação nitrogenada em cobertura, realizada no estágio de florescimento.

O volume de precipitação pluvial e a qualidade de resíduos estão envolvidos na liberação de K e que, em razão da alta taxa de liberação dos resíduos culturais, parte desse nutriente poderá ser perdido no solo por lixiviação (Schomberg & Steiner, 1999). Assim, por ser o K facilmente removido de resíduos vegetais, o intervalo entre manejo químico das plantas de cobertura e semeadura do arroz em sucessão deve ser o menor possível, independentemente se a espécie é leguminosa ou poácea.

Dentre as estratégias para diminuir perdas de K no solo é fundamental que o cultivo em sucessão tenha alta capacidade de acumular esse nutriente. Isso foi verificado

principalmente no primeiro ano de cultivo de arroz, independentemente do tipo de cobertura de solo (Tabela 3). Já no segundo ano, além das quantidades acumuladas de K na massa seca produzida terem sido menores, o azevém em cultivo solteiro foi o sistema menos eficiente em acumular esse nutriente no tecido em relação aos demais. A quantidade acumulada de nutrientes está relacionada aos teores no tecido e à produção de massa seca por planta. Assim, o fato da quantidade acumulada de K ter sido menor no segundo ano pode estar relacionado ao menor rendimento de massa seca das coberturas. Portanto, considerando a elevada capacidade das espécies de cobertura de solo avaliadas em acumular K em seus resíduos (Tabela 3) e a alta quantidade acumulada nas plantas de arroz (Tabelas 6, 9, 11 e 13), a adoção de espécies de cobertura de solo em sucessão com arroz pode favorecer a ciclagem e reduzir perdas desse nutriente.

Ao se analisar o efeito da adição de nutrientes pelas coberturas de solo para o desenvolvimento das plantas de arroz em sucessão, nos dois anos de realização do experimento, verifica-se que nos tratamentos em que foram obtidos os maiores rendimentos de massa seca da parte aérea de plantas de arroz nos estádios V<sub>3</sub>, V<sub>8</sub> e R<sub>4</sub> (Tabelas 5, 7 e 10), também foram os que mais acumularam N, P e K nas plantas de arroz (Tabelas 6, 8, 9, 11, 12 e 13). Portanto, assim como nas coberturas de inverno, a quantidade acumulada de nutrientes nas plantas de arroz está relacionada aos seus teores no tecido e ao rendimento de massa seca.

As quantidades acumuladas de N, P e K em plantas de arroz no estágio V<sub>3</sub>, avaliada apenas no primeiro ano, aumentaram à medida que aumentou o nível de adubação aplicado no arroz (Tabela 6). Esse resultado evidencia o efeito da adubação realizada apenas na semeadura do arroz, uma vez que ainda não havia sido aplicada a primeira parcela da adubação nitrogenada em cobertura. Isso indica a necessidade de suprimento de nutrientes às plantas de arroz já nesse estágio inicial de desenvolvimento.

Na avaliação no estágio V<sub>8</sub>, realizada apenas no segundo ano observou-se tendência de aumento das quantidades acumuladas de N, P e K com o incremento do nível de adubação (na semeadura e a primeira adubação nitrogenada em cobertura) no arroz (Tabelas 8 e 9). Apenas no tratamento com aplicação de adubação no arroz para expectativa de resposta Muito Alta é que se observou efeito de tipos de cobertura de solo no inverno nas quantidades acumuladas de N e P no estágio V<sub>8</sub>. O arroz cultivado em sucessão a azevém solteiro acumulou maiores quantidades de N e P por hectare em relação aos demais tipos de cobertura de solo. Esse efeito pode estar associado ao maior intervalo entre o manejo químico do azevém e a semeadura do arroz, ocorrendo menor imobilização desses nutrientes no solo, e ao possível efeito residual da adubação do ano anterior.

Na avaliação realizada em plantas de arroz no estágio R<sub>4</sub> (antese) observou-se, nos dois anos, a mesma tendência de aumento das quantidades acumuladas de N, P e K com o incremento do nível de adubação no arroz (Tabelas 11, 12 e 13). No primeiro ano, as quantidades acumuladas desses nutrientes aumentaram até o nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta (Tabela 11). Já, no segundo ano, foi observada a interação de tipos de cobertura e níveis de adubação no arroz para as quantidades acumuladas de P e K (Tabela 13). Com adubação para expectativa de resposta Muito Alta, o arroz em sucessão a azevém solteiro acumulou maior quantidade de P no tecido em relação ao cultivado em sucessão a serradela em cultivo solteiro e ao pousio. No nível de adubação para expectativa de resposta Média, o teor de K foi maior no arroz em sucessão à serradela solteira em relação ao pousio. Já, no nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, esse parâmetro foi maior no arroz cultivado em sucessão ao azevém solteiro em relação à serradela. Nesse contexto, o incremento do nível de adubação, nos dois anos, disponibilizou maior quantidade de nutrientes (N, P e K) para as plantas de arroz.

Observou-se maior acúmulo de nutrientes na parte aérea do arroz no primeiro ano em relação ao segundo, principalmente, no tratamento sem adubação (Tabelas 10). Isso pode ser um indicativo da menor disponibilidade de nutrientes no solo no segundo ano, uma vez que o cultivo contínuo de arroz na mesma área, sem a devida reposição de nutrientes pela adubação, pode reduzir a fertilidade do solo.

Diante dos aspectos expostos, foi possível confirmar totalmente a hipótese de que a utilização de espécies vegetais de cobertura de solo no inverno contribui para adição de nutrientes para o arroz em sucessão. O uso de espécies de cobertura de solo no período de inverno pode intensificar a ciclagem de nutrientes, reduzindo perdas para o ambiente. Assim, entre as espécies de cobertura, a serradela foi mais eficiente em acumular nutrientes, principalmente N, tanto em cultivo solteiro como em consórcio com azevém, em relação ao azevém solteiro. Embora todo o potencial das espécies de cobertura de solo apresentado, não foi possível evidenciar, pelo menos durante o período de execução do experimento, sua contribuição para melhorias nos atributos químicos do solo. Uma das explicações pode ser devido ao fato de que a dinâmica de nutrientes em solo mal drenado é extremamente complexa e se modifica ao longo do tempo, alterando o funcionamento do sistema solo-planta. Assim, experimentos com maior duração poderiam evidenciar, com maior consistência, o processo de melhoria dos atributos químicos do solo em sistemas de sucessão ao arroz irrigado.

A segunda hipótese da pesquisa foi a de que a presença de resíduos culturais de espécies de cobertura de solo no inverno interfere no estabelecimento inicial e/ou no desenvolvimento de plantas de arroz em sucessão.

Os rendimentos de massa seca da parte aérea das espécies de cobertura de solo obtidos nos dois anos do experimento variaram de médio a alto (Tabela 2), conforme já discutido anteriormente. Embora o uso de plantas de cobertura de solo apresente inúmeros

benefícios, como o aporte de carbono ao solo e ciclagem de nutrientes, a presença de alta quantidade de resíduos antecedendo a semeadura do arroz pode limitar a operação de semeadura, com prejuízos ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas de arroz em sucessão. Para a realização do preparo antecipado da área, a quantidade de resíduo aportado pela palhada do arroz, a qualidade e a época de dessecação das coberturas de solo são fatores importantes para viabilizar a semeadura do arroz na época recomendada (01 de setembro a 10 de novembro) (SOSBAI, 2012). Outro aspecto importante é o possível efeito dos resíduos no teor de umidade do solo no momento da semeadura.

No presente estudo, a densidade inicial de plantas de arroz variou em função de tipos de cobertura de solo no inverno, sendo maior quando o arroz foi semeado em sucessão ao pousio, no primeiro ano, e em sucessão ao consórcio serradela-azevém, no segundo ano (Tabela 4). No primeiro ano, após a semeadura do arroz verificou-se elevada precipitação pluvial (Figura 3). Nesta situação, a presença de alta quantidade de palha na superfície do solo constituiu-se em impedimento físico à perda de umidade do solo, diminuindo a emergência de plântulas. Em estudo realizado no mesmo local e ano, foram obtidos resultados semelhantes, ou seja, a densidade inicial de plantas de arroz foi superior quando cultivado após pousio em relação a três tipos de manejo da palha de azevém, dessecada aos 21 dias antes da semeadura do arroz (Marchesi *et al.*, 2011a). Nesse sentido, algumas estratégias podem ser usadas para minimizar as limitações do uso de coberturas de solo, como, por exemplo, a dessecação antecipada de espécies de cobertura e a adequada drenagem da área, procedimentos que foram realizados no presente experimento.

Por outro lado, no segundo ano, houve menor precipitação pluvial durante o subperíodo semeadura-emergência em relação ao primeiro ano (Figura 3), resultando em menor acúmulo de umidade no solo, o que diminuiu a emergência do arroz em sucessão ao pousio em relação aos demais tipos de cobertura de solo (Tabela 4). Nessa condição, a

presença de palha na superfície do solo foi benéfica, pois impediu o impacto direto da água da precipitação pluvial no solo, evitando a formação de selamento superficial, conforme verificado por Barcelos *et al.*, (1999), e manteve a umidade de solo por mais tempo. No arroz em sucessão ao azevém, esse efeito benéfico foi menor, principalmente, devido ao maior intervalo (52 dias) entre sua dessecação e a semeadura do arroz em relação ao consórcio (23 dias), conferindo menor proteção ao solo à perda de umidade.

Em estudo realizado com azevém por dois anos no mesmo local, Correia *et al.* (2013) obtiveram rendimentos de massa seca de azevém entre 3,7 a 7,2 Mg ha<sup>-1</sup>, de acordo com a época de dessecação, que variou de 90 a 06 dias antes da semeadura do arroz. O estabelecimento inicial de plantas de arroz não foi influenciado pela quantidade de massa seca produzida e pela época de dessecação do azevém. Resultados diferentes foram obtidos por Menezes *et al.* (2001), os quais observaram menor densidade de plantas de arroz em sucessão ao azevém, quando esse foi comparado a outras espécies de cobertura de solo (aveia preta, aveia branca e serradela), à vegetação espontânea e à testemunha pousio (solo desnudo), dessecadas 15 dias antes da semeadura do arroz. A redução da densidade de plantas de arroz em sucessão ao azevém foi atribuída a possíveis efeitos alelopáticos dos resíduos sobre a germinação e a emergência de arroz em sucessão.

Apesar de ser observada menor densidade inicial de plantas de arroz no segundo ano em relação ao primeiro ano do experimento (Tabela 4), os valores obtidos situam-se dentro da faixa recomendada para obtenção de alto rendimento de grãos, que é de 150 e 300 plantas por metro quadrado (SOSBAI, 2012). Conforme já discutido, a menor densidade inicial de plantas obtida no segundo ano pode estar associada à ocorrência de menor precipitação pluvial após a semeadura do arroz e não às variações no rendimento de massa seca das espécies de coberturas de solo no inverno. Isso pode ser verificado pelo fato de que o menor rendimento de massa seca das coberturas no segundo ano não ter se

refletido em maior densidade inicial de plantas em relação ao primeiro ano. Trabalhos anteriores realizados no mesmo local com azevém (Vieira, 2011; Correia *et al.*, 2013) e com cornichão, serradela e azevém (Jandrey, 2009) também não evidenciaram diferenças no estabelecimento inicial de plantas em relação à quantidade de massa seca produzida pelas coberturas de solo.

Os rendimentos de massa seca da parte aérea do arroz obtidos nos estádios  $V_3$  e  $V_8$  não foram influenciados pelos tipos de cobertura de solo, sendo apenas pelos níveis de adubação na semeadura do arroz ( $V_3$ ) e mais a primeira aplicação de N em cobertura ( $V_8$ ), conforme já discutido (Tabela 5). Já o rendimento de massa seca na antese ( $R_4$ ) variou em função de tipos de cobertura de solo, nos dois anos (Tabela 10). No primeiro ano, os maiores rendimentos de massa seca foram obtidos quando o arroz foi cultivado em sucessão à serradela em relação à sucessão ao pousio. Já, no segundo ano, o maior rendimento de massa seca foi obtido quando o arroz foi cultivado em sucessão ao azevém em relação ao pousio e à serradela.

Na comparação entre anos, observou-se que os rendimentos de massa seca da parte aérea do arroz em  $R_4$  foram menores no segundo ano em relação ao primeiro ano, principalmente, nos tratamentos sem adubação e com adubação para expectativa de resposta Média no arroz. No arroz cultivado sem adubação pelo segundo ano consecutivo na mesma área, o rendimento de massa seca em  $R_4$  foi maior em sucessão à serradela em relação ao azevém, porém ambos menores que no primeiro ano (Tabela 10). Sob condições de inadequada adubação no arroz, há, portanto, evidência de efeito benéfico da leguminosa serradela em aportar mais nutrientes ao arroz em sucessão em relação ao azevém. Dessa forma, quando houve cultivo de arroz por dois anos sucessivos, sem a devida reposição pela adubação no arroz em sucessão, pode ter reduzido a disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas.

Diante dos aspectos discutidos, a hipótese de que a presença de resíduos culturais de espécies de cobertura de solo no inverno interfere no estabelecimento inicial e/ou no desenvolvimento das plantas de arroz em sucessão, pode ser confirmada. Desta forma, nos dois anos do experimento, sob condições distintas de precipitação pluvial (Figura 3), foram verificados diferentes efeitos de espécies de cobertura de solo no estabelecimento inicial de plantas de arroz. Assim, o alto aporte de resíduos vegetais pelas coberturas de solo, associado à ocorrência de alta precipitação pluvial no subperíodo semeadura-emergência no primeiro ano, diminuiu a emergência de plantas de arroz em relação ao tratamento em sucessão ao pousio. Inversamente, sob condições de menor precipitação pluvial nesse subperíodo, que ocorreu no segundo ano, a presença de resíduos vegetais na superfície do solo pode manter a umidade do solo por mais tempo, aumentando a emergência de plantas relação ao tratamento em sucessão ao pousio.

A terceira hipótese do trabalho foi a de que há melhoria no desempenho agrônômico do arroz em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em relação a área em que permanece em pousio, especialmente sob condições mais limitadas de adubação no arroz.

O rendimento de grãos de arroz variou de 9,42 a 10,88 Mg ha<sup>-1</sup>, no primeiro ano, e de 7,64 a 12,71 Mg ha<sup>-1</sup>, no segundo ano (Tabelas 18 e 19). No primeiro ano, o rendimento de grãos variou apenas em função de níveis de adubação no arroz em sucessão. O fato desse parâmetro não ter sido influenciado pelos tipos de cobertura de solo nesse ano pode estar relacionado ao histórico da área experimental. No verão anterior à implantação do experimento, a área foi preparada para cultivo de soja, contudo, devido a problemas de estabelecimento de plantas, não se realizou a colheita. Além disso, durante o inverno essa área foi cultivada com o consórcio das espécies serradela e azevém. Assim, esses dois aspectos podem ter aumentado a disponibilidade de nutrientes no solo, não sendo possível

verificar efeitos de tipos de cobertura de solo no inverno no rendimento de grãos, mesmo nos tratamentos sem adubação ou com adubação para expectativa de resposta Média.

No primeiro ano, o rendimento de grãos aumentou até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, sendo o máximo valor obtido de 10,88 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 18). Já, o número de panículas por metro quadrado aumentou somente até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Média (Tabela 14). Os outros dois componentes do rendimento (número de grãos por panícula e peso do grão) não foram influenciados por tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz. Assim, a limitação do rendimento de grãos em 10,88 Mg ha<sup>-1</sup>, mesmo com a aplicação do nível de adubação para expectativa de resposta Muito Alta, pode ser devida ao fato de ter havido menor radiação solar no período reprodutivo (Figura 1), em função da realização da semeadura (13 de novembro) próximo no final da época recomendada.

Já, no segundo ano, houve interação de tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz para rendimento de grãos (Tabela 19). O número de panículas por metro quadrado foi o componente mais associado ao rendimento de grãos (Tabelas 14 e 15). Assim, com a aplicação de níveis de adubação o rendimento de grãos e o número de panículas aumentaram até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Muito Alta (Tabelas 14 e 19). Essa maior resposta desses dois parâmetros no segundo ano foi devido à maior disponibilidade de nutrientes no solo com incremento da adubação e/ou ao efeito da adubação residual, além de condições meteorológicas mais favoráveis à absorção de nutrientes, principalmente a maior radiação solar incidente durante o ciclo de desenvolvimento do arroz (Figura 1).

De forma similar ao que ocorreu no primeiro ano, os outros dois componentes do rendimento (número de grãos por panícula e peso do grão) não foram influenciados pelos tipos de cobertura de solo e níveis de adubação no arroz. Em sucessão às espécies de

cobertura de solo, o rendimento de grãos aumentou com o incremento de níveis de adubação. Já em sucessão ao pousio, esse parâmetro aumentou até a aplicação de adubação para expectativa de resposta Média.

Na média de tipos de cobertura, o rendimento de grãos foi menor no primeiro ano em relação ao segundo, com exceção do nível sem adubação (Tabelas 18 e 19), embora o número de grãos por panícula tenha sido maior no primeiro ano (80) em relação ao do segundo ano (51). Este menor número de grãos por panícula no segundo ano não se deveu à maior esterilidade de espiguetas, uma vez que esta característica foi baixa nos dois anos (Tabela 16).

Embora no segundo ano as condições de radiação solar tenham sido mais favoráveis (Figura 1), observou-se que, na média de tipos de coberturas de solo, nos tratamentos sem adubação, houve redução de  $1,29 \text{ Mg ha}^{-1}$  no rendimento de grãos em relação ao primeiro ano (Tabelas 18 e 19). Esse decréscimo acentuado do rendimento demonstra que o cultivo contínuo de arroz, sem adubação, reduz o potencial de rendimento de grãos.

Com o nível de adubação para expectativa de resposta Média, no segundo ano, o rendimento de grãos foi maior em sucessão ao pousio em relação ao arroz cultivado em sucessão ao azevém solteiro e ao consórcio serradela-azevém (Tabela 19). No entanto, os rendimentos de grãos de arroz obtidos nos dois anos foram similares, na média dos tipos de cobertura de solo (Tabelas 18 e 19). Isso demonstra que, pelo menos durante o período de duração do estudo, essa adubação foi suficiente para manter esse parâmetro, na média dos tipos de cobertura. No entanto, para confirmar estes resultados seria fundamental a realização de experimentos de maior duração que poderiam confirmar ou não a manutenção e/ ou aumento do rendimento de grãos. Com efeito, os dados relativos ao terceiro ano de execução do experimento já estão em fase de processamento.

No arroz com adubação para expectativa de resposta Muito Alta, na média de tipos de cobertura de solo, o rendimento de grãos foi 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> superior no segundo ano em relação ao primeiro (Tabelas 18 e 19). Isto pode estar associado à maior disponibilidade de nutrientes pelo efeito residual desse nível de adubação do ano anterior e, também, às condições meteorológicas mais favoráveis nesse ano, principalmente em relação à maior radiação solar incidente durante a maior parte do ciclo da cultura (Figura 1). Maiores disponibilidades de nutrientes e de radiação solar são fatores determinantes para aumentar a assimilação de N, em função da grande dependência de fotoassimilados para fornecer energia e de compostos para incorporação desse nutriente em tecidos de plantas (Bredemeier & Mundstock, 2000).

Nesse contexto, considerando os aspectos discutidos, a hipótese de que há aumento de rendimento de grãos do arroz em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em relação a áreas em que permanece em pousio, especialmente sob condições de adubação inadequada no arroz, não foi confirmada. Nas condições de realização do experimento, o cultivo de espécies de cobertura de solo no inverno não se refletiu em incremento no rendimento de grãos de arroz, independentemente do nível de adubação aplicado no arroz em sucessão.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos em dois anos consecutivos e considerando as condições locais em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que:

1. O uso de espécies de cobertura de solo no período de inverno intensifica a adição de nutrientes para o arroz cultivado em sucessão.
2. Entre as espécies de cobertura avaliadas, a serradela apresenta maior aporte de nutrientes ao sistema solo-planta, principalmente de N, tanto em cultivo solteiro como em consórcio com azevém, em relação ao azevém solteiro.
3. A presença de resíduos vegetais na superfície do solo, com rendimentos considerados médios ou altos, pode ser benéfica ou prejudicial à emergência de plantas de arroz em relação à sucessão ao pousio, dependendo principalmente do regime de precipitação pluvial vigente durante o subperíodo semeadura-emergência do arroz.
4. Embora ocorra significativo acúmulo de nutrientes nas espécies de coberturas de solo no inverno, não há evidências de que sua utilização resulte em maior rendimento de grãos de arroz em sucessão, independentemente do nível de adubação do arroz.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINETO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.
- AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de N de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo e consorciados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.
- ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 18, n. 1, p. 219-258, 1966.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto In: NOVAIS, R. F. (Ed.) et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 874-919.
- ANGHINONI, I. Recentes avanços e desafios na adubação para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2009.
- ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, 2011.
- 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. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FONSECA, J. R. Importância d adubação na qualidade do arroz. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. cap. 13, p. 217-231.

BARCELOS, A. A. et al. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344 p.

BLAIR, G. J. et al. Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate. In: CADISCH G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Drive by nature-plant litter quality and decomposition**. London: CAB International, 1997. p. 273-281.

BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.

BOENI, M. et al. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha, RS: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2010. 38 p.

BOHNEN, H. et al. 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.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. (Ed.) et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARGNELUTTI, A. et al. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1157-1166, 2004.

CERETTA, C. A. et al. **Adubação em sistemas de culturas no plantio direto**. Manejo e fertilidade de solos em plantio direto. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, p. 117-134, 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Pesquisa, acompanhamento e avaliação de safras**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1028&t=1>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

CORREIA, S. L. et al. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 512-520, 2013.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive 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.

DECKER, A. M. et al. **Fall-seeded legume nitrogen contributions to no-till corn production**. In: POWER, J. F. (Ed.). The role of legumes in conservation tillage systems. Ankeny: Soil Conservation Society of America, Athens. p. 21-22, 1987.

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

DIAS, A. D. et al. Desempenho do arroz irrigado em plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Irga, 1995. p. 146-149.

FLECK, G. N. et al. Velocidade de estabelecimento em cultivares de arroz irrigado como característica para aumentar a habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 635-640, 2003.

FREITAS, T. F. S. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2397-2405, 2008.

GENRO JUNIOR, S. A. et al. Resposta do arroz irrigado a adubação potássica em função da capacidade de troca de cátions do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

HENRICHES, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 331-340, 2001.

HOFES, A. et al. Efeito da qualidade fisiológica das sementes e da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos e qualidade industrial em arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 54-62, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/>>

rede/pesquisa/>. Acesso em: 20 nov. 2012.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Contém informações institucionais, técnicas, notícias e publicações.** Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

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

KOUTROUBAS, S. D.; NTANOS, D. A. Genotype differences for grain yield and nitrogen utilization in indica and japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam v. 83, n. 3, p. 251–260, 2003.

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

LARA, W. C. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

MACEDO, V. et al. Potencial da serradela nativa em disponibilizar nitrogênio para o arroz irrigado em sucessão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 1, p.604-606.

MARCHESI, D. R. et al. Estabelecimento e desenvolvimento inicial de plantas e produtividade de grãos de arroz irrigado em sucessão ao azevém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., Camboriú, 2011. **Anais...** Camboriú: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, v. 2. p. 219-222. 2011a.

MARCHESI, D. R. **Manejo da palha de azevém para cultivo de arroz irrigado em sucessão.** 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado – Plantas de Lavoura) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011b.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macro-nutrients. In: **Mineral nutrition of higher plants.** 2<sup>nd</sup> edition. San Diego: Academic, 1995. p. 229-312.

MASSONI, P. F. S. et al. Nutrientes do solo influenciados por diferentes manejos da palha após a colheita do arroz irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 205-2014, 2013.

MENEZES, V. G. et al. **Projeto 10 - Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS:** Avanços e novos desafios. Cachoeirinha, IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2012. 104 p.

MENEZES, V. G. et al. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 1107-1115, 2001.

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.

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. p. 165-178, 2005.

NASCIMENTO, P. C. 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. 3, p. 1821-1827, 2009.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D. L. (Ed.). et al. **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Part 3. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p. 961-1010.

OLK, D. C. et al. Inhibition of nitrogen mineralization in young humic fractions by anaerobic decomposition of rice crop residues. **European Journal of Soil Science**, Filipinas, v. 1, n. 58, p. 270-281, 2007.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Agiplan, 1977. 289 p.

PRATES, E. R. **Técnicas de Pesquisa em Nutrição Animal**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 414 p.

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, Madson, v. 88, n. 5 p. 777-782, 1996.

REINERTSEN, S. A. et al. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology Biochemistry**, Mcdonald Islands, v. 16, n. 5, p. 459-464, 1984.

RHEINHEIMER, D. S. et al. 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.

RICE, C.; REED, D. **Soil carbon sequestration and greenhouse gas mitigation: a role for american agriculture**. Kansas: Kansas State University, 2007. 35 p.

SALTON, J. C. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo**. 1991. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

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.

SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 3, p. 607-613, 1999.

SILVA, A. G. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2092-2098, 2010.

SILVA, A. G. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2092-2098, 2010.

SILVA, L. S. et al. Reposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **Revista Brasileira Agrociências**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 189-194, 2007.

SILVA, P. R. F. 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.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012. 179 p.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TISDALL, J. M. et al. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. **Structure and organic matter stability storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 57-96.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 918-926, 2000.

VERNETTI JUNIOR, F. J. et al. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, 2009.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, V. M. et al. Potencial da serradela nativa em disponibilizar nitrogênio para o arroz irrigado em sucessão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., Pelotas, 2007. **Anais...** Pelotas: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2007. v. 1, p. 604-606.

VIEIRA, V. M. et al. Manejo da adubação nitrogenada no arroz irrigado em sucessão ao azevém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., Camboriú, 2011. **Anais...** Camboriú: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2011. v. 2. p. 235-238.

WASSMAN, R. Methane emissions from rainfed rice In: NEUE, H. U. (Ed.). et al. **Fragile lives in fragile ecosystems**. Philippines: International Rice Research Institute, 1995. p. 217-225.

WHITBREAD, A. et al. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 100, n. 2-3, p. 251-263, 2003.

ZOTARELLI, L. **Balço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR**. 2000. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

## **8 APÊNDICES**

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas nos sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2010

Parâmetros	Causas da variação		CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	
	----- Grau de liberdade -----		
	3	2	
----- Quadrados médios -----			
Rendimento de massa seca	0.60679944ns	0.86449033ns	20,0
Quantidade acumulada de N na parte aérea	374.85354ns	7320.54844**	11,0
Quantidade acumulada de P na parte aérea	20.35667728ns	16.13749976ns	21,0
Quantidade acumulada de K na parte aérea	231.9099723ns	85.3344260ns	35,7

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo.\*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas nas espécies serradela e azevém, em cultivo solteiro. Cachoeirinha-RS, 2010

Parâmetros	Causas da variação		CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	
	----- Grau de liberdade -----		
	3	1	
----- Quadrados médios -----			
Relação C/N dos resíduos	9.048321ns	1760.269764**	6,4
Teor de carbono	67.2500000ns	21.7800000ns	2,1
Teor de lignina	0.60458ns	10089.101**	2,4
Relação lignina/N dos resíduos	0.1545831ns	1.1085515**	3,0

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo.\*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância das características avaliadas nos sistemas de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2011

Parâmetros	Causas da variação		CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	
	----- Grau de liberdade -----		
	3	2	
----- Quadrados médios -----			
Rendimento de massa seca	645369.526ns	678926.421ns	14,4
Quantidade acumulada de N na parte aérea	892.035335ns	1855.703047*	19,7
Quantidade acumulada de P na parte aérea	5.71680672*	3.51879357*	12,7
Quantidade acumulada de K na parte aérea	101.5049557*	419.3221558**	12,1

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo.\*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância das características avaliadas nas espécies serradela e azevém, em cultivo solteiro. Cachoeirinha-RS, 2011

Parâmetros	Causas da variação		CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	
	----- Grau de liberdade -----		
	3	1	
----- Quadrados médios -----			
Relação C/N dos resíduos	100.2500562ns	1638.779564*	32,3
Teor de carbono	3.214444ns	1169.640000ns	1,1
Teor de lignina	0.502222**	6037.290000**	0,9
Relação lignina/N dos resíduos	0.14267802ns	5.3194583**	7,3

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo.\*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância das características avaliadas na cultura do arroz irrigado. Cachoeirinha-RS, 2010/11

Parâmetros	Causas de variação				CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	Níveis de adubação	Sistemas de cobertura* Níveis de adubação	
	----- Grau de liberdade -----				
	3	3	2	6	
----- Quadrados médios -----					
Densidade inicial de plantas em V <sub>3</sub>	662.2453ns	18989.8116**	307.8143ns	1321.8474ns	15,0
Rendimento MS em V <sub>3</sub>	725.1346ns	86.3226ns	5291.6162**	408.3309ns	33,9
N acumulado na MS em V <sub>3</sub>	1.3922855ns	2.0018311ns	12.3766747**	0.9618201ns	33,7
P acumulado na MS em V <sub>3</sub>	0.0197003ns	0.0011067ns	0.0705518**	0.0023055ns	42,5
K acumulado na MS em V <sub>3</sub>	1.0482433ns	0.0358307ns	4.0077597**	0.2233930ns	37,9
Rendimento MS em R <sub>4</sub>	1408912.68ns	1642445.93ns	30524023.21**	3082148.93*	9,1
N acumulado na MS em R <sub>4</sub>	172.2957ns	446.8810ns	15783.7769**	1043.6551ns	19,9
P acumulado na MS em R <sub>4</sub>	19.291044ns	7.1284583ns	359.778810**	20.182839ns	14,9
K acumulado na MS em R <sub>4</sub>	609.4387ns	358.2222ns	23920.7053**	917.2823ns	13,0
Nº panículas m <sup>-2</sup>	21578.9600ns	17136.438ns	60286.188**	13269.656ns	13,5
Nº de grãos panícula <sup>-1</sup>	562.21453ns	424.37714ns	75.54026ns	292.57066ns	16,3
Peso do grão	1.9643744ns	2.0631724ns	5.2739206ns	0.9558228ns	6,3
Esterilidade de espiguetas	0.1805416ns	0.7507999ns	4.2857819**	0.3682353ns	32,4
Índice de colheita aparente	0.0021676ns	0.0012292ns	0.0036084*	0.0009097ns	5,5
Rendimento de grãos	0.6189603ns	1.8752395ns	8.6469194**	0.4205601ns	5,2
Proteína no grão	0.3955214ns	6.3791686**	0.0649965ns	0.6394083*	8,4
Rendimento do grão	4.1465944ns	1.8080551ns	42.994507**	3.5134664ns	2,0

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo. \*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade. \*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância das características avaliadas na cultura do arroz irrigado. Cachoeirinha-RS, 2011/12

Parâmetros	Causas de variação				CV <sup>1</sup> (%)
	Bloco	Sistemas de cobertura de solo no inverno	Níveis de adubação	Sistemas de cobertura* Níveis de adubação	
	----- Grau de liberdade -----				
	3	3	2	6	
	----- Quadrados médios -----				
Densidade inicial de plantas em V <sub>3</sub>	2840.5436ns	9154.2071**	4580.117ns	1366.6539ns	22,8
Rendimento MS em V <sub>8</sub>	43017.184ns	1625.563ns	5157498.88**	171343.56ns	19,9
N acumulado na MS em V <sub>8</sub>	61.669697ns	190.61613ns	3335.3313**	308.14148*	32,1
P acumulado na MS em V <sub>8</sub>	0.3486659ns	3.547382ns	42.571541**	4.283133*	23,1
K acumulado na MS em V <sub>8</sub>	43.201822ns	120.59627ns	1897.9611**	186.5396ns	31,0
Rendimento MS em R <sub>4</sub>	2509899.06ns	1796100.641ns	140462856.3**	3734726.7*	12,0
N acumulado na MS em R <sub>4</sub>	4632.4970ns	1795.7533ns	16489.782**	379.1898ns	24,1
P acumulado na MS em R <sub>4</sub>	28.8700040ns	32.265549ns	1213.2832**	55.03646*	15,6
K acumulado na MS em R <sub>4</sub>	519.22550ns	526.4865ns	27964.640**	1188.8866*	16,1
Nº panículas m <sup>-2</sup>	5705.988ns	43611.765**	298727.157**	9094.0537ns	13,7
Nº de grãos panícula <sup>-1</sup>	61.252748ns	63.32634ns	52.561956ns	62.477784ns	19,5
Peso do grão	1.3950290ns	0.253914ns	1.555578ns	1.438555ns	5,1
Esterilidade de espiguetas	0.5434594ns	1.593897ns	4.792232ns	1.960492ns	46,3
Índice de colheita aparente	0.0019454ns	0.000762ns	0.0089347*	0.001484ns	7,8
Rendimento de grãos	0.1980462ns	0.902121ns	61.466276**	0.666401*	5,3
Proteína no grão	5.3492327ns	3.584125ns	15.886594**	0.626904ns	17,1
Rendimento do grão	75.062082ns	32.00268ns	392.31056**	31.73754**	5,7

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de variação. ns: não significativo. \*\*Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade. \*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

## 9 VITA

Silmara da Luz Correia, filha de Vorli Antunes Correia e Julia da Aparecida Correia, nasceu em 24 de dezembro de 1983, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Concluiu o Ensino Médio no Colégio Estadual Dom João Becker em Porto Alegre, RS. Em 2004 ingressou na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde desenvolveu atividades como bolsista de iniciação científica no Departamento de Solos sob orientação dos professores Elvio Gioasson e Neroli Pedro Cogo e no Instituto Rio Grandense do Arroz sob orientação da pesquisadora Madalena Boeni.

Graduou-se Engenheira Agrônoma em dezembro de 2010 e ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia da UFRGS, em março de 2011, no Departamento de Plantas de Lavoura, sob orientação do Professor Paulo Regis Ferreira da Silva.