

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

RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SUCESSÃO A
COBERTURAS DE SOLO NO OUTONO-INVERNO EM GLEISSOLO

José Antonio Severo Celestino Alves
Engenheiro Agrônomo / ULBRA

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Agosto de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Celestino Alves, José Antonio Severo

RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
SUCESSÃO A COBERTURAS DE SOLO NO OUTONO-INVERNO
EM GLEISSOLO / José Antonio Severo Celestino Alves. --
2018.

63 f.

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Zea mays. 2. Rendimento de grãos. 3. Eficiência agrônômica de uso do
nitrogênio. I. Ferreira da Silva, Paulo Regis, orient. II. Título.

JOSÉ ANTONIO SEVERO CELESTINO ALVES
Engenheiro Agrônomo - ULBRA

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: 30.08.2018
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 17.09.2019
Por

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
Orientador - PPG em Fitotecnia
UFRGS

CHRISTIAN BREDEMEIER
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER
PPG em Fitotecnia/UFRGS

ANDRÉ LUIS VIAN
Faculdade de Agronomia/UFRGS

FILIPPE SELAU CARLOS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
UFPEL

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

Aos meus pais e à toda minha família,
pelo incentivo constante para o
cumprimento de mais esta etapa.

AGRADECIMENTOS

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

Aos colegas Matheus Barreto Maass, Andrei Marafon, Bruno Tadashi, Bruno Picetti e Laís Miozzo, pela ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

Aos meus pais Mário Antonio C. Alves e Sandra Cademartori Severo e a Ana Paula Voitichowski de Souza pelo incentivo, amor e compreensão.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Plantas de Lavoura pela amizade e apoio.

À Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio-grandense do Arroz, pela viabilização de realização desse trabalho a campo.

Aos técnicos e demais funcionários do Instituto Rio-grandense do Arroz, pelo auxílio na realização do trabalho.

Ao técnico de laboratório Fábio e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura.

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

RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SUCESSÃO A COBERTURAS DE SOLO NO OUTONO-INVERNO EM GLEISSOLO¹

Autor: José Antonio Severo Celestino Alves

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva

RESUMO

O cultivo de milho em área de arroz irrigado apresenta potencialidades e desafios a serem superados. Esses solos geralmente possuem baixo teor de matéria orgânica, por isso se espera uma alta resposta à adubação nitrogenada em cobertura. Por outro lado, diferentes espécies de cobertura de solo no outono-inverno podem determinar respostas distintas à adubação do milho em sucessão. Diante disso, o objetivo do trabalho foi determinar os efeitos de cobertura de solo de outono-inverno sobre a resposta do milho cultivado em sucessão em terras baixas à adubação nitrogenada em cobertura. No Experimento 1 (2015/16), os tratamentos consistiram de três sistemas de cobertura de solo no outono-inverno (cornichão, azevém, pousio) e da aplicação de cinco doses de nitrogênio (N) (0, 50, 100, 200, 300 kg ha⁻¹) em cobertura no milho em sucessão. No Experimento 2 (2016/17), os tratamentos constaram de duas épocas de dessecação da serradela nativa e uma testemunha, com área em pousio durante o outono-inverno, e de quatro sistemas de manejo da adubação nitrogenada em cobertura no milho cultivado em sucessão. Os sistemas de manejo constaram de duas doses de N em cobertura (100 e 200 kg ha⁻¹), aplicadas em uma ou duas épocas. Para os dois experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas divididas, com quatro repetições. Nos dois experimentos não houve interação dos dois fatores testados. O milho em sucessão ao azevém produziu 7,7 e 11,0 % menos em relação, respectivamente, ao em sucessão ao cornichão e ao pousio. O atraso da época de dessecação da serradela de 56 para 14 dias antes da semeadura do milho aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea em 77,4 %, de 2,34 para 4,31 Mg ha⁻¹. Em relação ao pousio no outono-inverno, com rendimento de grãos de 8,87 Mg ha⁻¹, na média de sistemas de manejo do N, o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão à serradela nativa aumentou em 12,6 e 19,4 %, respectivamente com as dessecações realizadas aos 56 e 14 dias antes da semeadura. O milho cultivado em Gleissolo apresenta alta resposta à adubação nitrogenada em cobertura. A eficiência agrônômica de uso do N pelo milho aumentou com o atraso da época de dessecação da serradela nativa e diminuiu com o incremento da dose de N aplicado.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (63f.) Agosto, 2018.

RESPONSE OF THE CORN TO NITROGEN FERTILIZATION IN SUCCESSION OF SOIL COVERINGS IN AUTUMN-WINTER IN GLEISOL²

Author: José Antonio Severo Celestino Alves

Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva

ABSTRACT

Corn growing in irrigated rice area presents potentialities and challenges to be overcome. These soils are usually low in organic matter, so a high response to nitrogen (N) fertilization is expected. On the other hand, different soil cover species in autumn-winter can determine different responses to N fertilization in corn in succession. Therefore, the objective of this work was to determine the effects of autumn-winter soil covers on the response of maize cultivated in succession to nitrogen fertilization. In Experiment 1 (2015/16), treatments consisted of three systems of soil covers in autumn-winter: common birds-foot (*Lotus corniculatus*), ryegrass (*Lolium multiflorum*), and fallow and the application in top dressing of five N rates (0, 50, 100, 200, 300 kg ha⁻¹) in corn grown in succession. In Experiment 2 (2016/17), treatments consisted of two desiccation dates of a leguminous species (e *Ornithopus micranthus*) a and the control, with fallow area during autumn-winter, and four N fertilization systems in corn grown in succession. The management systems consisted of two N rates (100 and 200 kg ha⁻¹), applied in one or two times in top dressing. In both experiments, the experimental design was the randomized blocks, arranged in split plots, with four replications. In both experiments, there was no interaction of the two factors tested. Corn grown in succession to ryegrass produced 7.7 and 11.0% less in relation to obtained, respectively, in succession to common birds-foot and fallow. Delaying the desiccation timing of the *Ornithopus micranthus* from 56 to 14 days before corn sowing increased dry shoot mass yield by 77.4 %, increasing from 2.34 to 4.31 Mg ha⁻¹. In relation to the autumn-winter fallow, in which grain yield was 8.87 Mg ha⁻¹, in the average of N management systems, corn grain yield grown in succession to *Ornithopus micranthus* increased in 12,6 and 19,4%, respectively, with the delaying of desiccation from 56 to 14 days before corn sowing. Corn grown in Gleissolo showed a high response to nitrogen fertilization in coverage. The agronomic efficiency of N use by corn increased with the delay of the desiccation time of *Ornithopus micranthus* and decreased with the increase of N rate.

² Master of Science Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (63p.) August, 2018.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 A cultura do milho em terras baixas	5
2.2 Plantas de cobertura de solo no outono-inverno em terras baixas	6
2.3 Principais benefícios da rotação e sucessão de culturas em terras baixas	7
2.4 Inserção do cultivo do milho em terras baixas.....	10
2.5 Importância do nitrogênio (N)	13
2.5.1 Fatores que afetam a resposta do milho à adubação nitrogenada.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Local de execução do estudo	16
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	19
3.3 Manejo e determinações nas coberturas de solo no outono-inverno	21
3.4 Manejo e determinações na cultura do milho em sucessão	22
3.4.1 Diâmetro de colmo	23
3.4.2 Teor relativo de clorofila na folha	23
3.4.3 Rendimento de massa seca da parte aérea	23
3.4.4 Quantidade de N acumulada na parte aérea da planta	23
3.4.5 Senescência foliar	24
3.4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	24
3.4.7 Eficiência agrônômica do uso do nitrogênio (EAN)	24
3.5 Análise estatística.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Experimento 1 – Resposta do milho cultivado em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno à adubação nitrogenada em cobertura, em terras baixas. Ano agrícola, 2015/16.....	26
4.1.1 Rendimento de massa seca das coberturas de solo no outono-inverno	26
4.1.2 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta de milho..	27
4.1.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	31
4.1.4 Eficiência agrônômica de uso do N aplicado (EAN)	36

	Página
4.2 Experimento 2 – Manejo da adubação nitrogenada em cobertura no milho em sucessão à serradela nativa em terras baixas. Ano agrícola, 2016/17.....	37
4.2.1 Rendimento de massa seca da serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno	37
4.2.2 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta de milho..	38
4.2.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos.....	40
4.2.4 Eficiência agronômica de uso do N aplicado (EAN)	43
5 CONCLUSÕES GERAIS	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
7 APÊNDICES	49

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Doses e estádios de aplicação de N em cobertura no milho. (Experimento 1).....	20
2. Doses e estádios de aplicação de N em cobertura no milho. (Experimento 2).....	20
3. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agronômica de uso do nitrogênio (EAN) em milho cultivado em sucessão a duas coberturas de solo no outono-inverno e ao pousio, na média de doses de nitrogênio aplicado em cobertura, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.....	27
4. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agronômica de uso do N (EAN) em milho cultivado em sucessão à serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno, dessecada em duas épocas, e ao pousio, na média de doses e estádios de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura no milho, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2016/17	38
5. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência de uso do nitrogênio (EAN) em milho em função de doses e estádios de aplicação de (N) em cobertura, na média de épocas de dessecação da serradela nativa e do pousio como cobertura de solo no outono-inverno, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2016/17.....	40

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Demonstração da parcela	18
2. Precipitação pluvial diária ocorrida no período de 01 de outubro a 31 de março e irrigações realizadas durante o ciclo do milho, nos anos agrícolas 2015/16 (a) e 2016/17 (b), em Cachoeirinha-RS. Barras na cor cinza indicam quando foram realizadas as irrigações (30 mm cada) e as barras em preto indicam as precipitações ocorridas. As siglas em <i>índice</i> indicam as datas de semeadura (SE), espigamento (ESP) e colheita (CO) do milho em cada ano	18
3. Perfil transversal do microcamalhão (a) e construção de microcamalhões com microcamalhoneira (b). Cachoeirinha - RS.....	19
4. Coberturas de solo no outono-inverno de 2015 (Experimento 1).....	21
5. Dessecações da serradela nativa realizadas aos 56 e 14 dias antes a semeadura do milho, no outono-inverno de 2016 (Experimento 2).....	22
6. Teor relativo de clorofila na folha de milho (Leitura SPAD) nos estádios de desenvolvimento ¹ V ₇ e V ₁₀ em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16. ¹ Conforme escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993)	27
7. Diâmetro de colmo de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16	29
8. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no estádio de espigamento em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16	29
9. Quantidade de N acumulada na parte aérea do milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.....	30
10. Percentagem de senescência foliar no milho nos estádios ¹ R ₇ e R ₂ e R ₃ em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16. ¹ Conforme escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993).....	30
11. Número de grãos por espiga de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16	31

	Página
12. Peso do grão de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.....	31
13. Rendimento de grãos de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.....	33
14. Eficiência agronômica de uso do N (EAN) em milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.....	37

1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul contribui com cerca de 70 % da produção brasileira de arroz (SOSBAI, 2016). Nesse estado, há 5,4 milhões de hectares com potencial para cultivo dessa cultura (SOSBAI, 2016). Desse total, 3,0 milhões de hectares possuem infraestrutura de irrigação e drenagem e 1,1 milhão de hectares são cultivados anualmente com arroz irrigado. Dessa maneira, há a possibilidade de diversificação de culturas, sem resultar em decréscimo na área de cultivo de arroz irrigado.

No entanto, devido à frequente utilização da monocultura com arroz começaram a surgir problemas com alta infestação de plantas daninhas, devido às sucessivas utilizações de herbicidas com os mesmos princípios ativos. Isto tem se refletido em menor rendimento de grãos, comprometendo a rentabilidade do produtor rural. Nesse sentido, o uso da rotação de culturas é uma estratégia eficiente para controle de plantas daninhas, além de propiciar a quebra de ciclos de doenças e pragas da cultura do arroz irrigado. Além desses benefícios, a rotação de culturas resulta em diversificação na renda, evitando, desse modo, a fragilização do poder econômico do produtor frente às oscilações de preço do arroz.

Atualmente, a soja é a espécie de sequeiro mais cultivada em rotação com arroz irrigado, em função do mercado comprador mais estável, da sua menor sensibilidade ao excesso hídrico que outras espécies e pela existência de genótipos resistentes ao herbicida glifosato. A partir do ano agrícola 2010/11, observou-se um aumento significativo da área semeada com soja em terras baixas, passando de 66.000 hectares para 280.000 hectares no ano agrícola 2016/17.

No entanto, a soja não é a única cultura com potencial a ser explorado em áreas de arroz irrigado. O cultivo do milho é uma alternativa interessante, pois além de trazer todos esses benefícios da soja, pode produzir uma quantidade elevada de palha para o sistema, resultando em aumento da fertilidade do solo, pela ciclagem de nutrientes. Além disso, por ser muito utilizado na alimentação animal, o milho pode contribuir para garantir a sustentabilidade da propriedade rural.

No entanto, para uma produção dinâmica, sustentável e eficiente, apenas a rotação de culturas na primavera-verão não é suficiente. A sucessão com culturas de cobertura de solo no outono-inverno é extremamente importante para o manejo conservacionista do solo. Nesse sentido, áreas de arroz irrigado, em sua grande maioria, permanecem em pousio durante o período de outono-inverno, com uma exploração pecuária, muitas vezes, de baixa produção.

A escolha da espécie correta de cobertura de solo a ser utilizada na sucessão é um fator determinante para sua eficiência. Normalmente, em terras baixas ocorre excesso hídrico, devido, principalmente, à presença de solos hidromórficos e ao excesso de pluviosidade nesta época do ano. Nesse sentido, a primeira premissa que deve ser atendida pela espécie de cobertura a ser escolhida é a capacidade de se adaptar em áreas com excesso hídrico.

Entre as espécies com capacidade de desenvolvimento nesse ambiente, o azevém (*Lolium multiflorum*), o cornichão (*Lotus corniculatus*) e a serradela nativa (*Ornithopus micranthus*) apresentam grande potencial de utilização como culturas antecessoras ao cultivo do milho. O azevém pode produzir alto rendimento de massa seca com adequada adubação, sendo importante na reciclagem de nutrientes e na adição de resíduos ao solo. Pode, ainda, ser pastejado pelos animais neste período do ano. No entanto, no milho em sucessão a poáceas há imobilização de N no solo, resultando em sua menor disponibilidade. Por sua vez, a serradela nativa e o cornichão, embora tenham menor potencial de rendimento de massa seca, são leguminosas adaptadas a solos mal drenados. São capazes de estabelecer

simbiose com bactérias fixadoras de N, disponibilizando mais N para o milho em sucessão. Em consequência disso, é possível que a necessidade de aplicação de adubo nitrogenado no milho em sucessão a essas leguminosas seja menor do que em sucessão ao azevém.

O cultivo de milho em terras baixas apresenta potencialidades e desafios a serem superados. Os dois principais pré-requisitos para sua implantação são: dotar a área de um eficiente sistema de drenagem e poder realizar irrigação, quando necessário. Em experimentos anteriores conduzidos em gleissolo, em que se minimizou estresse por excesso ou deficiência hídrica, foram obtidas altas produtividades de grãos ($> 12 \text{ t ha}^{-1}$). Atendidos esses dois pré-requisitos essenciais, a adoção correta de outras práticas de manejo assume grande importância para se obter alto potencial produtivo.

Dentre essas práticas de manejo, o suprimento adequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes à obtenção de altas produtividades de grãos de milho. O correto manejo da adubação nitrogenada objetiva suprir a demanda da planta nos períodos mais críticos, maximizar a eficiência de uso desse nutriente e minimizar o impacto ambiental pela redução de suas perdas. Em milho a resposta à adubação nitrogenada em cobertura depende, dentre outros fatores, da espécie e quantidade de resíduos adicionados pela cultura antecessora de outono-inverno. Em cultivos de terras altas, alguns trabalhos foram realizados para desenvolver estratégias de manejo de espécies de coberturas de solo no outono-inverno para cultivo de milho em sucessão. No entanto, para condições de terras baixas há uma lacuna de conhecimento sobre os efeitos de espécies de cobertura de solo no outono-inverno sobre a resposta do milho à adubação nitrogenada.

Diante do exposto, elaboram-se as seguintes hipóteses de trabalho para a presente pesquisa:

- a) Há diferenças na resposta à adubação nitrogenada do milho quando cultivado em sucessão a espécies da família das poáceas ou das fabáceas.
- b) O atraso da época de dessecação da serradela, por permitir maior desenvolvimento

da planta, libera maior quantidade de N para o milho em sucessão em relação ao pousio, resultando em maior rendimento de grãos.

Dessa forma, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de determinar os efeitos de coberturas de solo de outono-inverno sobre a resposta do milho cultivado em sucessão em terras baixas à adubação nitrogenada em cobertura, em um gleissolo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do milho em terras baixas

O milho é uma importante commodity devido à multifuncionalidade de usos dos grãos, que podem ser usados na alimentação animal e humana e na produção de biocombustíveis. Além disso, a inclusão da cultura do milho em sistemas de rotação de culturas resulta na melhoria da fertilidade do solo.

Em experimentos conduzidos em terras altas, os recordes de produtividades atingidas foram de 17,4 Mg ha⁻¹ e de 18,6 Mg ha⁻¹, respectivamente em Eldorado do Sul-RS (Menegati *et al.*, 2012) e em Lages-SC (Sangoi *et al.*, 2012). Já em experimentos conduzidos em área de arroz irrigado, em Cachoeirinha-RS, o máximo rendimento obtido foi de 14,45 Mg ha⁻¹ (Marafon *et al.*, 2016). Entre os fatores capazes de alterar a produtividade média comercial no estado do Rio Grande do Sul, a utilização de híbridos de alto potencial, irrigação, adubação, arranjo de plantas adequado e tratamentos fitossanitários são os fatores essenciais para se atingir altas produtividades de grãos.

Destes fatores, a deficiência hídrica é o que mais frequentemente limita a obtenção de altos rendimentos de grãos no Brasil (Sangoi *et al.*, 2010). Embora o estado do Rio Grande do Sul não apresente período de seca definido, como na região do cerrado brasileiro, há uma possibilidade de 40% de ocorrência de déficit hídrico para a cultura, demonstrando a necessidade da utilização de sistemas de irrigação (Matzenauer *et al.*, 2002). Para cultivo do milho em área de arroz irrigado, o uso de microcamalhão, associado à sistematização da área em desnível, constituem-se em estratégias eficientes para evitar estresse por excesso hídrico

durante o ciclo de desenvolvimento (Rodrigues, 2015)

Além da utilização de um sistema de irrigação, a introdução de uma cultura antecessora com alta capacidade de produzir resíduos vegetais possibilita minimizar o estresse hídrico, pois há maior estabilidade de agregados, redução de altas temperaturas, menor suscetibilidade do solo à compactação resultando na melhoria de sua capacidade de retenção e infiltração de água (Bayer *et al.*, 2006).

Entretanto, o uso de uma cultura antecessora ao cultivo do milho pode influenciar sua produtividade não somente devido à capacidade de retenção de água, mas também devido à capacidade de ciclar nutrientes, disponibilizando-os para o milho em sucessão. Isso pode resultar numa menor necessidade de aplicação de fertilizantes, devido ao aproveitamento dos nutrientes da cultura antecessora (Verneti Júnior *et al.*, 2009).

No caso da cultura antecessora ser uma leguminosa, pode haver redução da quantidade a ser aplicada de N sob a forma de fertilizantes minerais e no custo de produção da lavoura devido à contribuição da fixação biológica de N, lavoura (Marchesi *et al.*, 2011).

Entre os fatores determinantes de altas produtividades, o controle de plantas daninhas, é beneficiado com a utilização de culturas antecessoras. A adoção de uma cultura antecessora é uma alternativa prática e econômica para redução do banco de sementes (Agostineto *et al.*, 2001), principalmente devido aos resíduos culturais dificultarem a sua emergência.

2.2 Plantas de cobertura de solo no outono-inverno em terras baixas

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma espécie de outono-inverno que apresenta alto potencial de utilização em áreas de arroz irrigado, devido à capacidade de adaptação a condições de solos mal drenados e por ser de duplo propósito, ou seja, como planta forrageira ou cobertura de solo. Por produzir alto rendimento de massa seca com adequada adubação, essa espécie tem grande potencial para reciclar nutrientes e de adicionar resíduos ao solo. (Silva *et al.*, 2017)

Outras espécies que poderiam ser utilizadas em áreas de arroz como cobertura de solo, seriam a serradela nativa (*Oenithopus micranthus*) e o cornichão (*Lotus coniculatus*) devido à sua adaptação a solos mal drenados. Por serem leguminosas, estabelece simbiose com bactérias fixadoras de N. Isto pode beneficiar o arroz e as culturas de sequeiro, como a soja e o milho, cultivadas em sucessão, pelo aporte de N, em solos que são, em sua grande maioria, pobres em matéria orgânica. Com isso, pode haver redução nos custos de produção e benefícios ao meio ambiente, já que há menor risco de contaminação de corpos de água com nitrogênio mineral (nitrato e nitrito). (Silva *et al.*, 2017).

As plantas de cobertura de outono-inverno possuem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, na estruturação física do solo, no aporte de carbono, no aumento da atividade microbiana do solo (Shipley *et al.*, 1992) e na supressão de plantas daninhas (Abdin *et al.*, 2000). Contudo, ainda são escassos os estudos que avaliem espécies e cultivares mais adaptadas ao excesso hídrico, comum em áreas de cultivo de arroz irrigado.

2.3 Principais benefícios da rotação e sucessão de culturas em terras baixas

Em áreas de terras baixas, a utilização de outros cultivos complementares ao arroz irrigado, justifica-se por aspectos econômicos, técnicos e ambientais. Em terras altas, os benefícios da adoção de sistemas de produção com manejo conservacionista do solo já estão consolidados e conhecidos da comunidade científica e dos agricultores. Porém, em áreas de arroz ainda são poucos os estudos de sistemas de produção de arroz irrigado em rotação e sucessão de culturas, o que acaba limitando sua ampla adoção. No atual sistema de produção de grãos, as demandas técnicas e socioeconômicas tem 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, mesmo com o uso de cultivares com alto potencial produtivo e altos níveis tecnológicos. Para ultrapassar esse patamar, é importante que se aumente o potencial produtivo desses

solos. Nesse sentido, a adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo, associado a sistemas de rotação e sucessão de culturas, podem se constituir em eficientes estratégias para se atingir maiores rendimentos nessas áreas. (Silva *et al*, 2017)

A adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas resulta em maior estoque de carbono no solo, devido ao balanço positivo desse elemento. Esse aumento resulta em 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. O aumento ao longo do tempo dos estoques de carbono e, conseqüentemente de N, contribui para o sequestro do C atmosférico, diminuindo a concentração de gases responsáveis pelo efeito estufa. Em decorrência desse aumento do estoque de carbono do solo há melhoria da qualidade do solo. (Silva *et al*, 2017)

Nesse sentido, entende-se como qualidade de solo a capacidade do solo em funcionar dentro de um ecossistema natural ou manejado, com objetivo de sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade ambiental e promover a sanidade de plantas e animais. Para isso, o solo deve exercer as funções de meio para crescimento das plantas, de regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente, de estocar e promover a ciclagem de nutrientes e de servir como meio tamponante para atenuar e degradar compostos prejudiciais ao ambiente. Dessa forma, a melhoria da qualidade do solo promove aumentos consistentes e duradouros nos rendimentos dos cultivos. (Silva *et al*, 2017)

Dentre as funções atribuídas ao solo está a capacidade em nutrir as plantas. Essa capacidade depende de processos que determinam a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas permite a adição de nutrientes ao sistema, via fixação biológica e/ou ciclagem de nutrientes. Em consequência, pode haver redução na quantidade a ser aplicada de nutrientes sob a forma de fertilização mineral, e nos custos de produção da lavoura.

Em áreas de arroz irrigado, a principal razão determinante da introdução de sistemas

de rotação e sucessão de culturas é a necessidade de controle de plantas daninhas, especialmente de arroz vermelho. A adoção desse sistema propicia o controle cultural de plantas daninhas, que competem com o arroz por recursos naturais dificultando as operações de colheita e pós-colheita. Esta estratégia de manejo pode viabilizar que áreas onde o cultivo de arroz foi inviabilizado por alta infestação de plantas daninhas, principalmente de arroz vermelho, retornem ao sistema de produção.

A grande vantagem do cultivo de milho em áreas de arroz irrigado se relaciona à possibilidade de se utilizar outras moléculas de herbicidas, que controlam eficientemente as principais espécies de plantas daninhas da lavoura de arroz irrigado. No RS, a grande ferramenta para controle de arroz vermelho, em adição ao sistema Clearfield[®], é a rotação com cultivares de soja e milho resistentes ao herbicida glifosato. Entretanto, a utilização deste herbicida, principalmente como último herbicida nesse sistema e por mais de dois anos consecutivos, constitui-se em procedimento de alto risco que irá resultar na evolução de arroz vermelho resistente. Além disso, constatou-se que o uso contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (herbicidas do grupo das imidazolinonas) em arroz irrigado tem ocasionado resistência em diversas espécies de plantas daninhas e motivado a busca por sistemas de rotação com cultivos de sequeiro. (Silva *et al.*, 2017)

Do ponto de vista econômico, o uso dessas áreas é a infraestrutura de irrigação já disponível e proporcionada pela cultura do arroz irrigado, que pode ser utilizada nos períodos de deficiência hídrica, bastante comum durante o desenvolvimento das culturas de verão implantadas em rotação, o que garantiria maior estabilidade de rendimento e competitividade.

2.4 Inserção do cultivo do milho em terras baixas

O cultivo de milho em terras baixas apresenta potencialidades e desafios a serem superados (Silva *et al.*, 2017). Os dois principais pré-requisitos para sua implantação são:

dotar a área de um eficiente sistema de drenagem e poder realizar irrigação, quando necessário. A drenagem eficiente é especialmente importante em solos de terras baixas que são, em sua grande maioria, hidromórficos. Assim, um dos principais critérios a ser estabelecido para a implantação do milho é a escolha de áreas mais apropriadas. Áreas de cotas mais baixas, sujeitas a enchentes, são de alto risco e não devem ser utilizadas para cultivo, dada à alta frequência de perda de lavouras por morte de plantas em períodos de excesso hídrico. Assim, deve-se dar preferência a áreas com menor risco, com cotas mais altas e com um pouco de declive, por favorecerem a drenagem. Em áreas de risco intermediário, em que a topografia mais plana dificulta a drenagem, o sucesso do cultivo depende da aplicação de um cuidadoso sistema de drenagem superficial, que pode ser complementado manualmente logo após a ocorrência de precipitações pluviais mais intensas.

Em trabalho desenvolvido pelo IRGA durante dois anos em gleissolo foi evidenciado que a sistematização da área em desnível (0,08 %) e a utilização do sistema sulco/microcamalhão para implantação do milho constituem-se em estratégias eficientes para minimizar estresse por excesso hídrico (Rodrigues, 2015). Mesmo em um ano com alta precipitação pluvial (2014/15), não se observou efeitos de estresse por excesso hídrico, obtendo-se altos rendimentos de grãos (13,80 Mg ha⁻¹). A utilização do sistema sulco/microcamalhão foi muito efetiva, tanto para a realização da drenagem quanto para se proceder a irrigação por sulco, quando necessária. Nesse sistema, a semeadura do milho é realizada na parte superior do microcamalhão, enquanto a concentração da umidade no solo ocorre no sulco formado entre os microcamalhões.

O segundo pré-requisito para obtenção de altos rendimentos de grãos de milho em terras baixas é a de se realizar irrigação, quando necessário. A planta de milho é muito sensível à deficiência hídrica, especialmente no período compreendido entre duas semanas antes a duas semanas após o espigamento. A maioria dos solos de terras baixas apresenta

baixo teor de matéria orgânica e textura arenosa, tendo baixa capacidade de retenção de umidade. Além disso, em áreas de cultivo de arroz irrigado ocorre menor volume anual de precipitação em relação à metade norte do estado do RS. Um aspecto favorável é que as áreas de cultivo de arroz irrigado já apresentam estrutura de canais e de armazenamento de água, que facilitam a realização da irrigação, sendo que os produtores já têm experiência acumulada sobre como procedê-la.

Pesquisa conduzida pelo IRGA durante dois anos em gleissolo evidencia que a resposta do milho à irrigação depende da quantidade e da distribuição da precipitação pluvial durante a estação de crescimento (Maass *et al.*, 2016). Em um ano, com acentuada deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento (2013/14), houve alta resposta à irrigação. Nesse ano, obteve-se incrementos do rendimento de grãos de 298 e 225 % respectivamente com a irrigação por sulco e por aspersão, em relação ao cultivo de milho sob condições naturais de precipitação pluvial (2,91 Mg ha⁻¹). A grande redução verificada no rendimento de grãos no tratamento sem irrigação em relação aos irrigados pode ser explicada pelo fato do subperíodo pendramento-espigamento dos quatro híbridos de milho utilizados ter coincidido com um período de intensa estiagem. Com deficiência hídrica nesse subperíodo aumenta a duração do subperíodo pendramento-espigamento e causa defasagem entre o período de liberação de pólen e o aparecimento de estigmas (Sangoi *et al.*, 2010), resultando em maior número de óvulos não fecundados e, conseqüentemente, em menor número de grãos por espiga.

Já em ano em que a distribuição da precipitação pluvial foi adequada durante todo o ciclo (2014/15), não se observou efeito da irrigação na produtividade de grãos, independentemente de híbrido. Isso se deve ao fato de que a quantidade de precipitação foi alta e sua distribuição foi bem uniforme durante o ciclo de desenvolvimento do milho. Isso se refletiu no tratamento sem irrigação, em que a produtividade de grãos foi 262 % superior à do primeiro ano.

Na cultura do milho há um período de desenvolvimento mais crítico à deficiência hídrica. Em um experimento conduzido em gleissolo, com duas épocas de semeadura, determinou-se que a irrigação realizada somente durante o período mais crítico da cultura do milho (16 dias antes do espigamento a 16 dias após) assegura a obtenção de, pelo menos, 90 % do seu potencial produtivo em relação ao tratamento com irrigação sempre que necessária (Silva *et al.*, 2017).

Ao longo desses cinco anos de retomada de realização de experimentos com a cultura do milho em terras baixas pelo IRGA tem-se conseguido altos rendimentos de grãos, variando de 12,00 a 14,40 Mg ha⁻¹. Apenas para efeito comparativo, o rendimento médio de grãos no estado do RS no ano agrícola 2016/17 foi de, aproximadamente, 6,78 Mg ha⁻¹ (Emater, 2017). Os dados obtidos nessas pesquisas evidenciam que, sob condições de adequada drenagem e com possibilidade de se realizar irrigação quando necessária, e com adoção das demais práticas de manejo em nível adequado, o cultivo do milho pode se constituir em uma alternativa promissora para a rotação de culturas em terras baixas.

Atendidos esses dois pré-requisitos essenciais, a adoção correta de outras práticas de manejo assume importância. Nesse sentido, o suprimento adequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes à obtenção de altas produtividades de grãos de milho. O correto manejo da adubação nitrogenada objetiva suprir a demanda da planta nos períodos mais críticos, maximizar a eficiência de uso desse nutriente e minimizar o impacto ambiental pela redução de perdas (Sangoi *et al.*, 2016). Em terras altas, muitos trabalhos já foram desenvolvidos com o intuito de determinar a resposta do milho à adubação nitrogenada (Miozzo, 2017). No entanto, em terras baixas há a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com esse objetivo.

2.5 Importância do nitrogênio (N)

2.5.1 Fatores que afetam a resposta do milho à adubação nitrogenada

As doses de N recomendadas para a cultura do milho variam em função do teor de

matéria orgânica do solo, da expectativa de produtividade, da cultura antecedente e da quantidade de fitomassa por ela produzida (CQFS, 2016). Assim, as doses de N devem ser maiores para solos com baixo teor de matéria orgânica e com elevado teor de areia, que são característicos de terras baixas. Da mesma forma, quanto maior a produtividade desejada, maior deve ser a dose de N aplicada, pois para cada tonelada de grãos de milho a ser produzida há uma extração de 25 a 28 kg de N. (Sangoi *et al.*, 2010).

A cultura antecedente também influencia as doses de N aplicadas na semeadura e em cobertura no milho. Na semeadura, a dose de N a ser aplicada varia de 10 a 30 kg ha⁻¹, dependendo do tipo e da quantidade de resíduos da cultura antecessora (Sangoi *et al.*, 2016). Quando o milho é precedido por espécies da família *Poaceae*, tal como o azevém, recomenda-se aplicar de 20 a 30 kg ha⁻¹ de N. Já em sucessão a espécies da família *Fabaceae*, tais como cornichão e serradela nativa, pode-se reduzir a dose para 10 a 20 kg ha⁻¹ de N, devido a menor relação C/N deste tipo de resíduo. Doses superiores a 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura não são recomendadas, em função da baixa demanda por N da cultura nos seus estádios iniciais e à alta instabilidade do nutriente no solo.

Com relação à adubação nitrogenada em cobertura, a dose a ser aplicada também depende da espécie e da quantidade de resíduos produzida. No milho em sucessão a resíduos de espécies poáceas há imobilização de N no solo, resultando em menor disponibilidade (Fontoura *et al.*, 2015). Essa imobilização de N se refletiu em uma absorção de 20 kg ha⁻¹ de N menor em comparação ao milho cultivado em solo sob pousio.

Algumas alternativas de manejo vêm sendo estudadas para minimizar a redução que se verifica no rendimento de grãos de milho em sucessão a espécies poáceas. Dentre estas, destacam-se o aumento da dose de N aplicada na semeadura e o atraso da época de semeadura do milho após a dessecação dessas espécies (Sangoi *et al.*, 2016).

Por sua vez, os cultivos de ervilhaca e nabo forrageiro como cobertura de solo resultam em aumento da disponibilidade de N em comparação aos sistemas com poáceas. Por

apresentarem baixa relação C/N em seus resíduos, essas espécies apresentam alta taxa de decomposição, fazendo com que haja grande liberação de N nas primeiras quatro semanas de desenvolvimento da planta de milho. Além disso, especificamente para espécies da família das fabáceas, há a contribuição da fixação simbiótica.

Além desses três fatores acima discutidos, a dose de N a ser aplicada na cultura do milho também pode variar com o sistema de rotação de culturas, a finalidade do cultivo e a época de semeadura. Quando o milho é cultivado em rotação com a soja, pode-se reduzir em até 20% a quantidade total de N a ser aplicada. Nos cultivos destinados à produção de grãos cerca de 35% do total de N extraído pela planta é reaproveitado com a manutenção dos restos culturais na área. Já quando o milho se destina à produção de silagem, a dose de N aplicada em cobertura deve ser aumentada, pois a reciclagem do nutriente absorvido pela planta é muito pequena (Sangoi *et al.*, 2010).

Nas regiões mais quentes do estado do RS, em que se pode cultivar milho numa ampla faixa de época de semeadura, obtém-se maior resposta à adubação nitrogenada e maior eficiência de uso do N aplicado em cobertura na época de semeadura antecipada (agosto) em relação à intermediária (outubro) (Miozzo, 2017). Isso se deve ao fato das plantas apresentarem menor crescimento vegetativo na época de agosto em função da ocorrência de menores temperaturas do ar. Com isso, há mais N disponível para o enchimento de grãos.

Em terras altas, muitos trabalhos já foram desenvolvidos com o intuito de determinar a resposta do milho à adubação nitrogenada em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno (Sangoi *et al.*, 2016). Em terras baixas, já são disponíveis informações sobre os efeitos de coberturas de solo no outono-inverno sobre o arroz irrigado em sucessão (Correia *et al.*, 2018). No entanto, para cultivo de milho em terras baixas há a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com esse objetivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi composta por dois experimentos conduzidos a campo, sendo um no ano agrícola 2015/16 (Experimento 1) e outro no de 2016/17 (Experimento 2). na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), no município de Cachoeirinha, na Região Central do estado do Rio Grande do Sul.

3.1 Local de execução do estudo

A EEA/IRGA está situada a 29°55'30" de latitude sul e a 50°58'21" de latitude oeste e a altitude de 7 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como subtropical úmido, sendo considerado como transição entre os tipos Cfa1 (isoterma anual inferior a 18 °C) e Cfa2 (isoterma anual superior a 18 °C). A temperatura mínima média do ar é de 9,8 °C no mês mais frio (julho) e a temperatura máxima média é de 31,6 °C no mês mais quente (janeiro). A precipitação pluvial média anual é de 1425 mm e a disponibilidade de radiação solar máxima é de 502 cal cm⁻² dia⁻¹, no mês de dezembro (INMET, 2016).

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háptico Distrófico típico. Este tipo de solo é caracterizado por apresentar má drenagem, baixa condutividade hidráulica, saturação de bases inferior 50 % e baixo teor de argila (*Streck et al.*, 2008). Nos dois anos, não foi utilizada a mesma área experimental.

A análise de solo realizada no primeiro ano (março de 2015) indicou as seguintes características físicas e químicas do solo: argila: 24 % (m/v); pH (água): 5,6; Índice SMP:

6,8; P: 24 mg dm⁻³ (Mehlich-1); K: 25 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e matéria orgânica: 24 g kg⁻¹. Já a análise realizada no segundo ano (agosto de 2016) indicou os seguintes valores para as características físicas e químicas do solo: argila 16 % (m/v); pH (água): 5,6; Índice SMP: 6,5; P: 6 mg dm⁻³ (Mehlich-1); K: 36 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e matéria orgânica: 24 g kg⁻¹.

No ano agrícola 2013/14, a área experimental foi cultivada com arroz irrigado. Após a colheita, em março de 2014, foi semeada serradela nativa (*Ornithopus micranthus*) na área. Na primavera-verão de 2014/15, a área foi deixada em pousio, com o objetivo de deixá-la sementar. Em março de 2015, as plantas começaram a emergir, obtendo-se uma alta e uniforme densidade de plantas. No entanto, devido a um erro na aplicação do herbicida, as plantas da serradela foram dessecadas. Em função disso, no Experimento 1 fez-se a semeadura tardia do cornichão (*Lotus corniculatus*) e do azevém (*Lolium multiflorum*).

Nos dois experimentos, o milho foi implantado em semeadura direta em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno sobre microcamalhões (Figura 1a,b). Eles foram construídos em outubro de 2015, com 15 cm de altura e com espaçamento de 1,0 m de um cume a outro, e mantidos no ano agrícola 2016/17. Em cada microcamalhão, o milho foi semeado em duas linhas pareadas, com distância entre si de 30 cm, com utilização de saraquá. A densidade de plantas foi de 9,0 pl m⁻². A fonte de N utilizada nos dois anos foi a ureia com inibidor da urease, para minimizar perdas por volatilização de amônia.

Nos dois anos, o milho foi irrigado por sulco sempre que a umidade volumétrica do solo atingiu 0,18 m³ m⁻³. Este valor é próximo à umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura, obtido a partir da curva de retenção de água no solo. A umidade do solo foi estimada pela instalação de sondas que determinam a umidade volumétrica do solo, com auxílio do equipamento HIDROFARM, da Empresa Falker. Em cada rega foi utilizada lâmina de 30 mm de água.

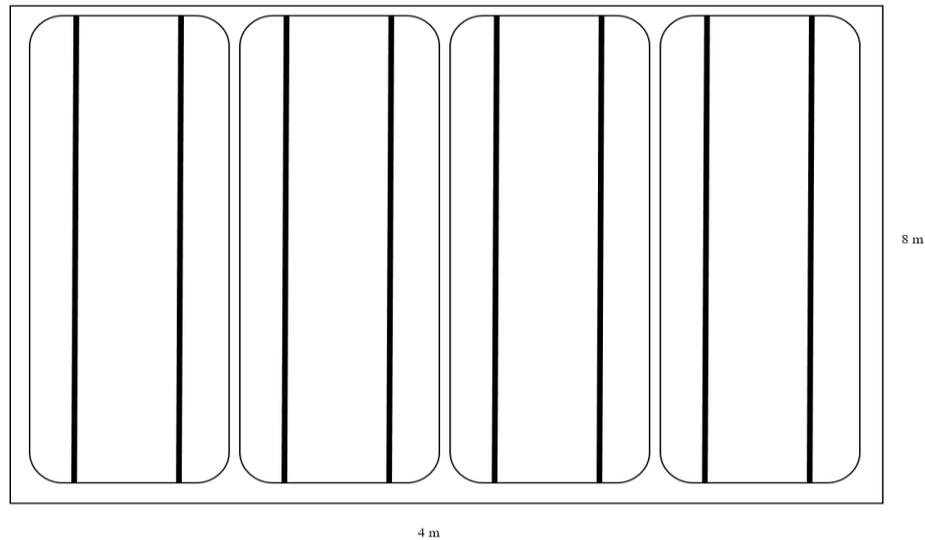


FIGURA 1. Demonstração da parcela

As precipitações pluviárias ocorridas durante os dois períodos experimentais e as irrigações realizadas são apresentadas na Figura 3. No Experimento 1 (2015/16) o milho foi irrigado sete vezes durante o ciclo, correspondendo aos estádios V_{12} , V_{15} , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 e R_5 , de acordo com escala de Ritchie *et al.* (1993). Já no Experimento 2 (2016/17) o milho foi irrigado quatro vezes, correspondendo aos estádios V_7 , V_9 , R_{3-4} e R_{4-5} .

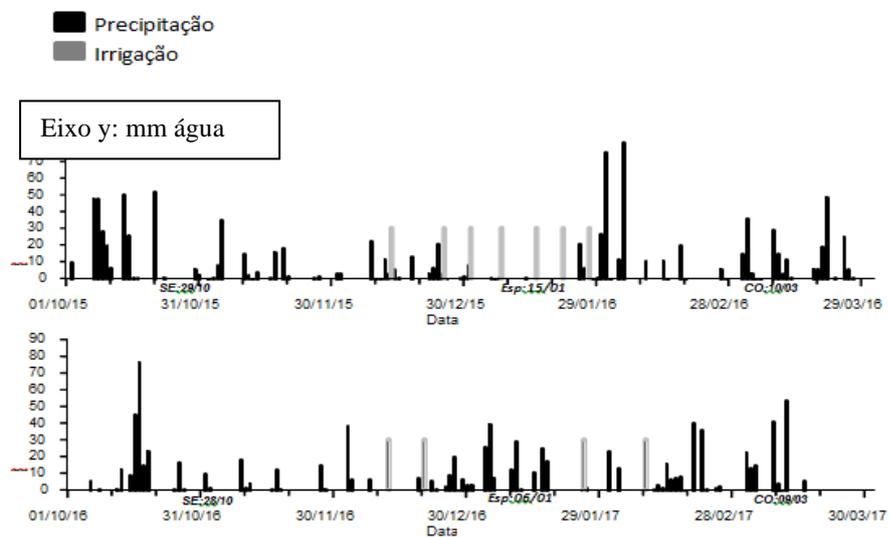


FIGURA 2. Precipitação pluvial diária ocorrida no período de 01 de outubro a 31 de março e irrigações realizadas durante o ciclo do milho, nos anos agrícolas 2015/16 (a) e 2016/17 (b), em Cachoeirinha-RS. Barras na cor cinza indicam quando foram realizadas as irrigações (30 mm cada) e as barras em preto indicam as precipitações ocorridas. As siglas em itálico indicam as datas de sementeira (SE), espigamento (ESP) e colheita (CO) do milho em cada ano.

Os controles de plantas daninhas e pragas foram realizados uniformemente para todos os tratamentos, de acordo com as recomendações técnicas da cultura do milho (REUNIÃO, 2017), de modo a não interferirem no rendimento de grãos e nas demais características agronômicas avaliadas.



FIGURA 3. Perfil transversal do microcamalhão (a) e sua construção com microcamalhadeira (b). Cachoeirinha - RS.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Nos dois experimentos utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. No Experimento 1, os tratamentos consistiram de três coberturas de solo no outono-inverno, com cornichão, azevém e pousio e da aplicação de cinco doses de nitrogênio em cobertura (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), no milho em sucessão. As doses e estádios de aplicação de N em cobertura encontram-se discriminados na Tabela 1. Nas parcelas principais foram locados os sistemas de cobertura de solo no outono-inverno e nas subparcelas as doses de N aplicadas em cobertura no milho em sucessão.

TABELA 1. Doses e estádios de aplicação de N em cobertura no milho.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Estádios ¹ /doses (kg ha ⁻¹) de N
0	
50	50 (V ₄)
100	50 (V ₄) + 50 (V ₈)
200	50 (V ₄) + 50 (V ₈) + 100 (V ₁₂)
300	50 (V ₄) + 50 (V ₈) + 100 (V ₁₂) + 100 (V ₁₆)

¹ De acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993).

No Experimento 2, observou-se na área uma nova ressemeadura natural de serradela nativa, obtendo-se alta densidade de plantas. Os tratamentos constaram de duas épocas de dessecação da serradela nativa e uma testemunha em que a área foi deixada em pousio durante o outono-inverno, e de quatro sistemas de manejo da adubação nitrogenada em cobertura no milho em sucessão. As dessecações da serradela foram realizadas nos dias 01 de setembro e 14 de outubro de 2016, correspondendo, respectivamente, a 56 e 14 dias antes da semeadura do milho. No tratamento pousio, dessecou-se a serradela logo após a emergência, ocorrida em março de 2016. Os sistemas de manejo da adubação nitrogenada no milho constaram da aplicação de duas doses N em cobertura: 100 kg ha⁻¹, aplicada em dose única (estádio V₄ ou V₈), e 200 kg ha⁻¹, parcelada em duas épocas de aplicação, 100 kg ha⁻¹ em V₄ e 100 kg ha⁻¹ em V₈ e 100 kg ha⁻¹ em V₈ e 100 kg ha⁻¹ em V₁₂. Uma testemunha sem aplicação de N foi incluída. As doses e estádios de aplicação de N em cobertura encontram-se discriminados na tabela 2.

As épocas de dessecação da serradela e o tratamento pousio foram locados nas parcelas principais e os sistemas de manejo da adubação nitrogenada nas subparcelas.

TABELA 2. Doses e estádios de aplicação de N em cobertura no milho.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Estádios ¹ / doses (kg ha ⁻¹) de N
100	V ₃ -V ₄
100	V ₇ -V ₈
200	100 V ₃ -V ₄ + 100 V ₇ -V ₈
200	100 V ₇ -V ₈ + 100 V ₁₂

¹ De acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993).

3.3 Manejo e determinações nas coberturas de solo no outono-inverno

No Experimento 1, a semeadura de cornichão e azevém foi realizada em 25 de maio e 10 de julho de 2015, respectivamente, utilizando-se respectivamente, 05 e 40 kg ha⁻¹ de sementes. A semeadura das coberturas de solo foi realizada a lanço (Figura 3). As dessecações do azevém e do cornichão foram realizadas, respectivamente, aos 40 dias e 01 dia antes da semeadura do milho.

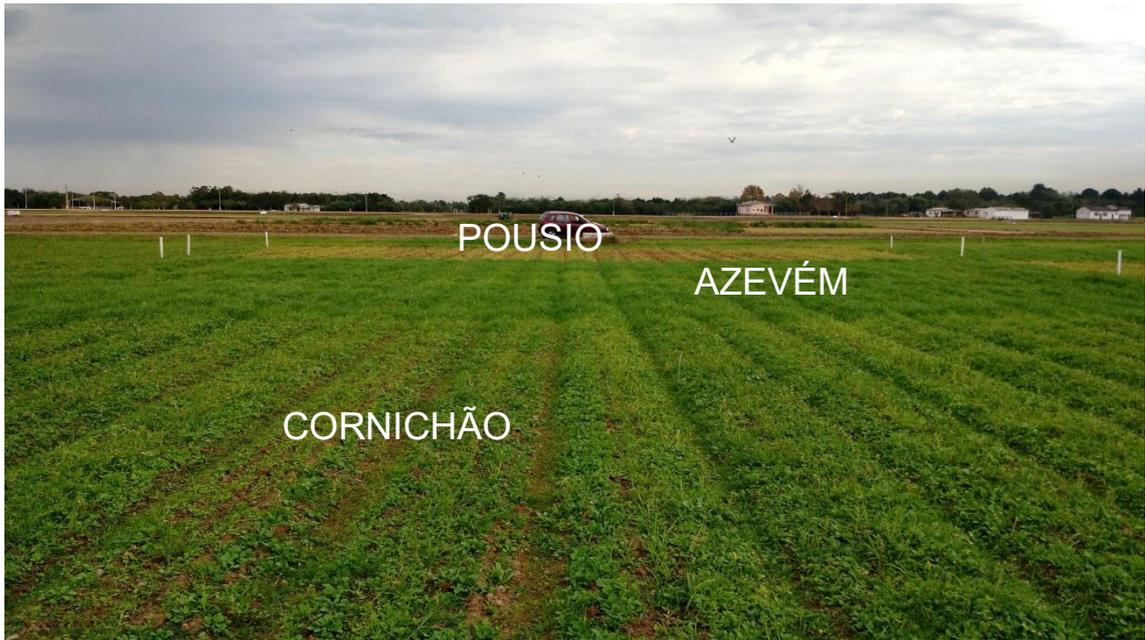


FIGURA 4. Coberturas de solo no outono-inverno de 2015 (Experimento 1).

Já no Experimento 2, a serradela foi dessecada em duas épocas, 01 de setembro e 14 de outubro de 2016, correspondendo, respectivamente, a 56 e 14 dias antes da semeadura do milho, realizada em 28 de outubro de 2016 (Figura 4). Nas parcelas correspondentes ao pousio, as plantas de serradela foram dessecadas logo após sua emergência.

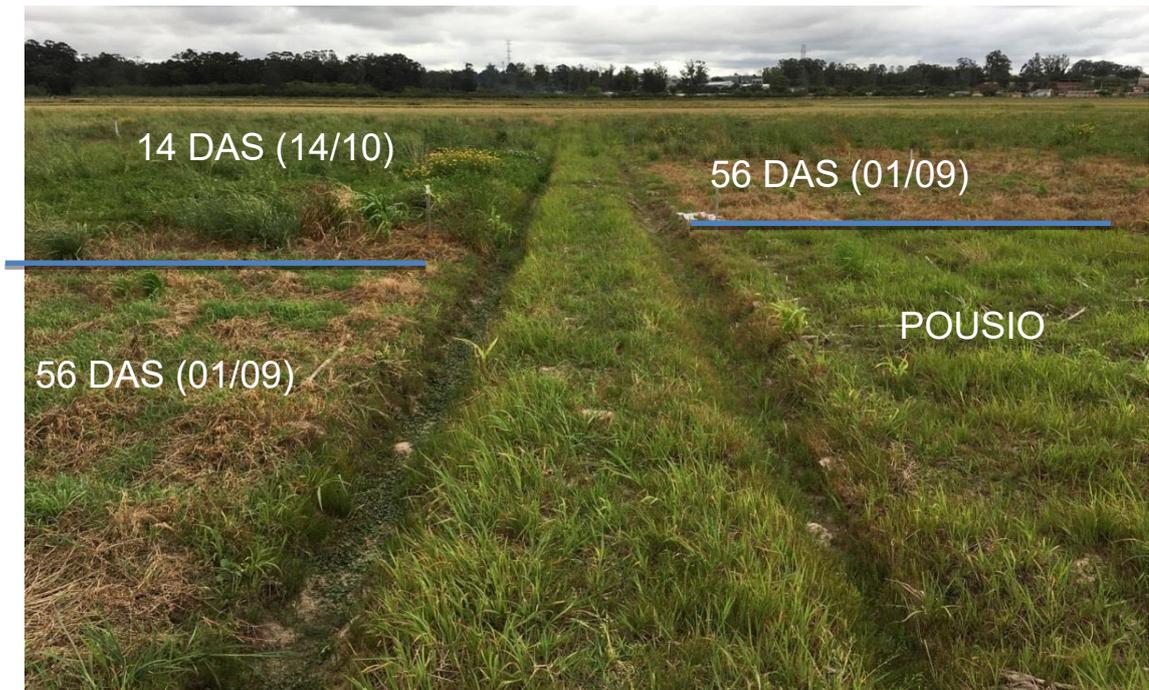


FIGURA 5. Dessecações da serradela nativa realizadas aos 56 e 14 dias antes a semeadura do milho e tratamento pousio, no outono-inverno de 2016 (Experimento 2).

3.4 Manejo e determinações na cultura do milho em sucessão

No Experimento 1, foi utilizado o híbrido simples de milho DKB 240 PRO3, de ciclo simples, da empresa Dekalb Sementes. A semeadura foi realizada em 09 de novembro de 2015, com saraquá. A colheita foi realizada em 07 de março de 2016. Na semeadura foram aplicados 30, 225 e 90 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Parte da adubação potássica foi aplicada em cobertura, sendo 75 kg ha⁻¹ no estágio V₄, junto com a primeira dose de N, e 75 kg ha⁻¹ no estágio V₈, junto com a segunda dose de N.

No Experimento 2, utilizou-se o híbrido simples Pioneer 30F53 VYHR, de ciclo precoce, da Pioneer Sementes. A semeadura foi realizada em 28 de outubro de 2016, com colheita em 14 de março de 2017. Na semeadura foram aplicados 42 kg ha⁻¹ de N, 198 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Parte da adubação potássica foi aplicada em cobertura, sendo 75 kg ha⁻¹ no estágio V₂ e 75 kg ha⁻¹ no estágio V₄.

As determinações realizadas no milho foram:

3.4.1 Diâmetro de colmo

Determinado no estágio R₆ (maturação fisiológica), em cinco plantas por subparcela, com uso do paquímetro. Mediu-se a espessura do colmo entre o primeiro e o segundo entrenós.

3.4.2 Teor relativo de clorofila na folha

Realizou-se a leitura SPAD (Soil Plant Analysis Development) com o clorofilômetro, Konica Minolta/SPAD-502 PLUS. No Experimento 1, as leituras foram realizadas nos estádios V₇ e V₁₀. Já no Experimento 2, a leitura foi realizada apenas no estágio V₇. A medição foi efetuada em três locais na folha, em cinco plantas por subparcela.

3.4.3 Rendimento de massa seca da parte aérea

Para avaliação do rendimento de massa seca, foram coletadas, no espigamento, quatro plantas por subparcela, que foram acondicionadas em estufa, sob temperatura de 60 °C, até atingir peso constante. Este material foi pesado e os valores obtidos foram expressos em Mg ha⁻¹.

3.4.4 Quantidade de N acumulada na parte aérea da planta

Para determinação do N acumulado na parte aérea, as plantas das amostras utilizadas para estimar o rendimento de massa seca foram moídas. Após, fez-se a digestão do tecido com ácido sulfúrico, seguida por destilação por arraste de vapores e titulação, conforme método descrito por *Tedesco et al.* (1995). A quantidade de N acumulada foi obtida através da fórmula: MS x % N, onde: MS significa quantidade de matéria seca e % N é o teor de N obtido através do valor da titulação da amostra. Os valores obtidos foram expressos em kg ha⁻¹.

3.4.5 Senescência foliar

No Experimento 1, a senescência foliar foi avaliada nos estádios R₁, R₂ e R₃. Já no Experimento 2, além desses três estádios, avaliou-se a senescência foliar nos estádios R₄ e R₅. A senescência foliar foi obtida pela razão entre o número de folhas senescentes e o número total de folhas em cinco plantas por subparcela, sendo expressa em porcentagem. Foram consideradas folhas senescentes aquelas que apresentavam menos de 50 % da área da folha verde.

3.4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil da subparcela (10 m²), corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹.

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pela área útil colhida. O peso do grão foi obtido pela contagem manual de 200 grãos de cada unidade experimental, com posterior pesagem e correção de umidade para 130 g kg⁻¹, e dividindo-se a massa obtida por 200. Já o número de grãos por espiga foi calculado, indiretamente, da seguinte forma: obteve-se inicialmente o número de grãos das espigas colhidas na área útil pela razão entre o peso de grãos obtido na área útil e o peso do grão. Após, dividiu-se este valor pela área útil, obtendo-se o número de grãos por metro quadrado. Por fim, o número de grãos por espiga foi obtido pela razão entre o número de grãos por metro quadrado e o número de espigas por metro quadrado.

3.4.7 Eficiência agronômica do uso do nitrogênio (EAN)

A EAN foi calculada pela fórmula proposta por Baligar *et al.* (1990):

$$EAN = (RF - RNF) / QNA$$

Onde RF é o rendimento de grãos dos tratamentos com adubação nitrogenada (kg ha⁻¹), RNF é o rendimento de grãos do tratamento sem adubação nitrogenada e QNA é a

quantidade de N aplicada em cobertura (kg ha^{-1}).

3.5 Análise estatística

Nos dois experimentos, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F nos níveis de significância de $p < 0,05$ para os efeitos principais e de $p < 0,20$ para a interação (Perecin; Cargnelutti Filho, 2008). Quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. Para as variáveis quantitativas avaliadas no Experimento 1, foi realizada a análise de regressão polinomial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão, a apresentação dos resultados será feita separadamente por experimento. Em cada um dos dois experimentos, serão apresentadas as produtividades da parte aérea das coberturas de solo no outono-inverno e, no milho em sucessão, as características relacionadas ao desenvolvimento da planta, aos componentes do rendimento, ao rendimento de grãos e à eficiência do uso do nitrogênio (N) aplicado.

Nos dois experimentos, para todas as características avaliadas, não houve interação dos dois fatores testados (Apêndices 1 e 2), razão pela qual serão apresentados os efeitos principais de cada um dos fatores.

4.1 Experimento 1 – Resposta do milho cultivado em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno à adubação nitrogenada em cobertura, em terras baixas. Ano agrícola, 2015/16.

4.1.1 Rendimento de massa seca das coberturas de solo no outono-inverno

Os rendimentos de massa seca de azevém e cornichão foram de 2,26 e 1,27 Mg ha⁻¹, respectivamente. Segundo a classificação de Amado *et al.* (2002), esses rendimentos podem ser considerados como médio e baixo, respectivamente. Isso se deve ao fato de que a semeadura do azevém e do cornichão terem sido realizadas tardiamente, em 25 de maio e 10 de julho, respectivamente. Em experimento realizado no mesmo solo, Correia *et al.* (2018) obtiveram, na média de três anos, rendimento de massa seca de azevém de 4,77 Mg ha⁻¹.

4.1.2 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta de milho

Para teor relativo de clorofila na folha (estádios V₇ e V₁₀), percentagem de senescência foliar (estádios R₁, R₂ e R₃), diâmetro de colmo, rendimento de massa seca da parte aérea e quantidade de N acumulada pelas plantas de milho no espigamento não houve efeito significativo de coberturas de solo (Tabela 3).

Com o incremento da dose de N em cobertura, o teor relativo de clorofila nos dois estádios avaliados (Figura 6), o diâmetro de colmo (Figura 7), o rendimento de massa seca da parte aérea (Figura 8) e a quantidade de N acumulada (Figura 8) pelas plantas de milho no espigamento aumentaram de forma quadrática, na média de coberturas de solo no outono-inverno. Isso evidencia que as plantas de milho absorveram mais N à medida que se incrementou a dose de N aplicada. Essa alta resposta dessas características ao incremento da dose de N aplicada deve-se ao fato de que o gleissolo utilizado apresentar baixo teor de matéria orgânica e textura arenosa.

Em função da maior absorção de N com o incremento da dose aplicada, observou-se que a percentagem de senescência foliar, avaliada nos estádios R₁, R₂ e R₃, diminuiu de forma quadrática à medida que se incrementou a dose de N aplicada (Figura 10).

TABELA 3. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agrônômica de uso do nitrogênio (EAN) em milho cultivado em sucessão a duas coberturas de solo no outono-inverno e ao pousio, na média de doses de nitrogênio aplicado em cobertura, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

Características do milho	Cobertura de solo no outono-inverno			CV ³ (%)
	Azevém	Cornichão	Pousio	
Teor relativo de clorofila na folha (Leitura SPAD) no estágio V ₇ ¹	50,1 ns ²	49,0	49,3	7,0
Teor relativo de clorofila na folha (Leitura SPAD) no estágio V ₁₀	49,5 ns	49,8	48,3	6,5
Rendimento de massa seca no espigamento (Mg ha ⁻¹)	20,30 ns	21,80	20,50	34,2

continuação TABELA 3. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agrônômica de uso do nitrogênio

(EAN) em milho cultivado em sucessão a duas coberturas de solo no outono-inverno e ao pousio, na média de doses de nitrogênio aplicado em cobertura, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

Quantidade de N acumulada na parte aérea no espigamento (kg ha ⁻¹)	684 ns	706	637	36,1
Senescência – estágio R ₁ (%)	28 ns	25	28	22,3
Senescência – estágio R ₂ (%)	33 ns	30	33	21,7
Senescência – estágio R ₃ (%)	38 ns	34	38	21,6
Diâmetro de colmo (cm)	2,1 ns	2,3	2,2	8,3
Espigas m ² (no.)	7,6 ns	7,8	8,1	14,3
Grãos espiga ⁻¹ (no.)	488 b*	508 ab	519 a	6,5
Peso do grão (mg)	247 ab*	251 a	246 b	1,9
Rendimento de grãos (Mg ha ⁻¹)	9,61 b*	10,35 ab	10,69 a	10,8
EAN (kg de grãos kg ⁻¹ de N aplicado)	30,5 ns	28,5	37,2	55,8

¹De acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993); ²ns-não significativo, a 5 % de probabilidade; ³Coefficiente de variação; ^{*}Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

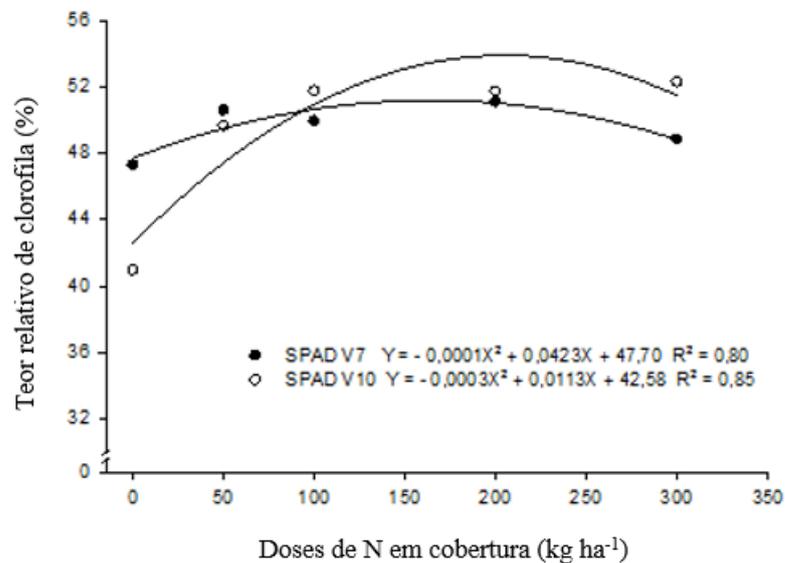


FIGURA 6. Teor relativo de clorofila na folha de milho (Leitura SPAD) nos estádios de desenvolvimento¹ V₇ e V₁₀ em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16. ¹ Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993).

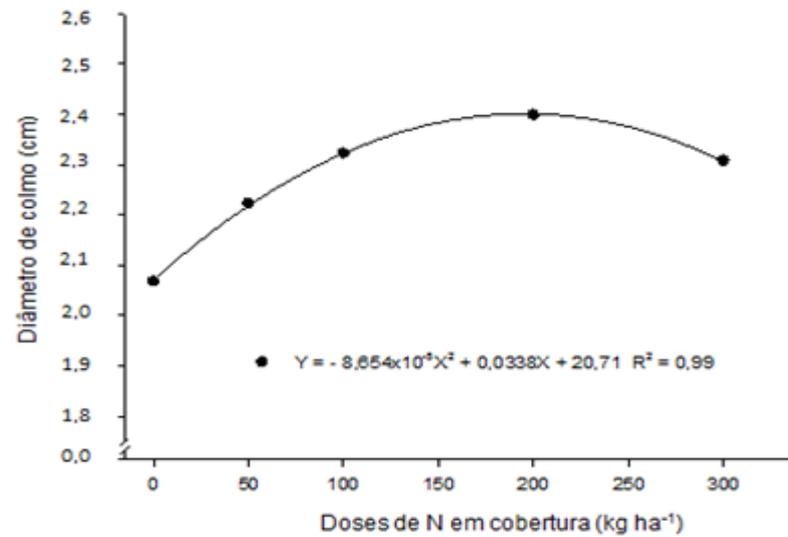


FIGURA 7. Diâmetro de colmo de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

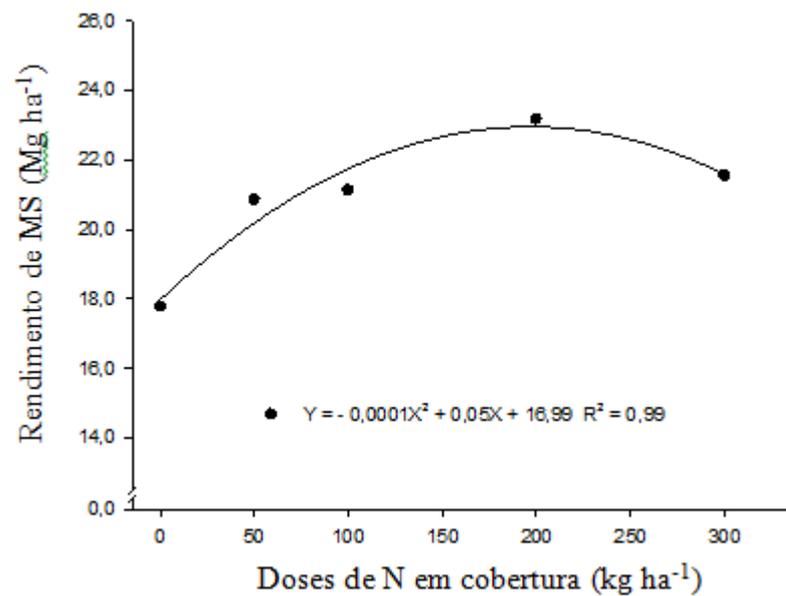


FIGURA 8. Rendimento de massa seca da parte aérea do milho no estágio de espigamento em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

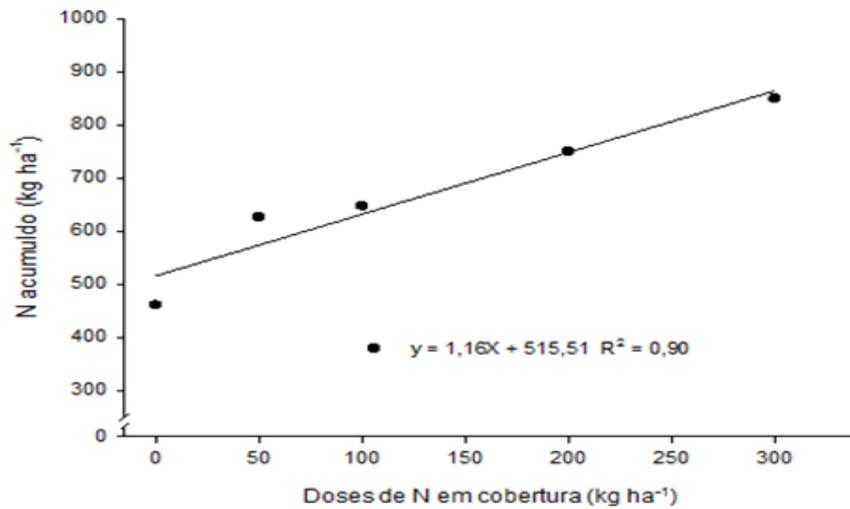


FIGURA 9. Quantidade de N acumulada na parte aérea do milho no estágio de espigamento em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

Para manter a atividade fotossintética das folhas é necessária uma faixa ótima de equilíbrio entre fonte e dreno (Maddoni *et al.*, 2002). Sob estresse por deficiência de N, pode ocorrer um desequilíbrio dessa faixa ótima, ficando abaixo do limite ideal. Assim, ocorre aceleração da senescência foliar devida à remobilização de N das estruturas vegetativas para as reprodutivas.

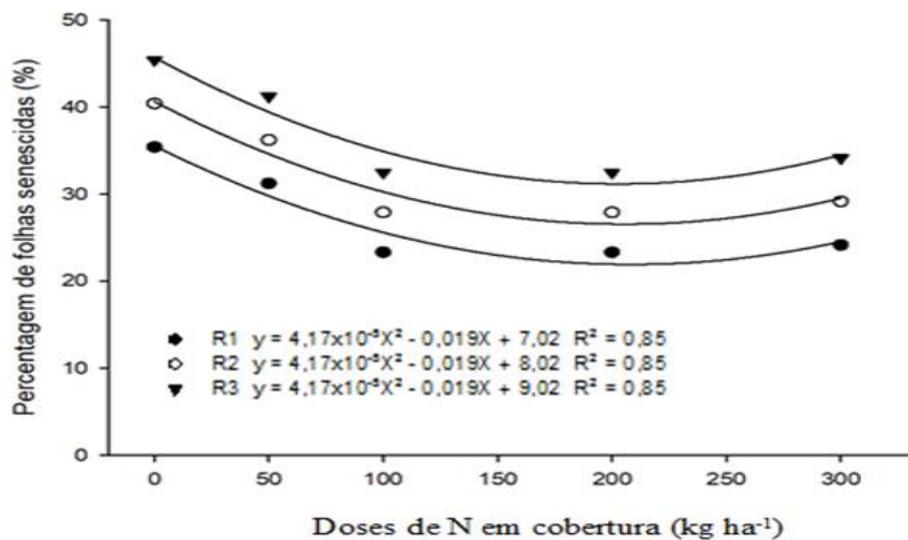


FIGURA 10. Percentagem de senescência foliar no milho nos estádios¹ R₁ e R₂ e R₃ em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura no milho, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16. ¹ Conforme escala de Ritchie *et al.* (1993).

4.1.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

Para o componente do rendimento número de espigas por metro quadrado o efeito simples de coberturas de solo no outono-inverno não foi significativo (Tabela 3). Já os outros dois componentes do rendimento, número de grãos por espiga e peso do grão, foram influenciados pela cobertura de solo. O número de grãos por espiga do milho em sucessão ao pousio e ao cornichão foi, respectivamente, 6,3 e 4,1 % superior ao obtido em sucessão ao azevém. Já o peso do grão, embora tenha havido diferença estatística em função de cobertura de solo, variou muito pouco em função de cobertura de solo no outono-inverno, de 246 a 251 mg.

Com relação ao efeito de doses de N aplicada no milho, observou-se que o número de espigas por metro quadrado não variou com o incremento da dose de N aplicada (Apêndice 1). Já o número de grãos por espiga (Figura 11) e o peso do grão (Figura 12) aumentaram de forma quadrática com o incremento da dose de N.

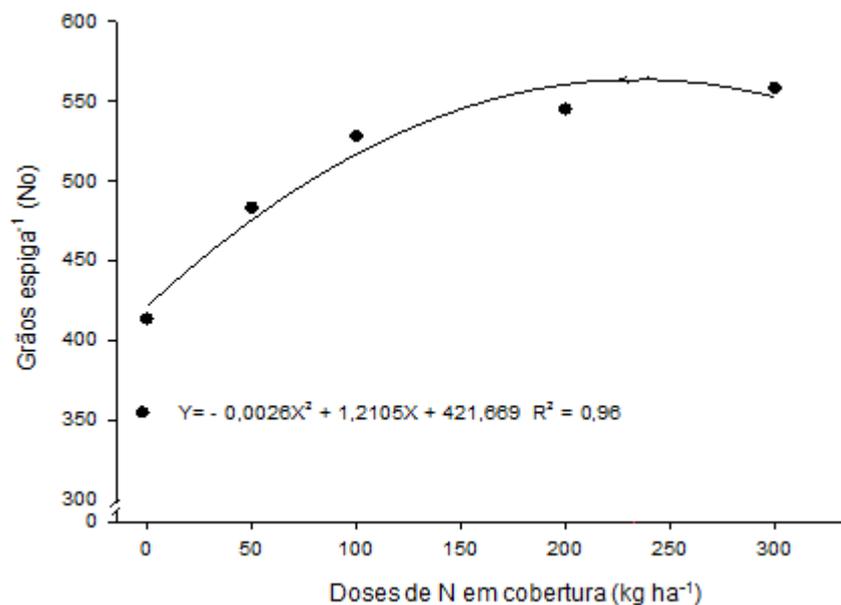


FIGURA 11. Número de grãos por espiga de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

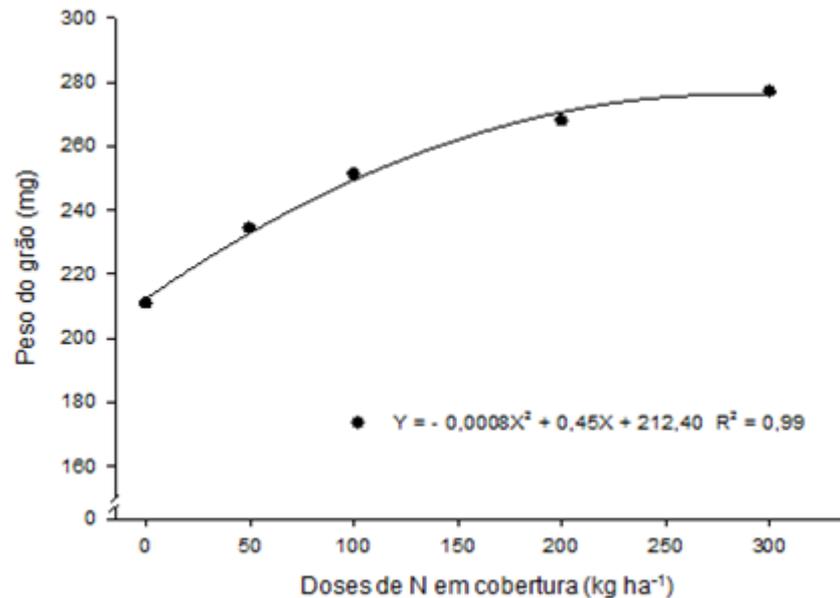


FIGURA 12. Peso do grão de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

Para rendimento de grãos de milho foram significativos os efeitos principais de coberturas de solo e doses de N aplicado no milho. O milho em sucessão ao azevém produziu 7,7 e 11,0 % menos em relação ao seu cultivo em sucessão ao cornichão e ao pousio, respectivamente (Tabela 3). Esse menor rendimento de grãos de milho em sucessão ao azevém esteve associado, principalmente, ao menor número de grãos por espiga, já que o peso do grão foi muito pouco afetado e o número de espigas por metro quadrado não variou em função de cobertura de solo (Tabela 3).

Esse menor rendimento de grãos de milho em sucessão ao azevém pode estar associado à alta relação C/N dos resíduos de azevém. Segundo Aita e Giacomini, (2003), a alta relação C/N de resíduos vegetais pode reduzir a cinética de decomposição e intensificar o processo de imobilização de nutrientes no período que antecede o cultivo de milho. Esta situação pode ser crítica, principalmente se coincidir com estádios fisiológicos de alto requerimento de N e de outros nutrientes pela planta.

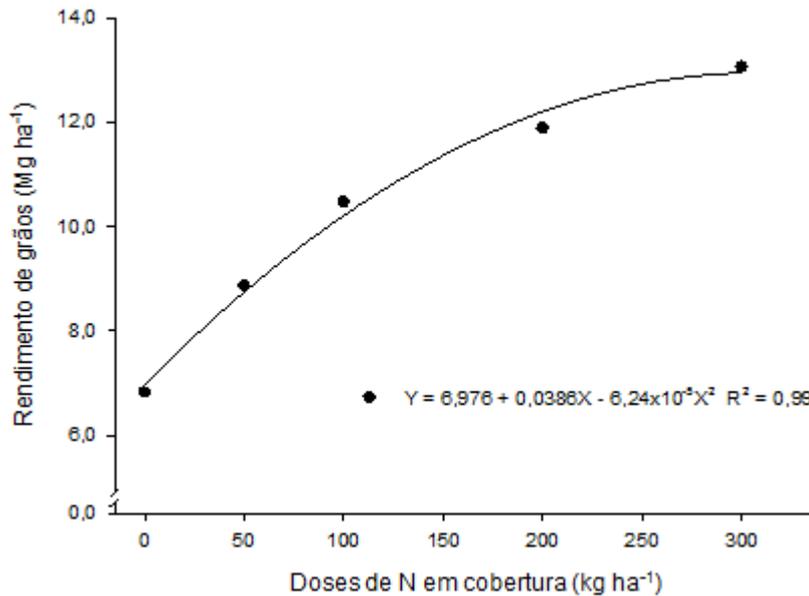


FIGURA 13. Rendimento de grãos de milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

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 disso, a velocidade de liberação de N dos resíduos dessas espécies, como a aveia preta, é lenta apenas 20% do N contido na planta é disponibilizado nas primeiras quatro semanas após seu manejo (Aita; Giacomini, 2003). Isto promove assincronia entre sua disponibilidade no solo e o desenvolvimento inicial da planta de milho.

Em experimento conduzido no mesmo solo com arroz irrigado durante três anos, também foi observada redução do rendimento de grãos de arroz quando em sucessão ao azevém, com alto rendimento de massa seca (4,77 Mg ha⁻¹), em relação à sucessão ao pousio e à serradela nativa (Correia *et al.*, 2018).

Algumas alternativas de manejo vêm sendo estudadas para minimizar essa redução que se verifica no rendimento de grãos de milho em sucessão a espécies poáceas. Dentre estas, destacam-se o aumento da dose de N aplicada na semeadura e o atraso da época de semeadura do milho após a dessecação dessas espécies (Sangoi *et al.*, 2016). Com relação a

esta última estratégia, ela não foi limitante no presente experimento, porquanto a dessecação do azevém ocorreu aos 40 dias antes da semeadura do milho.

O fato de que o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão ao cornichão não tenha sido superior ao obtido em sucessão ao pousio (Tabela 3), pode ser atribuído ao baixo rendimento de massa seca da parte aérea dessa espécie, devido à época tardia de semeadura.

Com o incremento da dose de N aplicada, o rendimento de grãos aumentou de forma quadrática, na média de coberturas de solo no outono-inverno (Figura 13). A resposta do milho à adubação nitrogenada foi alta, variando de 6,80 Mg ha⁻¹, no tratamento sem N em cobertura, a 13,10 Mg ha⁻¹. Esse aumento do rendimento com o incremento da dose de N deveu-se, principalmente, ao aumento do número de grãos por espiga e do peso do grão, já que o número de espigas por metro quadrado não variou em função da dose de N aplicada. Essa alta resposta à adubação nitrogenada deve-se ao fato de que o solo utilizado apresentar baixo teor de matéria orgânica e textura arenosa.

As doses de N recomendadas para a cultura do milho variam em função do teor de matéria orgânica do solo, da expectativa de produtividade, da cultura antecedente e da quantidade de fitomassa por ela produzida (CQFS, 2016). Assim, quanto menor o teor de matéria orgânica do solo maior deverá ser a dose de N utilizada. Quanto maior a expectativa de rendimento de grãos, maior deve ser a dose de N a ser aplicada, já que para cada tonelada de grãos de milho produzida há uma extração de 25 a 28 kg de N (Sangoi *et al.*, 2016).

Já a cultura antecedente influencia tanto as doses de N aplicadas na semeadura quanto as aplicadas em cobertura no milho. Na semeadura, a dose de N aplicada varia de 10 a 30 kg ha⁻¹, dependendo do tipo e da quantidade de resíduos da cultura antecessora (Sangoi *et al.*, 2016). Quando o milho é precedido por espécies da família *Poaceae*, tal como o azevém, recomenda-se aplicar de 20 a 30 kg ha⁻¹ de N. Já em sucessão a espécies da família *Fabaceae*, tais como cornichão e serradela nativa, pode-se reduzir a dose para 10 a 20 kg ha⁻¹ de N,

devido a menor relação C/N deste tipo de resíduo. Doses superiores a 30 kg ha⁻¹ de N não são recomendadas na semeadura, em função da baixa demanda por N da cultura nos seus estádios iniciais e à alta instabilidade do nutriente no solo.

A dose de N a ser aplicada em cobertura também depende da espécie de cobertura de solo e da quantidade de resíduos produzida. No milho em sucessão a resíduos de espécies poáceas há imobilização de N no solo, resultando em menor disponibilidade (Fontoura *et al.*, 2015). Nesse estudo, essa imobilização de N se refletiu numa absorção de 20 kg ha⁻¹ de N menor em comparação ao milho cultivado em solo sob pousio.

Além desses três fatores acima discutidos, a dose de N a ser aplicada na cultura do milho também pode variar com o sistema de rotação de culturas, a finalidade do cultivo e a época de semeadura. Quando o milho é cultivado em rotação com a soja, pode-se reduzir em até 20% a quantidade total de N a ser aplicada. Nos cultivos destinados à produção de grãos, cerca de 35% do total de N extraído pela planta é reaproveitado com a manutenção dos restos culturais na área. Já quando o milho se destina à produção de silagem, a dose de N aplicada em cobertura deve ser aumentada, pois a reciclagem do nutriente absorvido pela planta é muito pequena (Sangoi *et al.*, 2016).

Nas regiões mais quentes do estado do RS, em que se pode cultivar milho numa ampla faixa de época de semeadura, obtém-se maior resposta à adubação nitrogenada e maior eficiência de uso do N aplicado em cobertura na época de semeadura antecipada (agosto) em relação à intermediária (outubro) (Miozzo, 2017). Isso se deve ao fato das plantas apresentarem menor crescimento vegetativo na época de agosto, em função da ocorrência de menores temperaturas do ar. Com isso, há mais N disponível para o enchimento de grãos.

Em terras altas, muitos trabalhos já foram desenvolvidos com o intuito de determinar a resposta do milho à adubação nitrogenada em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno (Sangoi *et al.*, 2016). Em terras baixas, já são disponíveis informações sobre os

efeitos de coberturas de solo no outono-inverno sobre o cultivo do arroz irrigado em sucessão (Correia *et al.*, 2018).

4.1.4 Eficiência agronômica de uso do N aplicado (EAN)

A EAN não variou em função de coberturas do solo (Tabela 3). Com o incremento da dose de N aplicada em cobertura no milho, a quantidade de quilogramas de milho produzida por quilograma de N aplicado diminuiu linearmente (Figura 13). A EAN diminuiu de 42,4 kg kg⁻¹, com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, para 20,8 kg kg⁻¹, com a aplicação da maior dose de N (300 kg ha⁻¹).

O modelo quadrático de resposta da EAN à adubação nitrogenada pode estar relacionado ao fato de que a eficiência de absorção de nutrientes se reduz com altas aplicações de fertilizantes, já que as plantas regulam para baixo seus mecanismos de transporte, absorvendo os nutrientes apenas a taxas suficientes para atender às demandas de crescimento (Fageria *et al.*, 2011). Isso ocorre devido ao fato de que, com menores quantidades de N aplicado, há maior absorção desse nutriente pela planta, diminuindo, assim, as perdas para o ambiente. Esse decréscimo obtido na EAN com o incremento da dose de N no presente experimento está de acordo com a Lei de Mitscherlich, que observou que, quando se aplica doses crescentes de um nutriente, o aumento na produtividade é elevado inicialmente, mas decresce posteriormente (Andrade *et al.*, 2014).

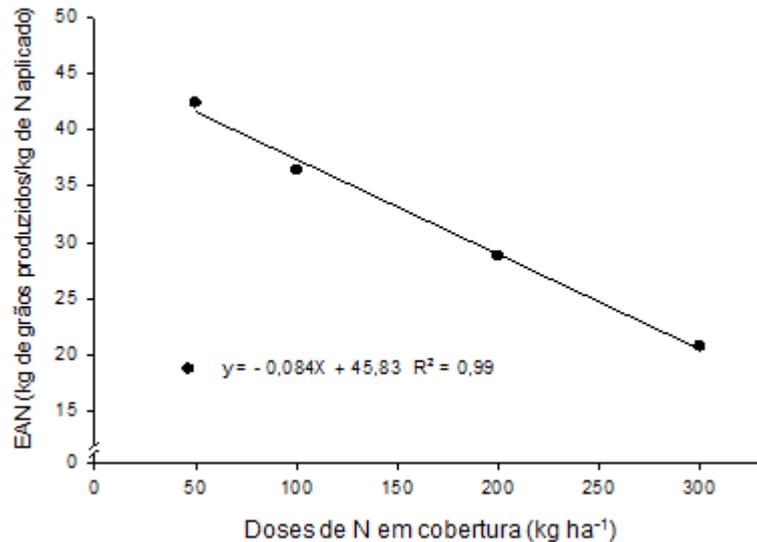


FIGURA 14. Eficiência agrônômica de uso do N (EAN) em milho em função de doses de nitrogênio (N) aplicado em cobertura, na média de duas coberturas de solo no outono-inverno e do pousio, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2015/16.

4.2 Experimento 2 – Manejo da adubação nitrogenada em cobertura no milho em sucessão à serradela nativa em terras baixas. Ano agrícola, 2016/17.

4.2.1 Rendimento de massa seca da serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno

O atraso da época de dessecação da serradela de 56 para 14 dias antes da semeadura do milho aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea em 77,4 %, de 2,34 para 4,31 Mg ha⁻¹. Segundo a classificação de Amado *et al.* (2002), os rendimentos de massa seca da parte aérea passaram de médio para alto (> 3,00 Mg ha⁻¹), conforme ocorreu o atraso da época de dessecação da serradela. Com o atraso da época de dessecação há maior tempo para desenvolvimento da serradela, que cresce a maior taxa quando as temperaturas começam a se elevar em agosto a outubro. Por outro lado, em se tratando de uma espécie de baixa relação C/N, sua dessecação pode ser retardada para muito próximo da semeadura do milho. Em experimento realizado com a cultura do arroz irrigado no mesmo solo, Correia *et al.* (2018) obtiveram, na média de três anos, rendimento de massa seca de serradela de 2,87 Mg ha⁻¹.

Considerando que uma tonelada de massa seca da parte aérea da serradela acumula

cerca de 42 kg de N (Correia *et al.*, 2018), isso significa que, com um rendimento de massa seca de 4,31 Mg ha⁻¹ haveria um acúmulo de uma grande quantidade de N, cerca de 180 kg ha⁻¹, que estaria disponível para o milho em sucessão.

4.2.2 Características relacionadas ao desenvolvimento da planta de milho

Com exceção do teor relativo de clorofila na folha no estágio V₇ e da percentagem de folhas senescentes nos estádios R₃-R₄, as demais características relacionadas ao desenvolvimento da planta rendimento de massa seca, estatura de planta e percentagem de senescência foliar nos estádios (R₁-R₂ e R₄-R₅) não variaram entre épocas de dessecação da serradela como cobertura de solo no outono-inverno e o tratamento pousio (Tabela 4). O teor relativo de clorofila na folha no estágio V₇ foi maior no milho em sucessão à serradela em relação ao em sucessão ao pousio, indicando que houve maior acúmulo de N. Isso se refletiu em menor senescência foliar na avaliação realizada nos estádios R₃-R₄.

TABELA 4. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agrônômica de uso do N (EAN) em milho cultivado em sucessão à serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno, dessecada em duas épocas, e ao pousio, na média de doses e estádios de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura no milho, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2016/17.

Características agrônômicas do milho	Época de dessecação da serradela			CV ³ (%)
	Pousio	56 DAS ²	14 DAS	
Teor relativo de clorofila na folha (Leitura SPAD) - estágio V ₇ ¹	48,0 b*	52,0 a	51,9 ab	7,9
Rendimento de massa seca no espigamento (Mg ha ⁻¹)	22,8 ns ⁴	22,0	24,0	26,0
Quantidade de N acumulada na parte aérea (kg ha ⁻¹)	700 ns	739	700	56
Senescência – estádios R ₁ -R ₂ (%)	29 ns	26	26	15,8
Senescência – estádios R ₃ -R ₄ (%)	41 a	38 ab	37 b	9,3
Senescência – estádios R ₄ -R ₅ (%)	47 ns	43	43	8,9
Espigas m ⁻² (no.)	7,9 ns ²	7,8	7,9	8,4
Grãos espiga ⁻¹ (no.)	372 ns	423	459	24,8

continuação TABELA 4. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência agrônômica de uso do N (EAN) em

milho cultivado em sucessão à serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno, dessecada em duas épocas, e ao pousio, na média de doses e estádios de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura no milho, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2016/17.

Peso do grão (mg)	283 ns	289	293	6,6
Rendimento de grãos (Mg ha ⁻¹)	8,87 b*	9,99 a	10,59 a	10,8
EAN (kg de grãos kg ⁻¹ de N aplicado)	27,50 b	37,32 ab	42,57 a	28,2

¹De acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993); ²Dias antes da semeadura do milho; ³Coefficiente de variação; ⁴ns-não significativo, a 5 % de probabilidade; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Com relação aos efeitos de sistema de manejo da adubação nitrogenada em cobertura, observou-se que o teor relativo de clorofila na folha no estádio V₇ foi maior com a aplicação da maior dose de N (200 kg ha⁻¹), parcelada em duas vezes (Tabela 5). O aumento da dose de N de 100 para 200 kg ha⁻¹ resultou em maiores rendimentos de massa seca da parte aérea no espigamento e estatura de planta. Inversamente, a senescência foliar nos estádios R₁-R₂, R₃-R₄ e R₄-R₅ foi menor com a aplicação da dose mais alta de N (200 kg ha⁻¹).

Com relação aos efeitos de sistema de manejo da adubação nitrogenada em cobertura, as características rendimento de massa seca no espigamento, quantidade de N acumulada na parte aérea do milho e teor relativo de clorofila na folha aumentaram com o incremento da dose de N de 100 para 200 kg ha⁻¹ (Tabela 5). Já a percentagem de senescência foliar, avaliada em três estádios, diminuiu com o aumento da dose de N de 100 para 200 kg ha⁻¹.

TABELA 5. Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, componentes do rendimento, rendimento de grãos e eficiência de uso do nitrogênio (EAN) em milho em função de doses e estádios de aplicação de (N) em cobertura, na média de épocas de dessecção da serradela nativa e do pousio como cobertura de solo no outono-inverno, em um Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2016/17.

Características agronômicas do milho	Dose (kg ha ⁻¹)/estádio ¹ de aplicação de N	CV ² (%)
--------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	---------------------

	100	100	200	200	
	V ₄	V ₈	V ₄ +V ₈	V ₈ +V ₁₂	
Teor relativo de clorofila na folha (Leitura SPAD) no estádio V ₇	51,8 ab*	49,3 b	52,6 a	48,8 b	5,8
Rendimento de massa seca no espigamento (Mg ha ⁻¹)	21,67 ab	20,49 b	23,50 ab	26,28 a	20,0
Quantidade de N acumulada na parte aérea (kg ha ⁻¹)	610 ns	546	771	926	59,1
Senescência – estádio R ₁ -R ₂ (%)	29 a	26 b	27 ab	25 b	9,4
Senescência – estádio R ₃ -R ₄ (%)	45 a	40 b	36 bc	34 c	10,4
Senescência – estádio R ₄ -R ₅ (%)	49 a	46 ab	43 bc	40 c	9,3
Espigas m ⁻² (no.)	7,8 ns ³	7,5	7,9	7,0	7,9
Grãos espiga ⁻¹ (no.)	392 b	410 ab	461 a	410 ab	13,8
Peso do grão (mg)	276 b	277 b	298 a	300 a	3,5
Rendimento de grãos (Mg ha ⁻¹)	8,88 b*	9,13 b	10,55 a	10,68 a	11,3
EAN (kg de grãos kg ⁻¹ de N aplicado)	41,10 a	43,63 a	28,91 b	29,56 b	24,7

¹De acordo com a escala de Ritchie *et al.* (1993); *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); ²Coefficiente de variação; ³não significativo, a 5 % de probabilidade.

4.2.3 Componentes do rendimento e rendimento de grãos

Os três componentes do rendimento não foram influenciados significativamente pela época de dessecação da serradela, na média de sistemas de manejo da adubação nitrogenada no milho em sucessão (Tabela 4). No entanto, observa-se que para número de grãos por espiga e peso do grão de milho houve uma tendência de obtenção de maiores valores numéricos à medida que se atrasou a época de dessecação da serradela em relação ao pousio.

Com relação aos efeitos de sistema de manejo da adubação nitrogenada em cobertura, observou-se que o número de espigas por metro quadrado não variou em função de dose e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 5).

Por sua vez, obteve-se maior número de grãos por espiga com a aplicação da maior dose de N (200 kg ha⁻¹), com metade aplicada em V₄ e metade em V₈. Já o peso do grão foi maior com a aplicação da maior dose de N, independentemente do parcelamento de sua aplicação.

O rendimento médio de grãos de milho obtido no Experimento 2 foi de 9,81 Mg ha⁻¹,

variando de 8,88 a 10,68 Mg ha⁻¹. No tratamento testemunha, sem aplicação de N em cobertura, o rendimento de grãos foi de 4,77 Mg ha⁻¹. Para essas características foram significativos os efeitos principais de época de dessecação da serradela e sistemas de manejo da adubação nitrogenada. Na média de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão à serradela nativa, com dessecações realizadas aos 54 e 14 dias antes da semeadura do milho, aumentou em 12,6 e 19,4 %, respectivamente, em relação ao obtido no tratamento com pousio no outono-inverno (Tabela 4).

Esse maior rendimento de grãos de milho obtido com o atraso da época de dessecação da serradela pode estar associado ao fato de que, por apresentar maior rendimento de massa seca com o atraso da dessecação, a serradela disponibilizou maior quantidade de N para o milho em sucessão. No entanto, devido à baixa relação C/N, a velocidade de liberação de N de resíduos de espécies fabáceas é muito rápida. Em função disto, recomenda-se que a semeadura do milho ocorra num período de tempo inferior a uma semana após o manejo desta cobertura de solo (Aita *et al.*, 2001). Esta recomendação foi observada no presente estudo, pois a segunda época de dessecação da serradela ocorreu aos 14 dias antes da semeadura do milho. Outra vantagem do uso da serradela é a liberação mais lenta do N em relação a dos adubos nitrogenados químicos, representando menor risco de poluição ao ambiente (Amado *et al.*, 2002). O crescimento inicial da serradela é lento quando a temperatura é mais baixa, como no final do outono e inverno. Com o aumento da temperatura a partir de agosto, aumenta a taxa de crescimento dessa cobertura de solo.

Com relação aos efeitos de sistema de manejo da adubação nitrogenada em cobertura, observou-se que não houve diferença no rendimento de grãos quando se aplicou a dose de 100 kg ha⁻¹ de N no estágio V₄ ou V₈ (Tabela 5). Da mesma forma, não houve diferença no rendimento com o parcelamento da aplicação da maior dose de N (200 kg ha⁻¹), metade no

estádio V₄ e metade em V₈ e metade em V₈ e metade em V₁₂.

Observou-se apenas o efeito de doses de N, havendo um aumento de 18 % no rendimento de grãos quando se aumentou a dose de N de 100 para 200 kg ha⁻¹, independentemente de parcelamento e/ou época de aplicação de N (Tabela 5). Esse maior rendimento de grãos obtido com a aplicação da maior dose de N (200 kg ha⁻¹) deveu-se aos maiores números de grãos por espiga e peso do grão obtido, já que o número de espigas por metro quadrado não foi alterado.

O teor relativo de clorofila na folha no estágio V₇ (Tabela 4) foi maior no milho após serradela em relação ao pousio, indicando que a serradela disponibilizou N para o milho. Em consequência, a senescência foliar no milho nos estádios R₃-R₄, foi menor quando se tinha a serradela como cobertura de solo em relação ao pousio. A serradela, por ser uma leguminosa, estabelece simbiose com bactérias fixadoras de N. Isto pode beneficiar o milho e outras culturas de sequeiro cultivadas em sucessão pelo aporte de N, principalmente em solos de terras baixas que têm, em sua maioria, baixo teor de matéria orgânica. Com isto, poderá haver redução na dose de N a ser aplicada, com diminuição 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 (Silva *et al.*, 2017).

Os benefícios da utilização da serradela como cobertura de solo no outono-inverno também foram verificados em arroz irrigado, em experimento conduzido durante três anos (Correia *et al.*, 2018). Neste estudo, verificou-se que as doses de máxima eficiência técnica da aplicação de nitrogênio em cobertura foram de 88 e 124 kg ha⁻¹, respectivamente em sucessão à serradela e ao pousio. Sem aplicação de N em cobertura, o rendimento de grãos de arroz irrigado aumentou de 5.960 kg ha⁻¹, em sucessão ao pousio, para 8.150 kg ha⁻¹, em

sucessão à serradela.

4.2.4 Eficiência agronômica de uso do N aplicado (EAN)

Na média de sistemas de manejo da adubação nitrogenada, a EAN no milho cultivado em sucessão à serradela nativa, com dessecações realizadas aos 56 e 14 dias antes da semeadura do milho, aumentou em 36 % e 55 %, respectivamente, em relação ao obtido no tratamento com pousio no outono-inverno (Tabela 4). Essa maior eficiência de uso do N no milho à medida que se atrasou a época de dessecação da serradela, deve-se ao seu maior acúmulo de massa seca com o atraso da dessecação. Com isso, foi disponibilizada maior quantidade de N para o milho em sucessão, resultando em maior rendimento de grãos.

Com relação aos efeitos de sistema de manejo da adubação nitrogenada em cobertura, observou-se que a EAN diminuiu quando se aumentou a dose de 100 para 200 kg ha⁻¹ (Tabela 5). De outra parte, a época de aplicação (V₄ ou V₈) da menor dose não afetou a EAN, assim como o parcelamento da maior dose (200 kg ha⁻¹). Esse decréscimo da EAN com o incremento da dose de N aplicada está de acordo com a lei de Mitcherlich. Segundo essa lei, quando se aplicam doses crescentes de um nutriente, o aumento no rendimento é elevado inicialmente, mas decresce posteriormente (Andrade *et al.*, 2014).

5 CONCLUSÕES

A presença de azevém como cobertura de solo no outono-inverno diminui o rendimento de grãos de milho em relação ao seu cultivo em sucessão ao cornichão e ao pousio.

O cultivo de serradela nativa como cobertura de solo no outono-inverno é uma estratégia eficiente para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência agronômica de uso do nitrogênio aplicado em cobertura no milho em sucessão, especialmente quando dessecada mais próxima da semeadura do milho.

A eficiência agronômica de uso do N pelo milho diminui com o incremento da dose aplicada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDIN, O.A. et al. Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). **European Journal of Agronomy**, Montrouge Cedex, v.12, p.93–102, 2000.
- 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.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.27, n.4, p. 601-612, 2003.
- AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.25, p. 157-165, 2001.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura de solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.241–248, 2002.
- ANDRADE, F. R. et al. Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias/amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, Lavras, v. 57, n. 4, p.358-366, dez. 2014.
- BAYER, C. et al. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: MANEJO e fertilidade de solos em plantio direto. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. p.161-188
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul**. 11.ed. [S.l.], 2016. 376 p.
- CORREIA, S. L et al. Performance of flooded rice grown in succession to winter cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p.1-11, 2018.
- CORREIA, S.L. et al. Resposta do arroz em sucessão à serradela nativa à adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9., 2015, Pelotas. **Anais**. Pelotas, 2015.
- EMATER. **Safra de verão 2016/17 Estimativa de produção**. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_07032017.pdf. Porto Alegre, 2017. Acesso em: 20 ago.2018.

EVANYLO, G.K. Dryland corn response to tillage and nitrogen fertilization. I. Growth-yield-N relationships. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, p.137-170, 1990.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Corn. In: FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. (Eds.). **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3. ed. Madison: Marcel Decker, 2011. p. 313-342.

FONTOURA, S. et al. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. [2016]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 12 set. 2016.

MAASS, M. B. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho cultivados num Gleissolo em função de métodos de irrigação**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MADDONI, G. A. et al. Maize leaves turn away from neighbors. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 130, p.1181-1189, 2002.

MARAFON, A. et al. Integração de práticas de manejo para diferentes expectativas de rendimento de grãos de milho cultivado em área de arroz irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves, 2016.

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, 2011.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10)

MENEGATI, G. B. et.al. Adequação da Densidade de Plantas de Híbridos de Milho à Disponibilidade Hídrica e à Época de Semeadura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais**. Águas de Lindóia, 2012. 1813 p.

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

MIOZZO, L.C. **Época de semeadura e fertilizantes nitrogenados estabilizados como estratégias para aumentar a eficiência de uso de nitrogênio em milho**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

- PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.
- MORAIS, F. A. et al. Propriedades físicas do solo após cultivos de arroz irrigado em sucessão à serradela nativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 35, 2015, Natal. **Anais**. Natal, 2015.
- REEVES, D.W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. (Eds.). **Crops residue management**. Florida: Lewis, 1994. p.125-172. (Advances in Soil Science)
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DA PESQUISA DO MILHO. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2017/2018 e 2018/2019**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- RITCHIE, S.W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26 p. (Special Report, v. 48)
- RODRIGUES, J.F. **Manejo da água na cultura do milho em Gleissolo Háplico distrófico típico**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- RODRIGUES, J.F. et al. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferentes manejos de irrigação e drenagem. **Irriga**, Botucatu, v. 1, p. 274-290, 2016.
- SANGOI, L. et al. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87p.
- SANGOI, L. et al. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.11, n.3, p.268-277, 2012.
- SANGOI, L. et al. **Estratégias de manejo da adubação nitrogenada em milho na região sul do Brasil**. Lages, SC: Graphel, 2016. 119 p.
- SHIPLEY, P. R.; MEISINGER, J.J.; DECLER, A.M. Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.869-876, 1992.
- SILVA, B.T.C. et al. Resposta do milho cultivado em terras baixas à duração do período de deficiência hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 10., 2017, Gramado. **Anais**. Gramado, 2017.
- SILVA, P.R.F.; MARCHESAN, E.; SCHOENFELD, R. Rotação e sucessão de culturas em áreas de arroz irrigado. In: EMYGDIO, B.M.; ROSA, A.P.S.A; OLIVEIRA, A.C.B. de (Ed.Téc.). **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.267-284.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado:** Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 2016. 200 p.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 819 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 175p (Boletim técnico, 5).

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

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Quadrados médios obtidos no Experimento 1 para rendimento de grãos, componentes do rendimento, características associadas ao desenvolvimento da planta e eficiência agrônômica de uso de nitrogênio pelo milho. Cachoeirinha-RS, 2015/16

Fontes de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m ²	Grãos espiga ⁻¹	Peso do grão	N acumulado em R1	Diâmetro de colmo
Parcela principal							
Blocos	3						
Cobertura (c)	2	6,07035 *	152,702 ns	5144,75987 *	0,00014 *	25127,645 ns	9,85218 ns
Resíduo (a)	9	120,611	126,663	1077,66842	0,00002	59385,47154	3,55072
Subparcela							
Nitrogênio (N)	4	72,83157 **	224,682 ns	41359,88945 **	0,00844 **	281598,52393 **	18,97942 **
C x N	8	1,72371 ns	166,862 ns	989,22564 ns	0,00015 ns	67698,87083 ns	2,18900 ns
Resíduo (b)	36	158,011	106,672	1520,51564	0,00008	45921,64977	3,75691
CV ¹ Coberturas (%)		10,75	14,29	6,49	1,92	36,07	8,32
CV Doses de N (%)		12,3	13,12	7,71	3,69	31,71	8,56

¹CV: Coeficiente de Variação. ns: não significativo. * Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

continuação APÊNDICE 1. Quadrados médios obtidos no Experimento 1 para rendimento de grãos, componentes do rendimento, características associadas ao desenvolvimento da planta e eficiência agrônômica de uso de nitrogênio pelo milho. Cachoeirinha-RS, 2015/16

Senescência R1	Senescência R2	Senescência R3	Spad V7	Spad V10	Massa seca	EAN	
						GL	
0,006125 ns	0,008292 ns	0,010792 ns	6,58767 ns	11,64559 ns	13550997,3597 ns	2	335,66968 ns
0,003792	0,004958	0,006458	12,1274	10,10091	50935501,9	9	321,0442
0,036771 **	0,038917 **	0,041187 **	27,50738 **	270,76118 **	46027382,5026 **	3	1058,21840 **
0,000865 ns	0,001260 ns	0,001781 ns	11,97271 ns	16,28413 ns	7681300,85333 ns	6	133,35297 ns
0,002472	0,003174	0,004	5,52331	23,4728	8422058,265	27	224,32415
22,39	21,77	21,62	7,03	6,45	34,15		55,79
18,08	17,42	17,01	4,74	9,84	13,89		46,64

¹CV: Coeficiente de Variação. ns: não significativo.* Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

APÊNDICE 2. Quadrados médios obtidos no Experimento 2 para rendimento de grãos, componentes do rendimento, características associadas ao desenvolvimento da planta e eficiência agrônômica de uso de nitrogênio pelo milho. Cachoeirinha-RS, 2016/17

Fontes de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m ⁻²	Grãos espiga ⁻¹	Peso do grão	N acumulado em R1
Parcela principal						
Blocos	3					
Época (E)	2	12,31197 **	0,33927 ns	30195,02083 ns	417,58333 ns	7853 ns
Resíduo (a)	9	113,149	0,43404	10740,24306	357,17361	158340
Subparcela						
Nitrogênio (N)	4	10,55009 **	0,45632 ns	10524,07639 *	2074,68750 **	349116 ns
E x N	8	1,18084 ns	0,42979 ns	4440,82639 ns	117,00000 ns	210961 ns
Resíduo (b)	36	1,22876	0,37684	3306,40972	101,11806	177539
CV ¹ Época de dessecação (%)		10,84	8,44	24,79	6,56	55,78
CV Sistemas de manejo do N (%)		11,30	7,86	13,75	3,49	59,06

¹CV: Coeficiente de Variação. ns: não significativo.* Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

continuação APÊNDICE 2. Quadrados médios obtidos no Experimento 2 para rendimento de grãos, componentes do rendimento, características associadas ao desenvolvimento da planta e eficiência agrônômica de uso de nitrogênio pelo milho. Cachoeirinha-RS, 2016/17

Senescência R1-R2	Senescência R3-R4	Senescência R4-R5	Spad V7	Massa seca	EAN	
					GL	
1,21333 ns	2.27083 *	3,68083 *	84,41392 *	15,23897 ns	2	936,11 *
0,69333	0,52083	0,85417	15,86479	35,62521	9	102,56
2,17111 **	10,68750 **	7,86750 **	40,86449 **	76,27921 *	3	702,8 **
0,11111 ns	0,77083 ns	0,40417 ns	8,58396 ns	28,03631 ns	6	166,29 ns
0,28963	0,65046	0,62972	8,59532	21,19356	27	78,27
5,74	5,88	8,27	7,86	25,97		28,28
3,71	6,57	7,10	5,79	20,03		24,71

¹CV: Coeficiente de Variação. ns: não significativo.* Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.