

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

**RESPOSTAS DE SOLO E PLANTA AO USO DE LEGUMINOSA HIBERNAL
NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO COM SEMEADURA DIRETA**

**Adriano Vilmar Garcia
(Dissertação de Mestrado)**

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

**RESPOSTAS DE SOLO E PLANTA AO USO DE LEGUMINOSA HIBERNAL
NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO COM SEMEADURA DIRETA**

ADRIANO VILMAR GARCIA
Engenheiro-Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um
dos requisitos à obtenção do Grau
de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2020

CIP - Catalogação na Publicação

GARCIA, ADRIANO VILMAR
RESPOSTAS DE SOLO E PLANTA AO USO DE LEGUMINOSA
HIBERNAL NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO EM SEMEADURA
DIRETA / ADRIANO VILMAR GARCIA. -- 2020.
66 f.
Orientadora: AMANDA POSSELT MARTINS.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. MANEJO CONSERVACIONISTA. 2. TERRAS BAIXAS . 3.
SOLUÇÃO DO SOLO. 4. ARROZ IRRIGADO. I. POSSELT
MARTINS, AMANDA, orient. II. Título.

ADRIANO VILMAR GARCIA
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

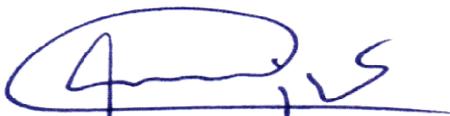
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

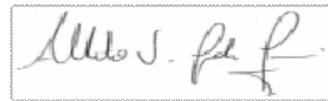
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 25/03/2020
Pela Banca Examinadora



AMANDA POSSELT MARTINS
Orientadora-PPG Ciência do Solo

Homologado em: 17/02/2021
Por



ALBERTO VASCONCELLOS INDA JR
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo

TALES TIECHER
PPG Ciência do Solo/UFRGS
(através de videoconferência/Skype)

IBANOR ANGHINONI
IRGA
(através de videoconferência/Skype)

FILIPE SELAU CARLOS
UFPel
(através de videoconferência/Skype)



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade
de Agronomia

"The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason for existing. One cannot help but be in awe when one contemplates the mysteries of eternity, of life, of the marvelous structure of reality. It is enough if one tries to comprehend only a little of this mystery every day."

Albert Einstein

*Dedico à minha mãe e ao meu pai,
Célia e Antônio.*

AGRADECIMENTOS

À minha família e à minha namorada, pelo apoio e incentivo que me dispensaram durante todo o período de desenvolvimento e execução deste trabalho e pela paciência dispensada nos momentos em que não pude estar presente.

À professora Amanda Posselt Martins, minha orientadora, pela dedicação em contribuir para a minha formação e pela inspiração como profissional.

Ao Centro Tecnológico Integrar/AgriNova, por ceder a área para condução do experimento, além de todo o suporte técnico e pessoal para a elaboração deste trabalho.

Ao pesquisador Felipe de Campos Carmona, pela pareceria e motivação em elaborar experimentos que aproximam a pesquisa com os produtores.

Aos professores do PPGCS da UFRGS, pelas contribuições que proporcionaram o meu crescimento acadêmico.

Aos servidores da Faculdade de Agronomia, principalmente ao Seu Zé e ao Jader, que contribuíram nos processos necessários para a conclusão deste trabalho e do curso sempre com prestatividade.

Ao Adão e à Mônica, pela paciência e “puxões de orelhas” que me capacitaram a operar em um laboratório, dessa maneira me tornando um profissional responsável e cuidadoso com meu ambiente de trabalho, além da pareceria e boas conversas.

Aos colegas e amigos que fiz neste Programa, pela ajuda, parceria e alegria que me proporcionaram.

Aos alunos de Iniciação Científica Luciano, Bruno, Matheus, Tainá, Jennifer, Maurício, Bruna e Jerusa, que sempre se dispuseram em ajudar no campo e em laboratório e sempre compartilharam suas boas energias e seus questionamentos.

Ao Departamento de Solos, em nome da Faculdade de Agronomia e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela estrutura e recursos que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho e da realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

RESPOSTAS DE SOLO E PLANTA AO USO DE LEGUMINOSA HIBERNAL NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO EM SEMEADURA DIRETA¹

Autor: Adriano Vilmar Garcia

Orientadora: Prof^a. Amanda Posselt Martins

RESUMO

O cultivo de leguminosas hibernais, além de fixar nitrogênio (N), o cicla para a cultura sucessora de verão, podendo aumentar os teores deste nutriente na solução solo e podendo afetar a produtividade das plantas. No entanto, não há recomendações distintas de adubação nitrogenada para arroz irrigado em sistemas que possuem cobertura hiberna com leguminosas. Com o objetivo de avaliar este efeito em um Planossolo Háplico, com cultivo de arroz irrigado no verão sob diferentes doses de adubação nitrogenada, foi conduzido o presente trabalho. Este, realizou-se no primeiro ano de um ensaio a campo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova, localizado no município de Capivari do Sul, RS. Os sistemas avaliados foram o de cultivo com pousio no inverno e revolvimento do solo para preparo da área pré-semeadura da lavoura de arroz e o de cultivo com semeadura direta do arroz, após dessecação de leguminosa hiberna (trevo persa). Ambos sistemas foram testados com 0, 50, 100, 150 e 200 kg N ha⁻¹ para o arroz, na forma de ureia. Avaliou-se o teor de N na solução do solo em diferentes profundidades durante o ciclo do arroz irrigado, e a produção de massa seca da parte aérea, o teor de N na massa seca da parte aérea e o rendimento de grãos do arroz irrigado. Os resultados demonstraram que ocorrem maiores teores de N mineral na solução do solo durante o ciclo do arroz irrigado, com incremento de 3,35 mg N L⁻¹, na média entre as semanas de alagamento do arroz, quando este é cultivado em semeadura direta com cultivo de trevo persa no inverno. O efeito da dose de N ha⁻¹ no teor de N na solução do solo foi linear e positivo com a dose aplicada ($R^2 = 0,95$). Da mesma maneira, na solução do solo quando arroz foi cultivado com semeadura direta e com cobertura hiberna de trevo persa, ocorreu uma diminuição do pH de, em média, 0,3 unidades, e um aumento da condutividade elétrica de, em média, 0,15 dS m⁻¹. Em relação aos resultados de planta do arroz irrigado, o cultivo do trevo persa no inverno, associado à semeadura direta, aumentou a produção de massa seca da parte aérea em 1,7 Mg ha⁻¹ e, de grãos, em 0,5 Mg ha⁻¹. Desta maneira, a semeadura direta e a cobertura hiberna com trevo persa demonstram ser alternativas viáveis de manejo conservacionista para solos parra o ambiente de terras baixas, que pode resultar em incremento econômico via produção de grãos e aumento no teor de N mineral na solução do solo.

Palavras-chave: Solução do solo, teor de nitrogênio mineral, manejo conservacionista, trevo persa.

¹Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (62p.) março, 2020.

SOIL AND PLANT RESPONSES TO USE OF HIBERNAL LEGUMINOUS IN THE CULTIVATION OF IRRIGATED RICE IN NO-TILLAGE²

Author: Adriano Vilmar Garcia

Adviser: Prof. Amanda Posselt Martins

ABSTRACT

The cultivation of winter legumes, besides of fixing nitrogen (N), cicly it and helps to prepare the soil for the next summer crop. This practice is can be able to increase the contents of this nutrient in the soil solution and may increase plant productivity. However, there are no different recommendations for N fertilization for irrigated rice in systems that have overwintering with legumes. The present work was carried out in order to evaluate the effect different doses of nitrogen in the fertilization of summer irrigated rice cultivation in a Molisoil. The experiment was made in a first year of an experimental field in the Technological Center Integrar/Agrinova, located in the municipality of Capivari do Sul, Rio Grande do Sul - Brazil. Two systems were evaluated, the first was the cultivation with fallow and tillage to prepare pre-sowing area of the rice crop and the second was with winter legume (Persian clover – *Trifolium resupinatum*) and cultivation of rice crop with no-tillage. Both systems were tested with 0, 50, 100, 150 and 200 kg of N ha⁻¹ for the rice crop in the form of urea. Some of the most relevant analysis made were the content of N (Kjeldahl semi-micro haul distillation) in the soil solution during the cycle of irrigated rice, shoot dry matter production, the content of N in the shoot dry matter and irrigated rice yield. The results showed that when the irrigated rice crop is cultivated in no-tillage area and with persian clover in winter, there is a greater content of N mineral in the soil solution comparing with the fallow and tillage soil management method. There was found that the concentration of N increased 3,35 mg L⁻¹ in the average in the collects of soil solution during the cycle. The effect of the doses (kg N ha⁻¹) in the N mineral in soil solution was linear and positive with the applied dose ($R^2 = 0.95$). Also, in these areas there was decrease in pH of 0.3 units, and an increase in electrical conductivity, 0.15 dS m⁻¹. In relation to plant results of irrigated rice, the cultivation of persian clover in winter associated with no-tillage has increased the shoot dry matter in 1.7 Mg ha⁻¹ and also increased the yield in 0.5 Mg ha⁻¹ comparing with the fallow and tillage soil management method. In this way, no-tillage and persian clover have proven to be a viable alternative for soil conservation management for lowland soil, which results in an economic increase via yield and increase of the contents of mineral N in soil solution.

Keywords: Soil solution, content of mineral nitrogen, no-tillage, persian clover.

² Masters Dissertation in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (62p.) March, 2020.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O atual modelo de produção de arroz irrigado no Brasil e no mundo.....	4
2.2 Alternativas de manejo no sistema de produção do arroz irrigado	7
2.2.1 Semeadura direta.....	7
2.2.2 Leguminosas hibernais.....	10
2.3 O ciclo do N em condições reduzidas do cultivo de arroz irrigado e as mudanças ocasionadas pelo manejo conservacionista do solo	11
2.4 Características eletroquímicas da solução do solo em terras baixas	13
3. HIPÓTESE	15
4. OBJETIVOS.....	16
5. MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1 Histórico e caracterização da área experimental.....	17
5.2 Protocolo e delineamento da área experimental.....	19
5.3 Fase experimental	21
5.3.1 Sistemas testados.....	21
5.3.2 Amostragens.....	24
5.3.3 Análise estatística.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.1 pH e condutividade elétrica do solo durante o alagamento do arroz	27
6.2 Teor de N mineral na solução do solo	32
6.3 Produção de MSPA e de grãos de arroz irrigado	36
7. CONCLUSÕES	43
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Descrição espaço-temporal dos sistemas de produção no ambiente total da área de estudo (Centro Tecnológico Integrar-Agrinova), Capivari do Sul, 2018.....	19
Tabela 2. Características químicas iniciais do Planossolo Háplico da área de estudo (Centro Tecnológico Integrar-Agrinova), Capivari do Sul, RS - 2018....	20
Tabela 3. Quadro resultante da análise de variância para os valores de pH e CE na solução do solo em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova em Capivari do Sul, RS- 2018/2019.	28

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1.** Aspecto da área durante o inverno com (A) pousio previamente ao preparo do solo e (B) trevo persa da área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova22
- Figura 2.** Abertura do orifício (A) para instalação do coletor de solução do solo a campo (B) na área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.23
- Figura 3.** (A) Detalhe da lavoura de arroz com as plantas em estágio V3, momento da aplicação das doses de N e (B) detalhe das parcelas com doses de N e plantas de arroz em estágio V5, inseridas dentro de uma das parcelas do experimento no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.....24
- Figura 4.** Detalhamento da metodologia de coleta de solução do solo na área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.....24
- Figura 5.** pH da solução do solo nas três profundidades de coleta, nos diferentes sistemas testados e nas médias das doses testadas (a) e pH da solução do solo nas três profundidades de coleta nas diferentes doses de N (kg N ha^{-1}) via ureia testadas em arroz irrigado, nas médias dos sistemas testados (b), independentemente das semanas de alagamento do arroz, em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.....29
- Figura 6.** CE na solução do solo nas nove primeiras semanas após o alagamento do arroz nos dois sistemas de manejo hibernal testados, independentemente da dose de N aplicada em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova31
- Figura 7.** Teor de N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) da solução do solo nos dois sistemas de manejo hibernal testados, independentemente das doses de N em arroz irrigado e da profundidade de coleta durante as nove semanas de avaliação em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.33

Figura 8. N mineral total $[\text{NH}_4^+ + (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)]$ na solução do solo correspondente as doses de N (kg ha^{-1}), independentemente do sistema de manejo de inverno e da profundidade de coleta, durante as nove semanas de coleta avaliação em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	34
Figura 9. Teor de N mineral total $[\text{NH}_4^+ + (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)]$ na solução do solo vs. dose de N aplicada nos dois sistemas de manejo testados, independentemente da semana de alagamento em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	35
Figura 10. Massa seca da parte aérea (MSPA) em função da dose de N aplicada no arroz irrigado no estádio V3 para os dois sistemas de manejo hibernal testados em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova	37
Figura 11. Relação entre a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) com o teor de N contido na MSPA (g kg^{-1}) do arroz em diferentes sistemas de manejo hibernal em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	38
Figura 12. Produtividade de grãos com casca (13% umidade) vs. dose de N aplicada no arroz irrigado no estádio V3 para os dois sistemas de manejo hibernal testados em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	39
Figura 13. Produtividade de grãos com casca (13% umidade) vs. dose de N aplicada no arroz irrigado no estádio V3 para os dois sistemas de manejo hibernal testados em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	40
Figura 14. Regressão linear entre o teor de N mineral (mg L^{-1}) na solução do solo vs. a produtividade de grãos com casca de arroz irrigado, independente do sistema hibernal testado em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova.	41

Figura 15. Modelo de resposta do solo ao cultivo de plantas leguminosas e em sistemas sem cobertura vegetal no inverno.....42

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

CO – Carbono Orgânico

CE – Condutividade Elétrica

MO – Matéria Orgânica

C – Carbono

N – Nitrogênio

C:N – Relação Carbono:Nitrogênio

K – Potássio

P – Fósforo

SD – Semeadura Direta

SAA – Semanas após o alagamento do arroz

1. INTRODUÇÃO

Usado na alimentação de mais de 2,5 bilhões de pessoas, o arroz (*Oryza sativa*) é um dos alimentos mais consumidos no mundo. Apesar do consumo per capita de arroz ter caído nos últimos anos, o aumento da população mundial exige maiores patamares produtivos. O principal entrave produtivo do arroz é dado ao uso intensivo do solo para seu cultivo levando a uma alta dependência de insumos agrícolas, que por sua vez, elevam o preço da lavoura ao produtor e estreitam o rendimento econômico extraído da venda do arroz. Neste sentido, a pesquisa é responsável por conduzir experimentos para que se alcance o potencial produtivo de arroz, sem que ocorra o aumento no uso de insumos, agrotóxicos e exploração de novas áreas, aliando a maior preservação de solos e do ambiente em que o arroz está inserido. Logo, garantindo a produção mais eficiente de arroz, nos quesitos ambientais e econômicos, para que possa abranger a demanda nacional e mundial.

No Brasil, inicialmente, a produção de arroz era majoritariamente de sequeiro, sendo cultivado em terras altas. Devido à baixa produtividade nestes ambientes, o arroz foi paulatinamente abandonado e substituído por culturas mais rentáveis, como algodão (*Gossypium* L.), milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.). No Rio Grande do Sul (RS), o cultivo de arroz foi consolidado em áreas denominadas de terras baixas, onde este era cultivado com irrigação por inundação, desta maneira diminuindo uma das principais dificuldades encontradas no resto do Brasil, o déficit hídrico.

No Rio Grande do Sul (RS), a área de cultivo com arroz irrigado aumentou até o ano de 2005, com o constante aprimoramento para as áreas de terras baixas, se tornando uma das culturas mais importantes. Nesse contexto, outras adaptações ao cultivo do arroz, como a delimitação do período para semeadura e melhoramento de cultivares, o arroz mostrou maior resposta aos tratamentos culturais e ao uso de fertilizantes, principalmente ao uso de nitrogênio (N). Atualmente, o RS é o Estado de maior produção de arroz, respondendo por cerca de 75% da produção nacional e possuindo cerca de um milhão de hectares em produção de arroz irrigado anualmente, com médias produtivas de 7,95 Mg ha⁻¹, nas últimas safras.

A metade sul do RS é onde estão localizadas as áreas de terras baixas, onde a cultura do arroz irrigado é uma das mais importantes. O cultivo de arroz irrigado envolve, historicamente, 129 municípios, contribuindo em quase 50% do valor bruto da produção agrícola e 232 mil pessoas direta e indiretamente. Porém, a sazonalidade de preços pagos ao produtor, a ocorrência de doenças como a brusone (*Pyricularia oryzae*) e a infestação de plantas invasoras, como o arroz vermelho, têm causado o abandono da atividade agrícola por muitos produtores de arroz irrigado por falta de recursos tecnológicos de manejo e por endividamento em bancos. Portanto, no sentido de manter os produtores nesta atividade, faz-se necessário práticas de manejo que quebrem os ciclos de doenças, diminuam os custos de produção e a incidência de plantas invasoras.

As áreas de terras baixas no RS aptas ao cultivo de arroz irrigado chegam a três milhões de hectares, destas, 1/3 são cultivadas anualmente com arroz irrigado. O uso destas áreas aptas ao cultivo de arroz é bastante diversificado em detrimento das regiões fisiográficas do RS. Podendo ser encontradas em pousio, com pastagens cultivadas e com rotação de culturas comerciais como a soja e o milho no verão ou em pousio e com pastagens cultivadas no inverno. De maneira a aumentar a diversificação de renda do produtor arroteiro e ajustar à demanda nacional de arroz se idealiza que a porcentagem desta área ocupada com arroz irrigado possa ainda diminuir, chegando a 500 mil hectares, aumentando as áreas com cultivo de soja e com pecuária.

Segundo dados do Instituto Rio Grandense do Arroz, estima-se que o custo médio de produção da cultura na safra 2018/2019 foi de 8,8 Mg ha⁻¹, apenas considerando os custos variáveis de produção de arroz, divididos pelo preço de R\$ 39,32 por saco de arroz (50 kg) (cotação de abril de 2019). Contrapondo com a produtividade média das áreas arroteiras, que é inferior ao custo médio, evidencia um grande problema que os produtores enfrentam na rentabilidade econômica desta cultura. Atualmente os principais componentes que elevam o altíssimo custo de produção são: (i) o preparo do solo e (ii) a compra e a aplicação de fertilizantes, chegando a 11 e a 16%, respectivamente, dos custos totais variáveis.

O preparo do solo é um manejo historicamente empregado, com objetivo de melhoria das condições físicas do solo que facilitem a germinação das sementes, expansão radicular, estabelecimento da cultura e controle de plantas invasoras. No entanto, as ações de aração e/ou gradagens do solo não são benéficas ao mesmo, causando degradação física, química e biológica do solo, além de representarem alto custo por tempo pago em maquinário, combustível e mão de obra. Neste sentido, a semeadura direta (SD) do arroz irrigado é uma opção para a redução nos custos e de um manejo mais conservacionista do solo.

A respeito dos custos de compra e aplicação de fertilizantes, o N é o nutriente mais importante para alcance de altos rendimentos de arroz irrigado e que representa o maior custo (50%). Desta maneira, faz-se necessário alternativas de ciclagem e de fixação biológica deste nutriente, assim reduzindo os custos com a compra de fertilizantes nitrogenados, agregando opções de cobertura hiberna e conservação do solo, e tornando mais viável economicamente e ambientalmente a produção de arroz para o RS.

Em face disto, urge a necessidade de manejos mais econômicos para a produção de arroz irrigado, aliando um manejo mais conservacionista do solo, diminuindo a dependência de maquinário e de insumos para o produtor orizícola. Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar atributos do solo e de planta em dois sistemas de produção, com preparo do solo e o de SD com cobertura hiberna de trevo persa (*Trifolium resupinatum* L.) em um Planossolo Háptico, localizado em Capivari do Sul, RS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O atual modelo de produção de arroz irrigado no Brasil e no mundo

O arroz (*Oryza sativa*) é usado na alimentação diária de mais de 2,5 bilhões de pessoas no mundo inteiro. Com o crescente aumento da população, há aumento evidente da necessidade por arroz, apesar do consumo per capita ter caído nos últimos anos. Desta maneira, a demanda de arroz segue uma constante nos últimos anos. O elevado custo da lavoura de arroz o torna uma *commodity* altamente cara de se produzir e por características de alta oferta, barata ao consumidor. Assim, a pesquisa tem a responsabilidade de realizar experimentos e trabalhos que acarretem na obtenção de maiores patamares de produtividade aliado ao uso mais eficiente de insumos agrícolas, garantindo a produção de arroz que continue comportando a demanda nacional e mundial (Cancellier et al., 2011) e que se tornem mais rentáveis economicamente ao produtor.

O Brasil é responsável pela oitava maior produção de arroz do mundo, ficando atrás apenas de países asiáticos como China, Índia e Indonésia (FAOSTAT, 2013). A produção brasileira anual está em cerca de 11 a 13 milhões de toneladas de grãos, na média das safras de 2009/2010 a 2017/2018, com participação em 78% da produção total do Mercosul. Isso demonstra o forte impacto que a produção de arroz tem para a economia brasileira, que de outra forma seria dependente de exportações, acarretando maiores custos ao

consumidor. Nos últimos anos, a área cultivada com arroz no Brasil vem diminuindo gradualmente, em vista dos baixos preços pagos ao produtor, dificuldades de manejo técnico da cultura (SOSBAI, 2018) e da concorrência com o cultivo de espécies mais rentáveis economicamente, como a cultura da soja (*Glycine max*). Dessa maneira, é crucial que a produtividade da lavoura arrozeira aumente, porque a demanda nacional supera a produção, e com o aumento da população, a tendência é que falte produto nacional para abastecer o mercado interno.

Historicamente, o Brasil possuía grande produção de arroz de sequeiro, cultivado em terras altas. Com o surgimento de outras culturas mais rentáveis, a maioria das regiões produtoras em terras altas suprimiu totalmente ou diminuiu drasticamente o cultivo deste, enquanto no RS a área de arroz aumentou até o ano de 2005, com o aprimoramento para o cultivo em terras baixas, com irrigação por inundação. Os solos de terras baixas, aptos para o cultivo de arroz irrigado por inundação, são encontrados em todo o mundo, abrangendo uma área de 7 a 9 milhões de km² (Lefreuvre & Bouchard, 2002). São solos que naturalmente possuem susceptibilidade ao alagamento, e que em pelo menos por uma estação do ano possuem excesso hídrico na sua superfície (Brinkman & Blokhuis, 1986). No RS, as áreas de terras baixas ocorrem naturalmente na metade sul do Estado, dividida em seis regiões arrozeiras: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Zona Sul. Os solos na região das Planícies Costeiras do RS são, de maneira geral, menos férteis que outros solos da região de terras baixas. São solos naturalmente mais ácidos, com menores teores de matéria orgânica do solo (MO) e menores disponibilidades de potássio, cálcio e magnésio (Anghinoni et al., 2004).

Atualmente, o RS é responsável por cerca de 75% do montante de arroz produzido no Brasil (CONAB, 2018), com uma área de produção com cerca de um milhão de hectares e com produtividade média de 7,95 Mg ha⁻¹ no ano agrícola de 2017/2018. O cultivo de arroz é muito importante para o RS, especialmente na sua metade sul, onde 129 municípios historicamente o realizam. Nesses municípios, o arroz chega a contribuir em quase 50% do valor bruto da produção agrícola, envolvendo 232 mil pessoas direta e indiretamente (IBGE, 2016). Dificuldades como a sazonalidade de preços pagos ao produtor,

o alto custo de produção, o ataque de doenças como a brusone (*Pyricularia oryzae*) e o controle de plantas invasoras como o arroz vermelho, têm causado a saída de produtores do sistema de produção do arroz irrigado (SOSBAI, 2018). Portanto, práticas que aumentem a produção, quebrem o ciclo de doenças, aumente a diversificação de renda, diminuam a incidência de plantas invasoras e diminuam os custos da lavoura são essenciais para manter os produtores nesta atividade.

Efetivamente, a área que é cultivada no RS com arroz irrigado é de cerca de três milhões de hectares. Porém, anualmente, apenas 1/3 desta área é cultivada de fato com arroz. Os outros 2/3 ficam em pousio, pastagens de verão cultivadas e/ou em rotação com outras culturas comerciais, como a soja e o milho (*Zea mays*). Na tentativa de melhorar a situação econômica do produtor arrozeiro aliando a práticas mais conservacionistas do solo, instituições de pesquisa e de extensão recomendam a redução da área anual de produção de arroz irrigado de um milhão de hectares para 500 mil hectares. Desta maneira, ajustando a oferta de arroz a demanda nacional, estabilizando os preços pagos ao produtor e diversificando a renda com cultivo de outras culturas e venda de animais.

Como relatado anteriormente, a produtividade média do RS foi de 7,5 Mg ha⁻¹, na safra de 2018/2019. No entanto, o custo médio de produção da lavoura arrozeira foi de 8,8 Mg ha⁻¹ (considerando apenas os custos variáveis e o preço de R\$ 39,32 por saco de arroz – preço tabulado em abril de 2019) (IRGA, 2019). Esta situação tem desmotivado muitos produtores de cultivar arroz irrigado. Para melhorar este cenário uma das alternativas mais lógicas é a redução destes custos com tecnologias baratas e que possam incrementar a produtividade de arroz irrigado.

Os principais contribuintes para o elevado custo de produção da lavoura de arroz são: o preparo do solo (11% dos custos de produção) e a compra de adubos (16% dos custos de produção). Desta maneira, o PD é uma alternativa de redução do primeiro destes contribuintes do custo de produção, e está se tornando cada vez mais viável para o contexto de terras baixas e de produção orizícola. Com relação a compra de adubos, a ureia, fonte de N, compõe 50% do custo deste contribuinte (IRGA, 2019). Sendo o N um dos principais nutrientes necessários na produção de arroz irrigado, faz-se

necessário alternativas de ciclagem e fixação biológica do N atmosférico, reduzindo o custo de compra de insumos, tornando mais viável economicamente a produção de arroz para o RS.

2.2 Alternativas de manejo no sistema de produção do arroz irrigado

2.2.1 Semeadura direta

Para o cultivo de arroz irrigado, empregam-se diferentes métodos de manejo do solo que, por sua vez, têm diferentes objetivos em suas aplicações. Dentre as principais características que se buscam, estão a melhoria das condições físicas do solo para facilitar a germinação da semente, a expansão radicular e o estabelecimento da cultura, juntamente com o controle de plantas invasoras. Porém, ações de gradagens e/ou arações não são benéficas sob o ponto de vista de construção da fertilidade dos solos, interferindo e modificando seus atributos físicos, biológicos e químicos de maneira negativa (Carmona et al., 2001).

O cultivo de arroz irrigado sob práticas de manejo convencionais (com revolvimento do solo), ao longo do tempo diminui as concentrações de nutrientes disponíveis (Mg^{2+} , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-}) (El-Shahway, Mahmoud e Udeigwe, 2016). No entanto, com a adoção de práticas de manejo mais conservacionistas do solo, como é o caso do SD (sem preparo do solo), estudos demonstram melhorias das condições químicas, físicas e biológicas do solo, resultando em incremento na produtividade do arroz irrigado (Denardin et al., 2019) e aumento da qualidade do solo (Martins et al., 2017). Além de aumentar a capacidade do solo em fornecer nutrientes, estes estudos demonstram que há um incremento de matéria orgânica (MO) nos sistemas conservacionistas, o que influencia diretamente a diversidade e a quantidade de agentes decompositores no solo. Logo, em sistemas conservacionistas e com rotação de culturas, os processos são acelerados e dinamizados, acarretando melhorias na disponibilidade de nutrientes através da ciclagem e reciclagem, catalisados pelo aumento da MO e da biota do solo.

Atualmente, os baixos teores de MO nas terras baixas do RS estão relacionados ao manejo que os solos com cultivo de arroz irrigado são submetidos (Boeni et al., 2010), em sua maioria com preparo do solo. Em terras altas, em comparação entre o sistema de preparo do solo e SD foi observado que quando se utiliza plantas leguminosas no inverno no SD, aumenta-se significativamente os teores de MO do solo, quando comparado aos sistemas sem cobertura hibernal e com práticas de preparo do solo (Veloso et al., 2018). O aumento e a manutenção da MO do solo são fatores vitais para o ambiente de terras baixas, pois em sua maioria apresentam textura arenosa e com baixa CTC e MO. Logo, a SD pode ser uma importante ferramenta para aumento de MO e, indiretamente, também a CTC (Resende et al., 2016). Assim, o aumento de MO confere maior qualidade ambiental aos solos, no quesito de construção de sua fertilidade no que corresponde ao melhor desempenho do arroz que será cultivado nestas regiões.

Além disso, a SD contribui para o aumento e estabilização de C em macro agregados nas camadas mais superficiais do solo. Já os resíduos de plantas leguminosas no inverno contribuem para associações organo-minerais aos coloides do solo, devido ao aumento de MO mais lábil (Veloso et al., 2019). Da mesma maneira que o conceito de fertilidade do solo está atrelado à manutenção e ao aumento de MO no solo. A presença de MO mais lábil, resultante da decomposição de material vegetal com relação C:N mais baixa (<15) aumenta a disponibilidade de N (Silva & Mendonça, 2007), devido ao alto *turn over* resultante deste processo de degradação da MO mais lábil e da energia e C disponibilizados à microbiota. Portanto, a necessidade de sistemas que trabalhem no quesito de construção desta fertilidade, pois está diretamente ligada ao manejo ambiental para melhor aproveitamento de nutrientes e principalmente do N.

Muitos estudos tentam explorar as mudanças que o déficit de O₂, condição específica dos solos de terras baixas, causa na dinâmica de nutrientes e na manutenção de teores da MO sobre influência de manejos distintos do solo. Estes trabalhos, de longo prazo, mostram que o cultivo intensivo de arroz irrigado com preparo do solo pode reduzir significativamente os teores de MO destes solos (Bado et al., 2010; Buarach et al., 2014). Atrelado a este manejo, gradativamente, afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a CTC do

solo, a atividade microbiana e o desenvolvimento e produtividade do arroz irrigado (Beutler et al., 2014). Estes efeitos negativos observados em solos com o preparo do solo são resultantes, principalmente, do manejo anual de revolvimento e ausência de cobertura hiberna que se dá a estas áreas.

Em estudo realizado na metade sul do RS, em solo de terras baixas, durante as safras de 1990/1991 até 1997/1998, foi demonstrado que, entre o sistema com preparo do solo e a SD, não houve diferenças significativas na produtividade média de grãos de arroz irrigado. Porém, em anos que ocorre grande infestação por plantas invasoras, as áreas em SD superam a produção das áreas com preparo do solo (Gomes et al., 2002). Além disso a adoção de SD em terras baixas, iniciado por alguns produtores, mostrou uma redução significativa nos custos da lavoura arrozeira, relativo ao custo de preparo do solo, cerca de R\$ 600,00 por hectare (IRGA, 2019) pode ser economizado, também possibilitando a semeadura do arroz na época preferencial, do que quando tempo será gasto no preparo do solo (Menezes et al., 2012) em anos que janela de semeadura conflita com períodos de chuva.

Por outro lado, a SD em terras baixas tem pouca popularidade e adoção pelos produtores de arroz irrigado. Isso ocorre, principalmente, porque estas áreas ficam alagadas/úmidas por grande parte do ano. Em ambiente com déficit de O_2 , e com elevada cobertura de palhada de alta relação C:N, comum em áreas de terras baixas com implantação de SD no cultivo de arroz irrigado, leva a uma decomposição mais lenta da palhada por decomposição anaeróbica e liberação de ácidos orgânicos que podem prejudicar a germinação e crescimento do arroz na sua fase inicial (Takijima, 1964). No entanto, atualmente a pesquisa tenta trazer novas opções de adoção do sistema de SD para as terras baixas, incluindo opções de drenagem, colheita do arroz sem água e cobertura hiberna com leguminosas que alteram a relação C:N e possam aumentar sua taxa de decomposição, mostrando os benefícios a médio e longo prazo que a adoção da SD traz ao rendimento do arroz e a conservação e construção da fertilidade dos solos de terras baixas.

2.2.2 Leguminosas hibernais

A presença de culturas de cobertura na entressafra do arroz irrigado (outono-inverno), aliado à SD, são fundamentos primordiais para a manutenção da qualidade dos solos (Calegari et al., 2013), ainda mais no contexto de solos arenosos e de clima subtropical, como no sul do RS (Balota et al., 2014). São muitos os benefícios advindos do uso de culturas de cobertura hibernais, como maior estabilidade física do solo (Hill et al., 2016), redução do estabelecimento e supressão de plantas invasoras (O'Reilly et al., 2012) e maior disponibilidade de N para a cultura de interesse comercial (O'Connell et al., 2015). No caso do arroz irrigado, como há uma alta deposição de resíduo após a sua colheita, o uso de plantas leguminosas pode favorecer a decomposição e a formação de MO (Velooso et al., 2019), através da redução da relação C:N que o cultivo de plantas leguminosas provoca no solo (Silva & Mendonça, 2007).

O uso de plantas leguminosas em maiores proporções aumenta a atividade e a biomassa microbiana em solos sob condição subtropical e tropical (Balota et al., 2003; Pereira et al., 2007). As plantas de cobertura leguminosas possuem a capacidade de produzir exsudatos, como flavonoides, na sua rizosfera, que estimulam e ativam a simbiose com rizóbios e micorrizas (Hungria & Stacey, 1997), aumentando a mineralização e proporcionando a fixação biológica do N. A mineralização conjunta de N e de C, ocorre devido à qualidade do resíduo produzido por plantas leguminosas, com menor relação C:N, aumentando a atividade microbiana no solo (Balota et al., 2004).

Ademais de aumentar a qualidade da MO, disponibilidade de N e atividade microbiana, o cultivo de plantas leguminosas com a SD mostra forte relação com o aumento nos teores de carbono orgânico total, N total, fósforo disponível e magnésio trocável (Quadros et al., 2012). Desta maneira, a inserção de leguminosas hibernais pode fornecer grandes quantidade de N ao sistema, podendo ser reduzido a quantidade de adubos nitrogenados utilizados nas lavouras (Louarn et al., 2015). Por isso, a utilização de leguminosas hibernais no período de outono-inverno, no caso do arroz irrigado, é uma alternativa viável para a ciclagem de nutrientes e para a melhoria da qualidade do solo, com aumento da sua CTC e do seu teor de MO (Anghinoni et al., 2013; Assmann et al., 2017).

Desta maneira a utilização de plantas leguminosas pode ser uma alternativa muito coerente para a época que normalmente o solo é deixado em pousio, pois sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico através da FBN e deixá-lo disponível para a cultura em sucessão é extremamente alta (Kirchmann, 1988), além de aumentar a produtividade das culturas comerciais em sucessão (Poutala & Hannukkala, 2009).

2.3 O ciclo do N em condições reduzidas do cultivo de arroz irrigado e as mudanças ocasionadas pelo manejo conservacionista do solo

O cultivo da planta de arroz exige altas quantidades de nutrientes do solo. Dentre eles, o principal macronutriente que define altos níveis de rendimentos e produtividade é o N (Lopes et al., 2015). No solo, esse nutriente é encontrado predominante na fração orgânica, que perfaz cerca de 95% do N total. A fração inorgânica (ou mineral), que é a absorvida por plantas, apresenta basicamente três formas de N: o amônio (NH_4^+), o nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-), sendo o primeiro e o último aqueles encontrados em maiores quantidades, fica retida aos 5% restantes. A maior parte do N presente no solo é advindo do ar, por deposições atmosféricas e/ou pela fixação biológica de N_2 , por bactérias simbióticas que formam nódulos nas raízes de plantas leguminosas (Stenvenson et al., 1982). Logo, a presença de culturas que fixam N é crucial na rotação de culturas para o aumento de MO e suprimento de N para plantas que não realizam a fixação, já que a origem de N por deterioração de rochas minerais é irrelevante (Stenvenson et al., 1982).

As reações entre N e MO, que resulta na disponibilidade deste nutriente para as plantas, são mediadas pelos microrganismos do solo, afetadas diretamente pelas condições ambientais e climáticas (Cantarella et al., 2007). Portanto, a disponibilidade de N responde também às práticas de revolvimento e cobertura do solo (Babujia et al., 2010). As práticas de manejo do solo modificam diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente do N, atuando diretamente na sua imobilização na biomassa microbiana do solo (BMS). O revolvimento do solo e a incorporação de resíduos estimula a imobilização temporária do N na BMS, quando comparado com manejos de revolvimento do solo (Beri et al., 1995). Isso demonstra a capacidade

natural de sistemas com uso de rotação de culturas e que intercalem cultivo de gramínea e leguminosa em suprir este elemento.

Em estudos realizados por Fageria & Santos (2015) relataram que assim como a eficiência no uso de N, a produtividade por hectare está diretamente atrelada à cultivar, sendo ambas as variáveis mais importantes na produção de biomassa e na produtividade do arroz irrigado. Encontrando a máxima produtividade de arroz irrigado com a aplicação de 151 kg N ha⁻¹ (Fageria, Santos e Cutrim, 2009).

A adubação nitrogenada, visando a maior produtividade e máxima eficiência econômica, deve ser baseada em uma combinação das variáveis dose e época de aplicação, sendo a primeira responsável pela obtenção de máxima produtividade e a segunda pela eficiência na utilização do nutriente, visto a grande mobilidade e potencial de perdas que o nitrogênio pode apresentar (Fabre et al., 2011). A forma mais frequente de adubação nitrogenada é com a fonte de ureia (CO(NH₂)₂), por características de oferta/preço no mercado, facilidade de manuseio e aplicação e seu comportamento em ambientes alagados, que minimiza as perdas por volatilização de amônia (NH₃). Em ambientes reduzidos, como os solos alagados, após a liberação do N da forma orgânica (ureia) pela ação da enzima urease, a reação tende à formação de amônio (NH₄⁺), que fica na solução do solo.

Em um dos últimos levantamentos realizados para a lavoura de arroz irrigado da metade sul do RS, verificou-se que a quantidade média de N aplicado na lavoura arrozeira é de 78 kg ha⁻¹ (Boeni et al., 2010), muito inferior à quantidade que é recomendada pela SOSBAI (2016) e aos valor de máxima eficiência de adubação nitrogenada para as cultivares de arroz irrigado mais modernas, que pode variar de 70 a 150 kg N ha⁻¹, pela predominância (77%) de solos com teores baixos de MO (≤2,5%). O N é o nutriente que mais limita os rendimentos de arroz no RS (Anghinoni et al., 2004) e, por isso, seu ciclo é alvo de inúmeras pesquisas. Portanto, buscar alternativas de suprimento deste nutriente e entender seu ciclo durante o cultivo do arroz irrigado aliando o suprimento orgânico ao mineral é crucial para manejo correto dos insumos, evitando passivos ambientais e gastos desnecessários.

2.4 Características eletroquímicas da solução do solo em terras baixas

O ambiente de terras baixas é comum na metade sul do estado do Rio Grande do Sul, encontrado juntamente com o Bioma Pampa, são áreas que o cultivo de arroz irrigado é feito tradicionalmente. Estas áreas são caracterizadas pela baixa altitude, com até 50 metros de elevação acima do nível do mar, por serem planas e com declividades inferiores a 5% e chegam a ocupar 60.650 km² (22,6%) do território do estado (Anghinoni & Carlos, 2018). Nestas áreas, para o cultivo de arroz irrigado, são empregadas diferentes técnicas de manejo do solo, cada um com diferentes objetivos em suas aplicações.

Os manejos com a gradagem e aração do solo buscam melhorar as características físicas do solo, facilitando a germinação da semente e desenvolvimento da planta, durante seu crescimento radicular e aéreo, além do controle de plantas daninhas. Estas técnicas são constituídas de arações e gradagens durante o período hibernar, denominado como preparo do solo. No entanto, sob o ponto de vista de conservação e construção do solo, tais manejos degradam os atributos físicos, biológicos e químicos do solo (Carmona et al., 2001).

O alagamento do solo é responsável pelas três principais mudanças eletroquímicas. O potencial redox (Eh), que quanto mais baixo for o seu valor, maior será o estado de redução do solo, com isso gera um aumento do pH que atinge um equilíbrio em torno de 6,5 a 7,5 e a terceira mudança é a CE, que em função da mobilização do Fe²⁺ e Mn²⁺, acumulação de NH₄⁺ e íons inorgânicos com o deslocamento de cátions dos sítios de troca, atingindo um máximo e, posteriormente, decaindo a valores relativamente estáveis (Bissani et al., 2004; Camargo et al., 1999).

O potencial redox é a principal alteração que se pronuncia sobre o sistema oxi-redutor, no qual o potencial oxi-redução (Eh) que apresenta a melhor indicação do estado de oxidação ou redução em solos alagados. Pois este atributo reflete a posição de equilíbrio dinâmico existente entre os vários sistemas redox (oxigênio, ferro, manganês, N, enxofre e C) e determinando as direções das reações causadas pelo alagamento. Além de este potencial

responder à mudanças de manejo do solo e mudanças químicas causadas pelo desenvolvimento de cultivos nestes ambiente anóxicos.

Em solos com maior acúmulo de palhada e sem revolvimento a MO pode ser um dos principais eletro doadores no solo sob alagamento (Camargo et al., 1999), podendo modificar estas características diretamente. Afetando a velocidade e intensidade de reações de oxi-redução no ambiente do solo dentro dos sistemas de recebimento e doação de elétrons.

Poucos são os estudos que exploram as mudanças eletroquímicas na solução do solo causadas pelo preparo dele. Pois tanto o tipo de preparo do solo e a implantação de culturas hibernais irão causar mudanças nestes atributos (Monegat et al., 1991; Neue et al., 1997; Singh et al., 1991) com impactos no desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado.

3. HIPÓTESE

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo em terras baixas, com a ausência de preparo do solo (SD), a introdução de plantas leguminosas de inverno e a aplicação de doses crescentes de N na forma de ureia, levam ao incremento do teor de N mineral na solução do solo, modificações no pH e na CE, além de acarretarem maior produção de MSPA e maior produtividade de arroz irrigado, podendo levar a menor dependência do adubo nitrogenado.

4. OBJETIVOS

Avaliar as respostas do solo à adoção de práticas mais conservacionistas como cobertura hibernal de trevo persa e SD, assim como aplicação de doses crescentes de adubo nitrogenado na forma de ureia no cultivo de arroz irrigado no verão, quanto aos teores de N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) e as alterações nas características eletroquímicas (pH e CE) da solução do solo durante as primeiras nove semanas de alagamento do arroz, assim como a resposta de plantas com influência destes na produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e de grãos de arroz irrigado, além do teor de N contido na MSPA.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Histórico e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova, localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil (S - 30.166, O -50.492 e 7 metros acima do nível do mar), na região da Planície Costeira Externa. O solo da área de 22 hectares é um Planossolo Háplico (EMBRAPA, 2006), onde são conduzidos, sob protocolo experimental, sete sistemas de manejo de produção de arroz irrigado em diferentes arranjos experimentais de cultivo anual de arroz irrigado, rotação de arroz irrigado e soja no verão com integração de pecuária no inverno e sistemas de cultivo de arroz intercalado com pecuária em campos de sucessão.

O clima da região, segundo classificação de Koppen-Geiger, é Cfa, ou seja, clima subtropical, com verão quente e as quatro estações do ano bem definidas, úmido durante todo o ano. As temperaturas medias são superiores a 22°C no verão e com mais de 30mm de chuva no mês mais seco. A precipitação pluviométrica média anual do município de Capivari do Sul é de 1.400mm, e temperatura média anual é aproximadamente 18°C, sendo em média 14,1°C no mês mais frio (julho) e 23,8°C no mês mais quente (janeiro). Não há ocorrências de geadas frequentes durante os anos.

O histórico prévio da área era de sistema de monocultivo de soja e pousio no inverno. Neste primeiro ano de implantação (2018), todos os sistemas foram

sistematizados e entaipados previamente, abril/maio, para a instalação do experimento. Também neste período foi realizada a coleta de amostras georreferenciadas de solo em toda área experimental, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Após a coleta das amostras, estas foram encaminhadas para secagem, moagem e posterior avaliação de atributos químicos P, K⁺ e Na⁺ disponíveis (Mehlich 1), soma de bases, CTC_{pH 7,0} (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺) por extração em KCl 1,0 M, pH em H₂O, pH SMP e C orgânico (Tedesco et al., 1995). Os valores de H+Al (cmol_c/dm³), foram obtidos através da regressão com o índice SMP, obtido medição do pH do solo em solução tamponada, pelo cálculo:

$$\log(H+Al) = 2,904 \times 0,392 \text{ SMP} \quad (R^2 = 0,90) \quad \text{Equação (1)}$$

A CTC_{pH7,0} (cmol_c dm⁻³) foi obtida pela soma de cátions, como segue o cálculo:

$$CTC_{pH7,0} = Ca + Mg + (H + Al) + K + Na \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Ca trocável (cmol_c dm⁻³);

Mg trocável (cmol_c dm⁻³);

H+Al, calculado pela Equação 1 com o índice SMP (cmol_c dm⁻³);

K trocável, obtido pela divisão de seu teor em mg dm⁻³ por 391 (cmol_c dm⁻³);

Na trocável, obtido pela divisão de seu teor em mg dm⁻³ por 230 (cmol_c dm⁻³).

A saturação por bases foi obtida por:

$$\text{Sat. por bases (\%)} = \left\{ \frac{(Ca + Mg + K + Na)}{CTC_{pH7,0}} \times 100 \right\} \text{Equação (3)}$$

Onde:

Ca trocável (cmol_c dm⁻³)

Mg trocável (cmol_c dm⁻³);

K trocável, obtido pela divisão de seu teor em mg dm⁻³ por 391 (cmol_c dm⁻³);

Na trocável, obtido pela divisão de seu teor em mg dm^{-3} por $230(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$;

$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$, obtido pela Equação 2 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A saturação por alumínio dentro do complexo de troca foi calcula por:

$$\text{Sat. por Al (\%)} = \text{Al}/\text{CTC}_{\text{pH}7,0} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Al trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$, obtido pela Equação 2 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os resultados e sua interpretação encontram-se na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Características químicas iniciais do Planossolo Háplico da área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018).

Característica*	Camada de solo (cm)		Interpretação da camada de 0-20 cm**
	0-10	10-20	
pH em água (1:1)	4,4	4,3	Muito baixo
MO (%)	1,8	1,3	Baixa
P (mg dm^{-3})	1,6	1,6	Muito baixo
K (mg dm^{-3})	78	82	Médio
Na (mg dm^{-3})	28	28	-
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,1	1,9	Baixo
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,3	1,2	Alto
Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,2	1,3	-
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	11,6	12,6	-
$\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	15,3	16,0	Alta
Sat. por bases (%)	24	21	Muito baixa
Sat. por Al (%)	24	28	Muito alta

* Análise realizada segundo metodologia proposta por Tedesco et al., (1995)

** Interpretação dos resultados foi feita com base no CQFS RS/SC (2004, 2016) e SOSBAI (2018)

5.2 Protocolo e delineamento experimental

O protocolo experimental está descrito na Tabela 2, com a descrição espaço-temporal de cada sistema testado no ambiente total da área. O delineamento experimental é o de blocos ao acaso com três repetições.

O Sistema 1 é a testemunha-padrão, com monocultivo de arroz, preparo do solo e pousio de inverno. O Sistema 2 se diferencia do Sistema 1 apenas pela ausência de revolvimento do solo, sendo um monocultivo de arroz em SD, e foi desenhado para ser possível se isolar os impactos apenas da adoção do manejo conservacionista do solo. O Sistema 3 também adota o monocultivo de arroz, mas com o diferencial para o Sistema 2, de haver uma planta de cobertura de inverno. A planta de cobertura utilizada é o trevo persa, espécie que fixa o N do ar em simbiose com rizóbios, que começou a ser utilizada com esse propósito e nesse tipo de sistema por produtores das terras baixas do Rio Grande do Sul, especialmente aqueles que por razões diversas não adotam a entrada de animais em pastejo (Carmona et al., 2018).

Tabela 2. Descrição espaço-temporal dos sistemas de produção no ambiente total da área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018).

Sistema de produção	Preparo do solo	Tecnologia na pastagem	Ano								
			2018		2019		2020		2021		2022
			In	Ver	In	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	
1	Sim	-	Po	Ar	Po	Ar	Po	Ar	Po	Ar	
2	Não	-	Po	Ar	Po	Ar	Po	Ar	Po	Ar	
3	Não	-	Tp	Ar	Tp	Ar	Tp	Ar	Tp	Ar	
4	Não	Baixa	Az	Sj	Az	Ar	Az	Sj	Az	Ar	
4	Não	Alta	Az	Sj	Az	Ar	Az	Sj	Az	Ar	
5	Não	Baixa	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Ar	
5	Não	Alta	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Cs	Az+Tb	Ar	

Ar = Arroz irrigado (*Oryza sativa* L.); Az = azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); Po = pousio; Sj = soja (*Glycine max* L.); Tp = trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.); Tb = Trevo branco (*Trifolium repens*) e Cn = Campo de sucessão

Os Sistemas 4 e 5 são caracterizados como integrados (com pastejo animal), há a rotação de culturas no verão (soja e arroz), com o azevém pastejado no inverno, que permite diversidade do retorno econômico (carne e soja) e benefícios já conhecidos ligados ao controle do arroz vermelho. No Sistema 5, a fase pecuária ganha em diversidade, com a introdução do trevo branco (espécie que também fixa o N do ar em simbiose com rizóbios), com o

arroz sendo a única espécie da fase lavoura e retornando apenas de quatro em quatro anos.

Nos Sistemas 4 e 5 há o emprego de diferentes níveis tecnológicos na fase pastagem, Alta e Baixa tecnologia. A baixa tecnologia se caracteriza pela aplicação de 20 a 30 kg N ha⁻¹ por ciclo de pastagem e uma altura de manejo do pasto entre 3 e 7 cm. A alta tecnologia se caracteriza pela aplicação de 100 a 150 kg N ha⁻¹, de doses de P e K recomendadas pela CQFS RS/SC (2016) até o teor desses nutrientes no solo ser elevado acima crítico (classe Alta de interpretação da fertilidade do solo) e uma altura de manejo do pasto entre 15 a 20 cm. No Sistema 5, o campo nativo de verão não recebe adubação.

5.3 Fase experimental

5.3.1 Sistemas testados

O experimento foi implantado em maio de 2018, primeiramente com a preparação do solo e do micro relevo para os cultivos, seguido da implantação das coberturas hibernais dos sistemas. Importante ressaltar que somente os Sistemas 1 e 3 foram avaliados para a elaboração desta dissertação, devido aos manejos que foram empregados para adequação da área ao cultivo de arroz irrigado, não houve expressão da semeadura direta neste primeiro ano no Sistema 2. Sendo avaliado o Sistema 1 (Pousio hibernar com preparo do solo) e Sistema 3 (Trevo persa com SD). A semeadura do trevo persa foi realizada no dia 30 de maio de 2018, com a quantidade de 8 kg/ha distribuídos a lanço, com dessecação no dia 6 de outubro de 2018. Não foi realizado nenhum tipo de adubação para o trevo persa.

A semeadura do arroz foi realizada no dia 23 de outubro de 2018, nos sistemas, 17 dias após a dessecação do trevo persa e das plantas espontâneas, com a cultivar BRS Pampeira, na densidade de semeadura de 110 kg ha⁻¹. A adubação de base foi de 63 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 95 kg K₂O ha⁻¹ na linha semeadura com super fosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Na adubação de cobertura, foi aplicado N à lanço, na forma de ureia (45% N), na expansão total de três folhas (V3), no dia 17 de novembro, antes da entrada de água. A

adubação seguiu aquela recomendada pela CQFS-RS/SC (2016) e SOSBAI (2018) para expectativa de alto rendimento.



Figura 1. Aspecto da área durante o inverno com (A) pousio previamente ao preparo do solo e (B) trevo persa da área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018).

No dia 26 de novembro de 2018, quando o arroz se encontrava em estágio vegetativo V3 (SOSBAI, 2016), foi realizada a aplicação das doses de 50, 100, 150, 200 kg N/ha e tratamento controle sem aplicação de N. Neste dia, também, foram instalados coletores de solução do solo nas profundidades de 5, 10 e 20 cm. Logo após, iniciou-se a irrigação por alagamento da lavoura.



Figura 2. Abertura do orifício (A) para instalação do coletor de solução do solo a campo (B) na área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018).

Os coletores foram confeccionados com cano de plástico rígido PVC (policloreto de vinila) com 25 mm de diâmetro. Cada coletor foi feito com 4 cm de comprimento e nas suas extremidades foram fixadas tela de náilon para evitar a entrada de sedimentos grosseiros. Foi feito um furo em cada coletor para conectar e colar com cola de silicone mangueiras de PVC de 4 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, permitindo canalizar a solução do solo por extração a vácuo, realizado com o auxílio de seringas de 60 mL. Para a sua colocação, foram feitas aberturas no solo, com trado calador, em cada parcela, em 5, 10 e 20 cm de profundidade, onde os coletores foram colocados e posteriormente cobertos com o mesmo solo retirado pelo trado.





Figura 3. (A) Detalhe da lavoura de arroz com as plantas em estágio V3, momento da aplicação das doses de N e (B) detalhe das parcelas com doses de N e plantas de arroz em estágio V5, inseridas dentro de uma das parcelas do experimento no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018)

5.3.2 Amostragens

As coletas de solução do solo foram realizadas na 1^a, 2^a, 3^a, 5^a, 7^a e 9^a semana após o alagamento da área (SAA). Foram coletados em torno de 40 mL de solução do solo para cada subparcela e profundidade. Após coletadas, as amostras de solução do solo foram mantidas em temperatura de 10 a 15°C para posterior medição do pH, com eletrodo de vidro e condutor/AgCl (peagâmetro Digimed DM20) calibrado com solução-tampão de pH 4,0 e 7,0, e condutividade elétrica com tubo de platina (condutímetro Digimed DM31) calibrado com solução padrão de 1,412 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Posteriormente, as amostras foram armazenadas a -18°C até a leitura de N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) por destilação em arraste de vapor semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

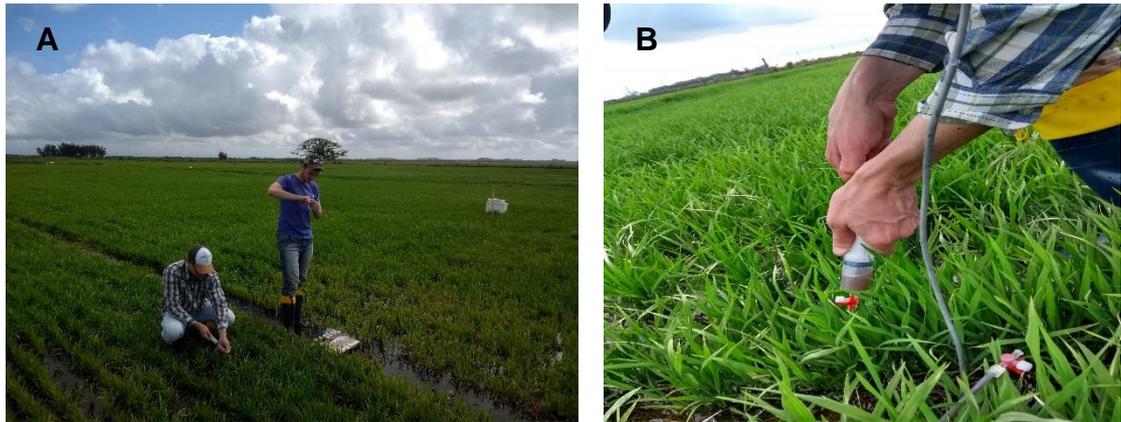


Figura 4. Detalhamento da metodologia de coleta de solução do solo na área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/AgriNova (Capivari do Sul, RS – 2018).

No dia 1º de fevereiro de 2019, quando o arroz estava em estágio R0 (SOSBAI, 2018), foi realizada a coleta de 1 m linear (0,17 m²) de plantas cortadas rente à superfície do solo, para determinação de massa seca da parte aérea (MSPA). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até que se obteve massa constante. Foram então pesadas para estabelecer o componente de rendimento de biomassa. Posteriormente, procedeu-se a pesagem e após foram moídas com peneira de 2 mm para análise de N total. O teor de N nos tecidos foi determinado por digestão ácida e destilação em arraste de vapor semimicro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

No dia 15 de março de 2019 foi realizada a colheita de grãos de arroz nos sistemas testados, com uma amostra de 2 m lineares (0,34 m²). Posteriormente, as amostras foram trilhadas para a separação da palha e grão com casca e determinada seu peso e sua umidade de colheita (UR%) para a correção em 13% de UR de grãos e determinação de produtividade por hectare.

5.3.3 Análise estatística

O delineamento experimental do experimento é o de blocos ao acaso em um fatorial de parcelas subdivididas (*splitsplitspot*) onde a parcela principal é o sistema de manejo testado (Pousio com preparo do solo e trevo persa com PD) alocado como efeito fixo, parcela secundária de doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha⁻¹) com efeito fixo e parcela final com a profundidade de coleta de solução do solo (5, 10 e 20 cm) como efeito fixo. Para

tanto, os dados de pH, CE e teor de N mineral da solução do solo, assim como os resultados de MSPA, teor de N na MSPA e produtividade de grãos foram ajustados em um modelo de predição, atendendo aos testes de homogeneidade (*Bartlett*) e normalidade (*Shapiro-Wilk*) com critério de $p \geq 0,05$.

Posteriormente ao atendimento das pressuposições, ajustes do modelo foram submetidos a análise de variância e posteriormente ao teste de Tukey, onde o nível de significância de 95% foi submetido aos valores de teor do N mineral na solução do solo e para os valores de pH e CE.

Para os valores de produção de MSPA, Teor de N na MSPA e produtividade do arroz irrigado também foi adotado o nível de significância de 95% ao realizar-se o teste Tukey. Todos os gráficos apresentados foram demonstrados com a letras significantes ou com a diferença mínima significativa (DMS) ao critério selecionado com o *HSD* do pacote *agricolae*. Todos os testes apresentados foram feitos com o programa *R-statistical*®.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 pH e condutividade elétrica do solo durante o alagamento do arroz irrigado

O solo da área experimental é originalmente ácido, com valores muito baixos (Tabela 1) até a camada de 20 cm. Com a entrada da água para o alagamento do arroz irrigado, estes valores aumentaram. Efeito que ocorre em situações de alagamento (Bissani et al., 2004). Durante as semanas de alagamento avaliadas os valores de pH na solução do solo variaram de 4,5 a 6,5 nas médias de todos os tratamentos. Ouve efeito significativo ($p \leq 0,05$) nas interações entre a profundidade com os sistemas de manejo hiberna testados (Pousio/preparo do solo e trevo persa/SD) e com as doses de N (0, 50, 100, 150, e 200 kg de N ha⁻¹) aplicadas no arroz irrigado em V3 (Tabela 3).

Em relação ao pH, os resultados mostram o efeito dos sistemas de manejo hiberna testados com a profundidade de coleta, independentemente das doses de N e das semanas de alagamento (Tabela 5a) o cultivo de trevo persa no inverno, aliado ao SD de arroz irrigado, reduziram o pH da solução do solo na profundidade de 5 e 10 cm em 0,2 e 0,3, respectivamente, tendo pouco efeito observado na profundidade de 20 cm. O efeito da dose de N aplicada, independentemente dos sistemas de manejo testados e das semanas de coleta após o alagamento do arroz, pode ser observada na Figura 5b. Onde, em comparação com o tratamento sem aplicação de N (0 kg de N ha⁻¹), as doses de 200 e 150 kg de N ha⁻¹, reduziram o pH da solução do solo em 0,6 e 1,2 unidades

na profundidade de 5 cm, e de 0,5 e 1,3 unidades na profundidade de 10 cm, sem efeito claro na profundidade de 20 cm.

Tabela 3. Quadro resultante da análise de análise de variância para os valores de pH e CE na solução do solo da área de estudo no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019)

Fatores de Variação	GL	pH	CE
Bloco	2	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Profundidade (A)	1	0,009*	0,04*
Dose (B)	4	0,05*	0,52 ^{ns}
Sistema (C)	2	0,002*	0,01*
SAA (D)	5	0,06 ^{ns}	0,008*
AxB	8	0,03*	0,07 ^{ns}
AxC	2	0,05*	0,02*
AxD	10	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}
BxC	4	0,81 ^{ns}	0,10 ^{ns}
BxD	20	0,24 ^{ns}	0,16 ^{ns}
CxD	5	0,56 ^{ns}	0,25 ^{ns}
AxBxC	8	0,09 ^{ns}	0,54 ^{ns}
AxBxD	40	0,21 ^{ns}	0,09 ^{ns}
BxCxD	20	0,14 ^{ns}	0,15 ^{ns}
AxCxD	10	0,29 ^{ns}	0,85 ^{ns}
AxBxCxD	40	0,12 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Erro	363	-	-
Total	540	-	-
Media Geral	-	5,5	0,26

Análise de variância: GL = grau de liberdade; ^{ns} = não significativo e * = significativo ($p \leq 0,05$)

O aumento inicial do pH ocorre porque as reações de redução em ambientes alagados ocasionam o consumo de H⁺, o que resulta na diminuição da concentração deste próton na solução do solo e, dessa forma, aumentando o pH. Contudo, o CO₂ produzido no solo pela decomposição da MO do solo nesse ambiente tende a sofrer dissolução e formar H₂CO₃, que por sua vez se dissocia e libera H⁺. Dessa forma, os valores de pH ficam dependentes do equilíbrio entre essas duas forças e tendem a estabilizar em valores próximos a neutralidade (Souza et al., 2010). O manejo hibernal com cobertura de trevo persa, devido à decomposição de seus resíduos, após o alagamento do arroz, pode aumentar a concentração de H₂CO₃, que se dissocia em CO₂ + 2H⁺ + ½ O₂, dessa forma liberando mais íons H⁺, podendo diminuir o pH nos primeiros dias. Por outro lado o método de coleta da solução do solo com posterior transporte para laboratório

para análise do pH pode levar a uma oxidação de resíduos mais lábeis, encontrados na solução do solo do sistema com trevo persa e SD, aumentando a Eh e diminuindo o pH (Sousa et al., 1990).

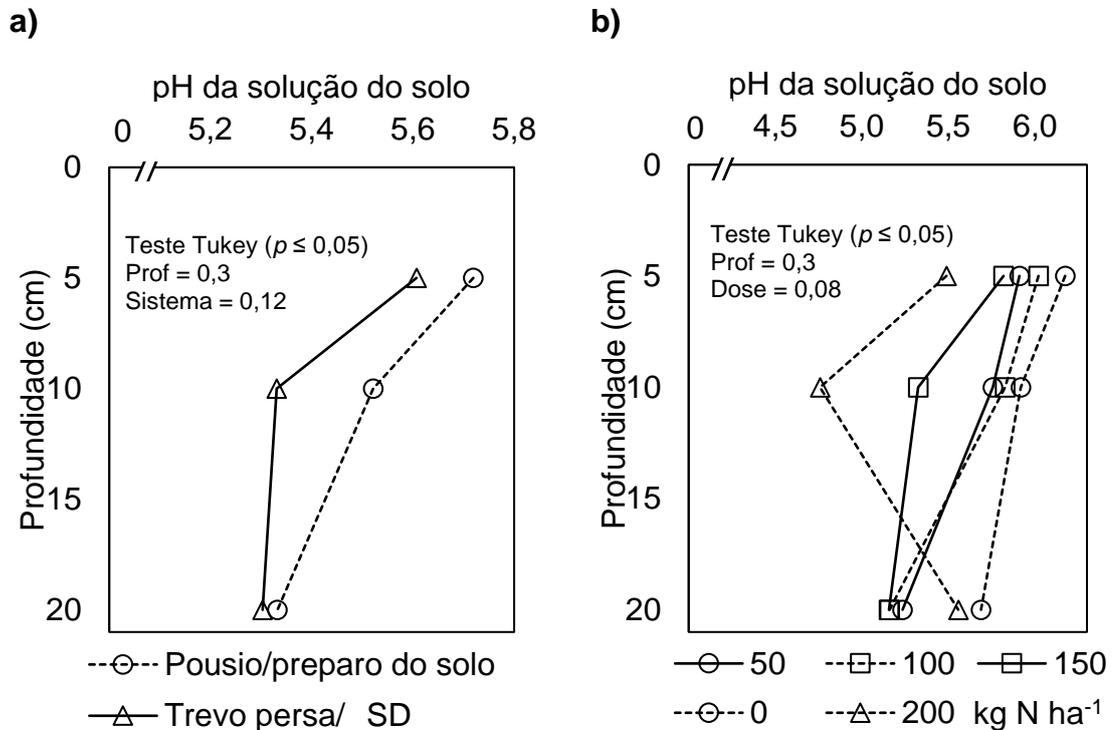


Figura 5. pH da solução do solo nas três profundidades de coleta, nos diferentes sistemas testados e nas médias das doses testadas (a) e pH da solução do solo nas três profundidades de coleta nas diferentes doses de N (kg N ha⁻¹) via ureia testadas em arroz irrigado, nas médias dos sistemas testados (b), independentemente das semanas de alagamento do arroz, em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019).

Por outro lado, a decomposição do resíduo de trevo persa, com baixa relação C:N, além de liberar CO₂, libera N mineral contidos em peptídeos e aminoácidos, sendo a principal forma de N em solos alagados o NH₄⁺ (Ericksen et al., 1985), ao primeiro momento no processo de mineralização o pH da solução do solo pode aumentar, devido ao consumo de H⁺, porém, no processo de absorção de NH₄⁺ a planta de arroz libera H⁺, novamente diminuindo o pH, principalmente ao final do ciclo da cultura (Neue 1997; Singh et al., 1991; Sousa et al., 2000). O que explica o efeito do sistema de manejo hibernar testado sobre o pH, pois a cobertura hibernar de trevo persa aliado ao SD, promove a redução do pH na média das semanas de coleta da solução do solo e das doses de N aplicadas no arroz irrigado. Justamente pela reação de mineralização do resíduo

de trevo persa e da absorção de N-NH_4^+ , que resulta em um balanço negativo de prótons.

Foi observado também o efeito da interação da profundidade de coleta e da dose de N aplicada nos resultados de pH (Figura 5b), após a aplicação de N na forma de ureia, em estágio V3 do arroz, seguido do alagamento da área. Prática recomendada para reduzir as perdas de N na forma de NH_4^+ e por facilitar o manejo de plantas invasoras. De maneira geral, os solos de terras baixas podem apresentar ambiente favorável às perdas de N por nitrificação-desnitrificação quando a ureia é aplicada com solo já úmido ou quando a água para irrigação tarda a chegar e alagar o solo por completo (Buresh et al., 2008). As perdas de N por nitrificação-desnitrificação resultam em um saldo neutro de prótons (H^+) em solos de terras baixas, o que leva à estabilidade do pH com o decorrer do tempo. No entanto, quando a planta absorve N-NH_4^+ , para balancear sua carga osmótica interna, ocorre a liberação de prótons, motivo da diminuição do pH ao final do ciclo do arroz irrigado. Por efeito da hidrólise da ureia, ocorre o consumo de prótons H^+ e consequente aumento do pH. Logo, a aplicação de N na forma de ureia em estágio V3 do arroz irrigado seguido do alagamento da área, promove a diminuição da acidez na solução do solo nas camadas mais superficiais, até 10 cm, efeito semelhante ao que ocorre quando o arroz é cultivado após trevo persa em SD.

Os resultados de CE mostram o efeito da interação (Tabela 3) entre a profundidade de coleta e os sistemas de manejo hibernal testado, independentemente das doses de N aplicadas, também pode-se observar o efeito simples das semanas de alagamento do arroz. Mostrando que os valores de CE aumentaram entre primeira semana até a quinta semana após o alagamento do arroz (Figura 6d) chegando em $0,31 \text{ dS m}^{-1}$, com posterior queda da CE e estabilização dos valores, em $0,20 \text{ dS m}^{-1}$. Também é possível visualizar o efeito do manejo hibernal. O cultivo de trevo persa aliado ao SD promoveu aumento da CE da solução do solo, principalmente na sétima e nona semana de alagamento do arroz, ou seja, ao final do período de alagamento, nas três profundidades de coleta realizadas, aumentando a CE da solução do solo em $0,08 \text{ dS m}^{-1}$ nas médias das três profundidades ao final do período de alagamento.

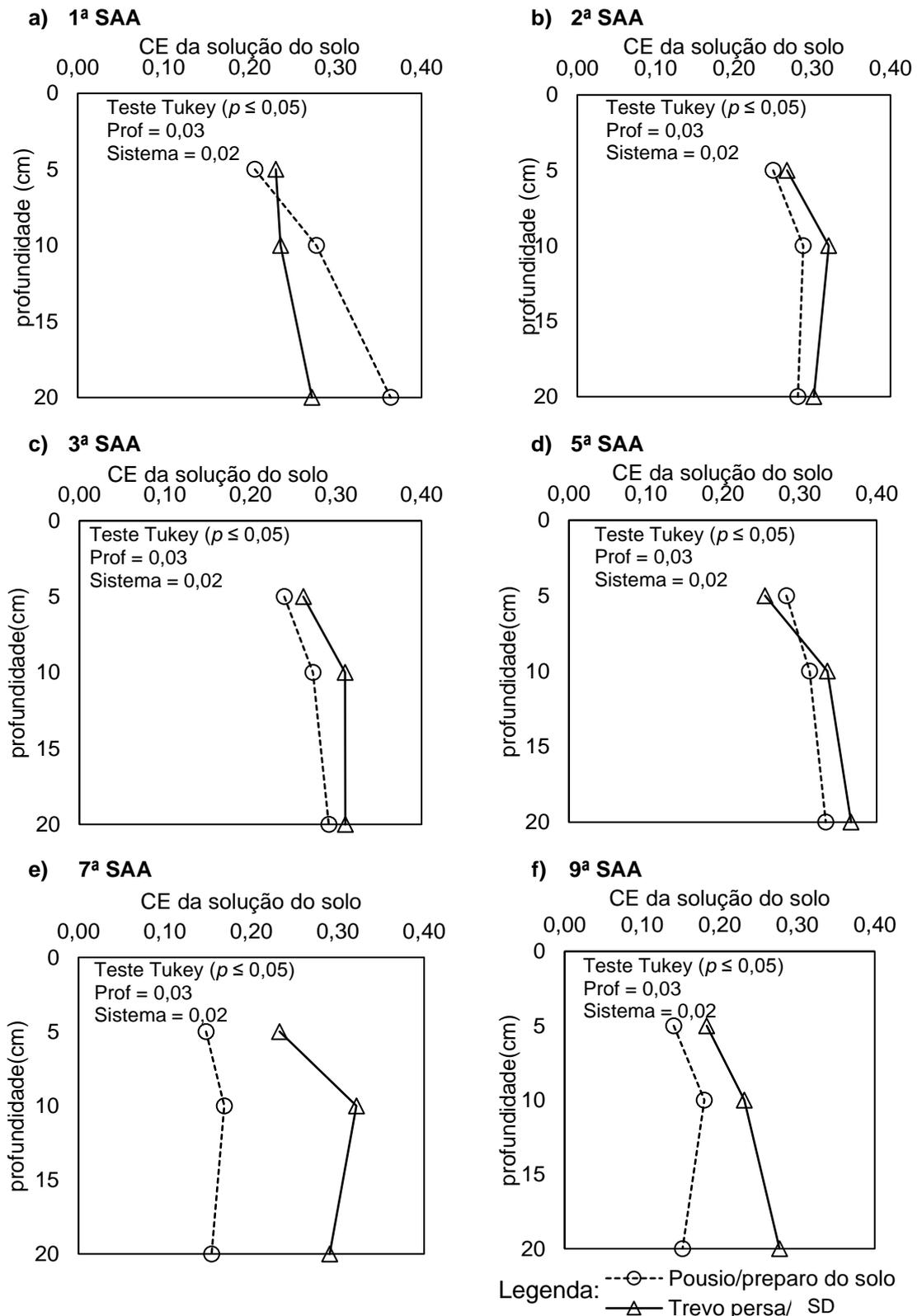


Figura 6. CE na solução do solo nas nove primeiras semanas após o alagamento do arroz nos dois sistemas de manejo hibernal testados, independentemente da dose de N aplicada em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/AgriNova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Teste Tukey ($p < 0,05$).

Da mesma maneira que observamos o efeito do de cultivo hibernal de trevo persa atrelado à diminuição do pH (Figura 5a), observamos o efeito semelhante na CE da solução do solo, aumentando os valores deste atributo eletroquímico, como pode ser observado na Figura 6, sendo o efeito da cobertura hibernal mais pronunciado e evidente na sétima e na nona (Figura 6e; Figura 6f) semanas após alagamento do arroz. Estes resultados vão de encontro ao proposto na hipótese deste trabalho. Mostrando o efeito do Trevo persa/SD no aumento da CE, principalmente pela liberação dos nutrientes ciclados pelo trevo persa e de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Camargo et al., 1999) que na solução do solo aumentam a força iônica. Isto, devido à decomposição dos resíduos de trevo persa, levam à dissociação de ácidos orgânicos e mineralização de nutrientes na solução do solo. A posterior redução da CE, após a 5ª semana de alagamento do arroz (Figura 6d), é devido ao momento de maior absorção de nutrientes pela cultura do arroz, que se encontrava em R0 (SOSBAI, 2018), retirando nutrientes e, desta maneira, diminuindo a CE da solução do solo (Figura 6) pela redução de força iônica dos elementos presentes na mesma, em menor concentração devido sua absorção.

6.2 Teor de N mineral na solução do solo

Com o alagamento do solo, umas das três principais mudanças que ocorrem é o acúmulo de NH_4^+ na solução do solo (Camargo et al., 1999), resultante do deslocamento deste cátion dos sítios de troca do solo e da desnitrificação, que reduz as formas NO_3^- e NO_2^- , devido a ação de microrganismos do solo em ambiente alagado. Os teores destas três formas de N (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-), nos experimento realizado, tiveram efeito significativo ($p = 0,05$) através da análise de variância na interação entre as semanas de alagamento do arroz e os sistemas de manejo hibernal testados (Pousio com preparo do solo e Trevo persa com SD) (Figura 7) independentemente da profundidade de coleta da solução do solo e das doses de N testadas, entre as semanas de alagamento do arroz e as doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1}) aplicadas em V3 no arroz irrigado (Figura 8), independentemente da profundidade de coleta da solução do solo e do sistema de manejo hibernal testado, e entre os sistemas de manejo do solo testados com as doses de N

aplicadas (Figura 9) na médias das três profundidades de coleta e independentemente das semanas de alagamento do arroz.

Os resultados para os teores de N mineral na solução do solo (Figura 7) mostram que em todas as semanas de alagamento do arroz, o sistema com trevo persa como cobertura hiberna aliado ao SD incrementaram o teor de N mineral na solução do solo (7 a 1 mg de N L⁻¹), nas médias das três profundidades de coleta e independentemente da dose de N aplicada. Foi observado que há um aumento do teor de N mineral na solução do solo até a terceira semana de alagamento, de 5,8 e 1,6 mg L⁻¹, no sistema com SD e trevo persa em comparação com o pousio e preparo do solo, respectivamente. Nas semanas seguintes, foi observado a diminuição do teor de N mineral na solução do solo, até valores quatro e três vezes menores que o teor de N mineral registrado no início das coletas nos sistemas de SD e trevo persa e de pousio com preparo do solo, respectivamente.

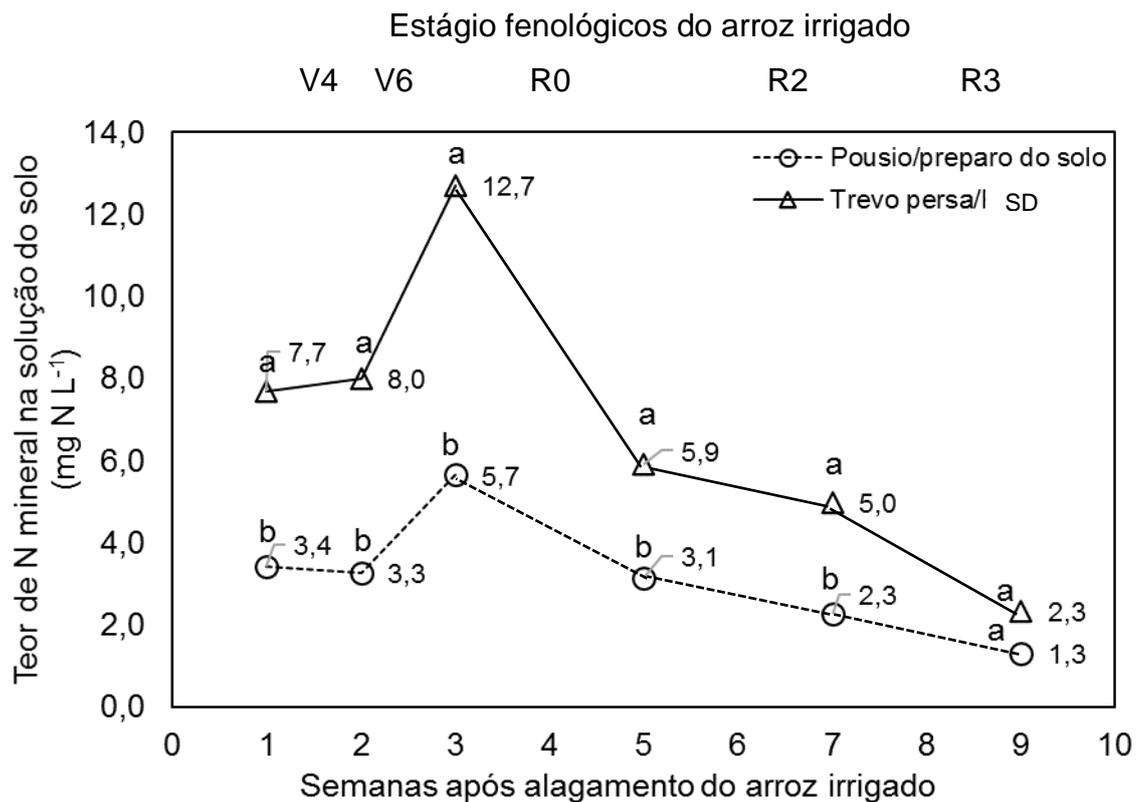


Figura 7. Teor de N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) da solução do solo nos dois sistemas de manejo hiberna testados, independentemente das doses de N em arroz irrigado e da profundidade de coleta durante as nove semanas de avaliação em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/AgriNova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste Tukey ($p < 0,05$).

Foi observado (Figura 8) o efeito da aplicação de N via ureia durante as nove semanas de alagamento no teor de N mineral na solução do solo (mg L^{-1}), independentemente do sistema de manejo hibernal adotado e na média das três profundidades de coleta. A dose de N influenciou positivamente o teor de N mineral na solução. Da mesma maneira que observamos na Figura 7, na Figura 8, percebemos que há um aumento do teor de N mineral na solução do solo até a terceira semana de alagamento do arroz. Onde ocorrem as maiores diferenças entre o tratamento sem aplicação de N ($0 \text{ kg de N ha}^{-1}$) e os tratamentos com aplicação de N via ureia. O tratamento testemunha teve variação da quantidade de N disponível, durante as nove semanas de alagamento o menor valor foi de $1,1 \text{ mg de N L}^{-1}$, na última semana de alagamento, e de $5,6 \text{ mg de N L}^{-1}$, na terceira semana de alagamento, enquanto o tratamento com $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ variando de $3,8$ a $14,9 \text{ mg de N L}^{-1}$, na nona e na terceira semana de alagamento, respectivamente.

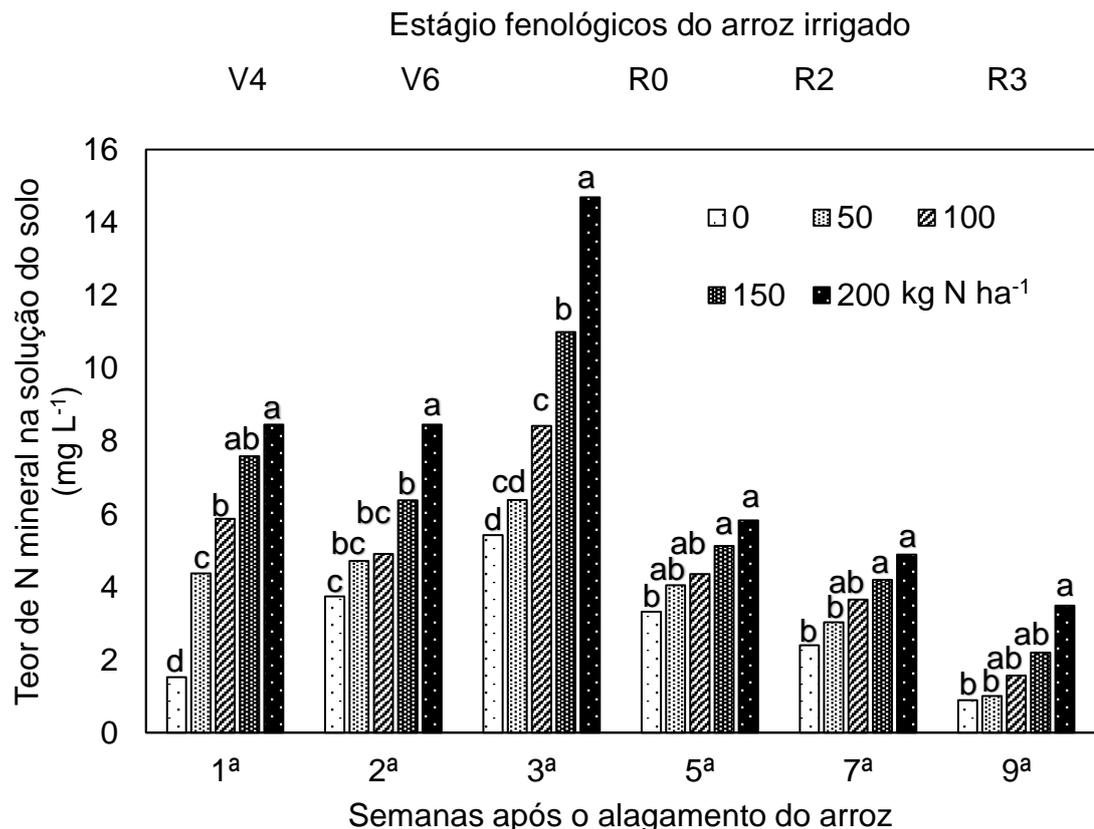


Figura 8. N mineral total [$\text{NH}_4^+ + (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$] na solução do solo correspondente as doses de N (kg ha^{-1}), independentemente do sistema de manejo de inverno e da profundidade de coleta, durante as nove semanas de coleta avaliação em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados mostraram ainda, que há efeito direto do sistema de manejo hibernar adotado e das doses de N aplicadas independentemente da profundidade de coleta e das semanas de alagamento do arroz. Na Figura 9, pode-se observar que o plantio de trevo persa no inverno e a semeadura em SD do arroz irrigado promove aumento do teor de N mineral na solução do solo, podendo aumentar a disponibilidade deste nutriente para a planta de arroz. Isto porque, houve incremento de 3,35 mg de N L⁻¹, em comparação entre o tratamento com pousio e preparo do solo ao tratamento com Trevo persa e SD. O teor de N mineral na solução do solo em função da dose de N aplicada via ureia é uma função linear positiva, com um alto R², que mostra fator de determinação da equação que prediz o teor de N na solução do solo (mg L⁻¹) em função da dose de N (kg ha⁻¹) via ureia.

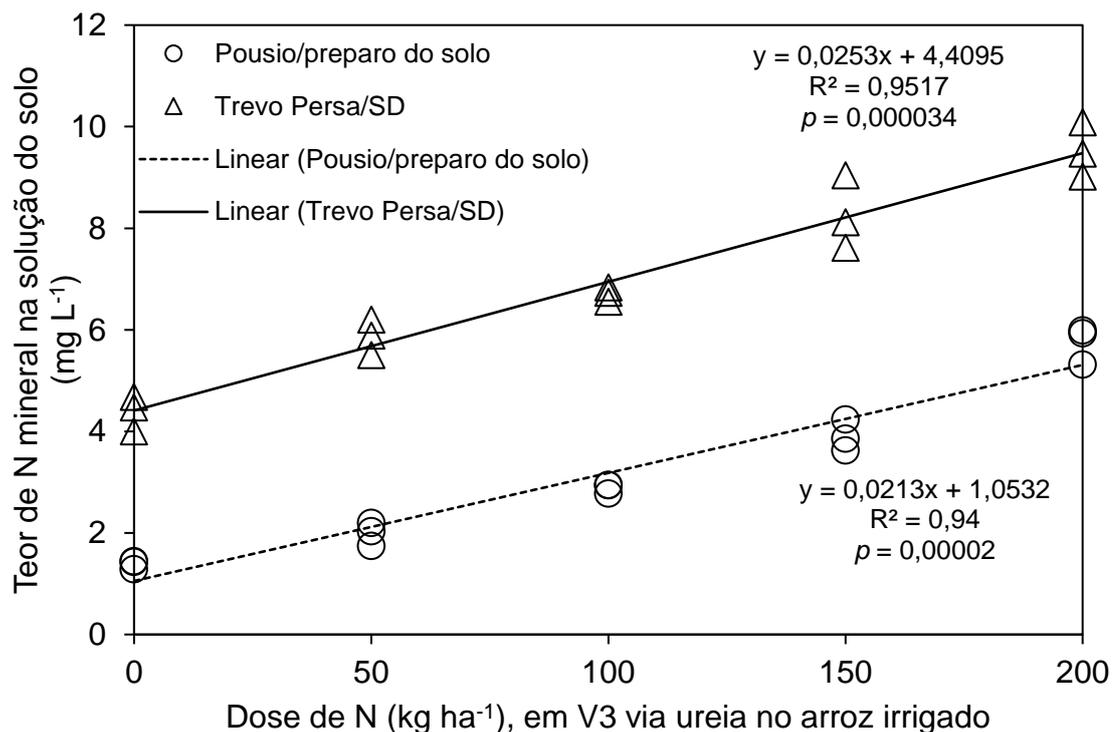


Figura 9. Teor de N mineral total [$\text{NH}_4^+ + (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$] na solução do solo vs. dose de N aplicada nos dois sistemas de manejo testados, independentemente da semana de alagamento em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste de regressão ($p < 0,05$).

Como foi observado nos resultados, a presença de trevo persa, no outono-inverno, aliado a semeadura do arroz em SD resultou em maiores teores de N mineral na solução do solo durante o ciclo (Figura 7) da cultura comercial

de arroz irrigado (O'Connell et al., 2015). Justamente por aportar resíduos de menor relação C:N, favorecendo a decomposição e o aumento dos teores de N mineral (Silva & Medonça, 2007). Isto se deve também à fixação biológica de N realizada pelo trevo persa durante o período hibernar, que é característica do trevo persa e de outras plantas leguminosas que podem ser cultivadas neste período. O cultivo de trevo persa pode incrementar o teor de N mineral durante o ciclo do arroz irrigado em $3,35 \text{ mg L}^{-1}$ na solução do solo (Figura 9), podendo ser uma alternativa de manejo hibernar que possui a capacidade de ciclar e fixar N atmosférico, se tratando de um manejo conservacionista do solo (Calegari et al., 2013) e que é capaz de aumentar a qualidade do solo como aumento da CTC e MO (Assmann et al., 2017).

A adubação nitrogenada, assim como a cobertura hibernar com trevo persa, está diretamente ligada ao aumento dos teores de N mineral na solução do solo. Os resultados mostram que este aumento está linearmente ligado a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) na forma de ureia, influenciando o teor de N mineral na solução do solo durante as nove semanas de alagamento do arroz (Figura 8). Estes resultados concordam com a hipótese deste trabalho, mostrando que a quantidade de N aplicada na forma de ureia, anteriormente ao alagamento do arroz, não interfere não modifica os processos de hidrólise e mineralização do N para a solução do solo. Trabalhos semelhantes a este, com análise da solução do solo não obtiveram resultados que mostrassem a interação entre a aplicação de N e os teores de N mineral na solução do solo (Veçozzi et al., 2017).

Ainda pode-se observar que o período de maior teor de N mineral na solução do solo, na terceira semana de alagamento do arroz, combinou com o período de maior absorção de nutrientes da planta de arroz (SOSBAI, 2018), quando esta se encontrava em V7, o que irá influenciar os resultados de planta, que serão apresentados a seguir.

6.3 Produção de MSPA e de grãos de arroz irrigado

A produção de MSPA foi afetada pelo sistema de manejo hibernar e pelas doses de N testados. Através da análise de variância obteve-se efeito da

interação ($p = 0,05$) entre o manejo hibernar e as doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) na forma de ureia (Figura 10).

Os resultados de MSPA (Figura 10), demonstraram que a produção de biomassa do arroz irrigado foi influenciada pela dose de N aplicada e pelo sistema de manejo hibernar adotado. O efeito do sistema de manejo incrementou de 2,2 a 3,6 Mg ha⁻¹ de MSPA, quando o arroz foi semeado em SD sobre resíduo de trevo persa, nas doses de 0 e 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente. O efeito da dose de N (kg ha⁻¹) na produção de biomassa também pode ser visto, onde a aplicação de 150 kg de N ha⁻¹ incrementou em 5,5 Mg ha⁻¹ a MSPA do arroz irrigado.

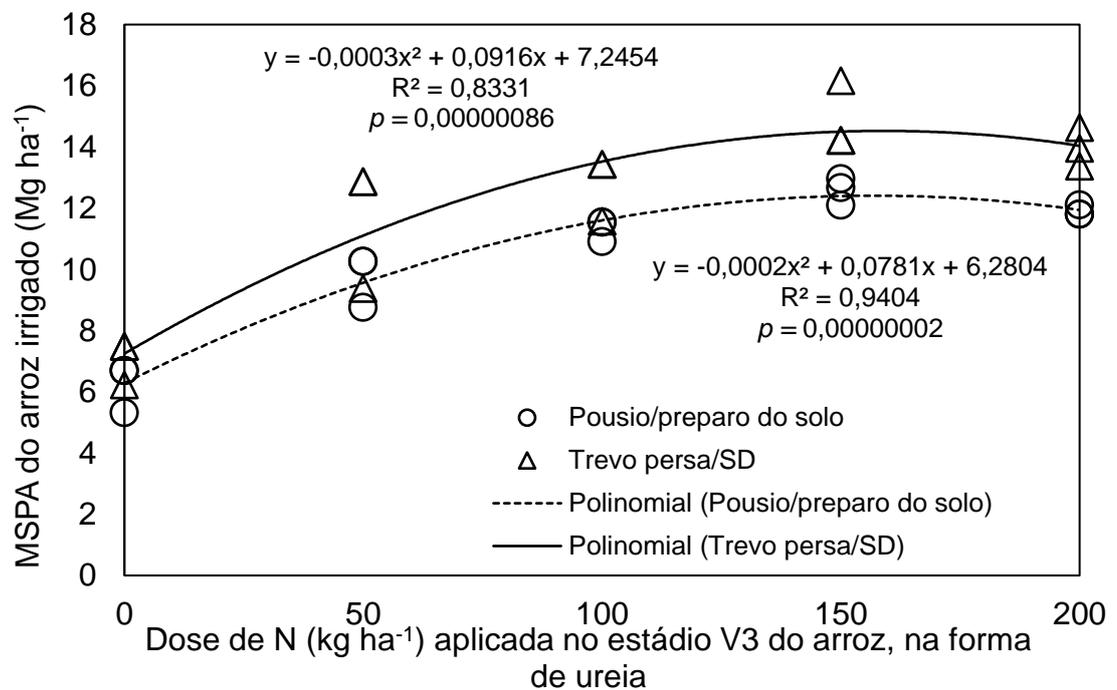


Figura 10. Massa seca da parte aérea (MSPA) em função da dose de N aplicada no arroz irrigado no estágio V3 para os dois sistemas de manejo hibernar testados em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/AgriNova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste de regressão ($p < 0,05$).

Estes resultados de produção de MSPA vão de acordo com Freitas et al., (2008), mostrando que doses acima de 150 kg de N ha⁻¹ não incrementam a produção de MSPA, assim como seu aumento de forma quadrática em função da dose de N aplicada, para ambos sistemas de manejo hibernar. Este resultado foi semelhante ao observado na produtividade (Figura 12). A presença de trevo persa no inverno e SD do arroz irrigado, resultou em maiores produtividades de MSPA, resultado dos maiores teores de N mineral na solução do solo durante o

ciclo do arroz (Figura 7), pela capacidade que plantas hibernais têm em fornecer N ao sistema (Louarn et al., 2015).

Foi possível observar que o teor de N contido na MSPA responde de forma quadrática (Figura 11) às doses de N aplicadas e que a planta de arroz aumenta seus teores de N na MSPA quando cultivado em SD após a cobertura hiberna de trevo persa. Isto vai de encontro aos resultados obtidos no teor de N na solução do solo (Figura 9), apesar dos resultados de MSPA (Figura 10) não aumentarem com a aplicação de mais de 150 kg de N ha⁻¹, pode-se observar que em termos de teor de N na planta há um aumento até a dose de 200 kg de N ha⁻¹, resultado semelhante ao observado por Freitas et al. (2008).

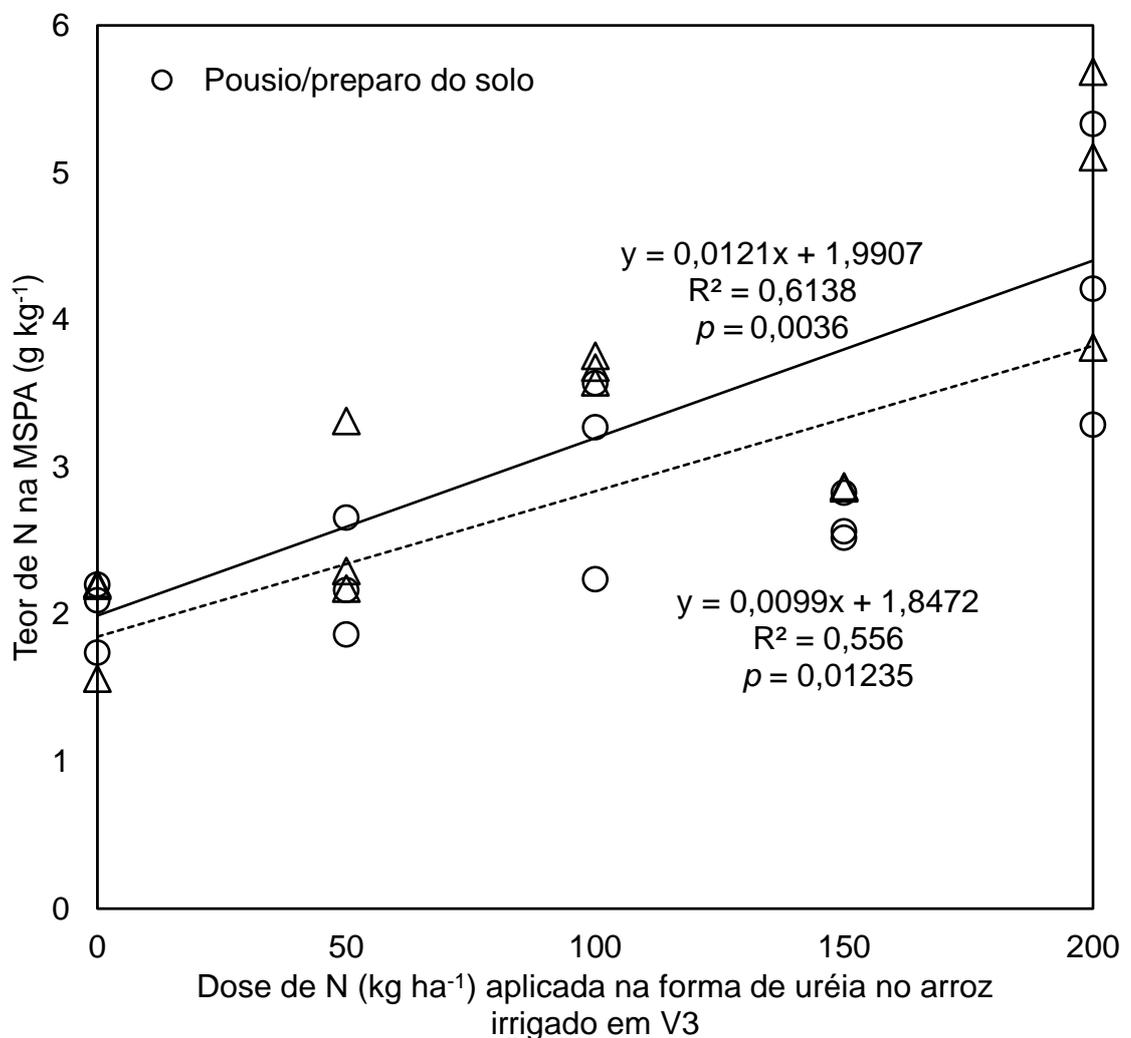


Figura 11. Relação entre a dose de N aplicada (kg ha⁻¹) com o teor de N contido na MSPA (g kg⁻¹) do arroz em diferentes sistemas de manejo hiberna em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste de regressão.

A produtividade do arroz (Figura 12) é influenciada pelo efeito do sistema de manejo hibernar e das doses de N aplicada no arroz irrigado. O efeito das doses de N aplicado via ureia (Figura 12) influenciou positivamente a produtividade de arroz irrigado até a dose de 150 kg N ha⁻¹. O efeito do sistema de manejo hibernar testado pode ser observado na Figura 12, o trevo persa com SD possibilitou o aumento de 0,7 Mg ha⁻¹ na produtividade de grãos do arroz irrigado na média entre as doses de N aplicadas.

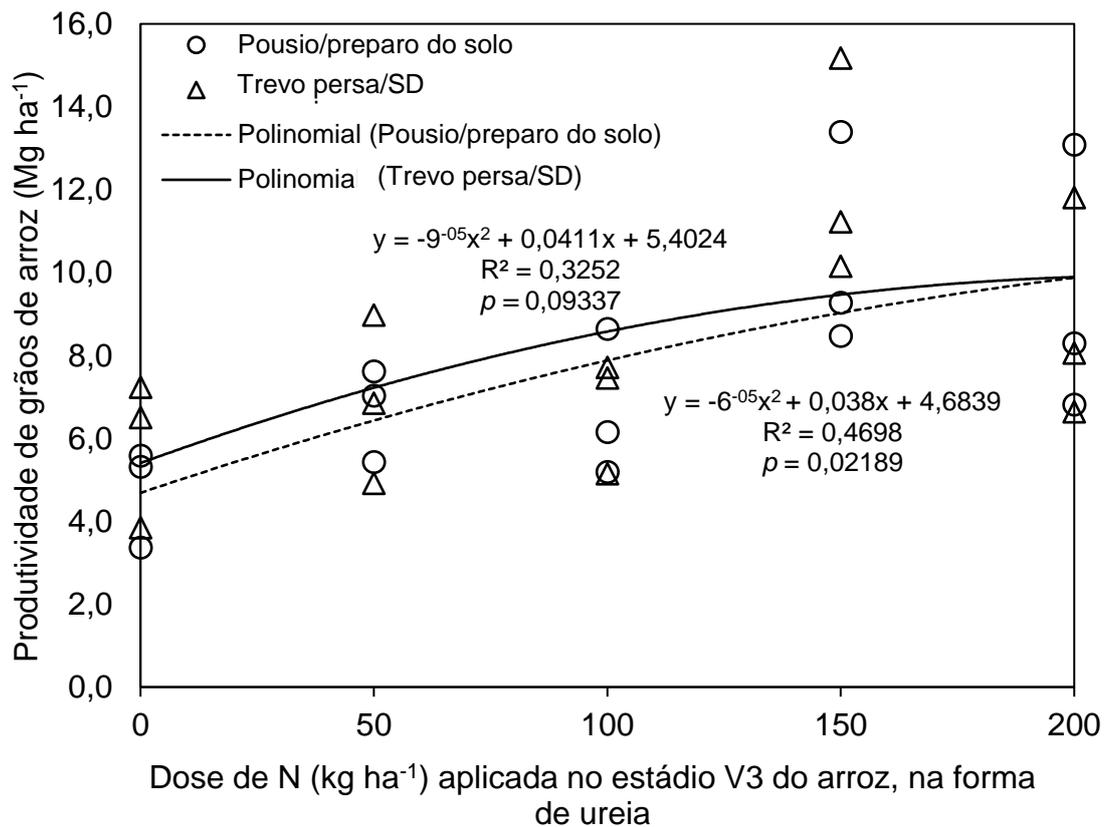


Figura 12. Produtividade de grãos com casca (13% umidade) vs. dose de N aplicada no arroz irrigado no estágio V3 para os dois sistemas de manejo hibernar testados em um Planossolo Háptico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste de regressão ($p < 0,05$).

Os resultados mostraram o incremento de 1,1 e 1,8 Mg ha⁻¹ nas doses de 0 e 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente, quando o arroz foi semeado em SD sobre resíduo de trevo persa do que quando em pousio e preparo do solo, mostrando ainda que a dose de máxima eficiência em produtividade é de 147,7 kg de N ha⁻¹, principalmente por não haver incremento de produtividade nas doses superiores a 150 kg de N ha⁻¹. Através da raiz da derivada das equações

geradas, a dose de N com máxima eficiência produtiva do arroz foi de 140,3 e de 160,5 kg de N ha⁻¹, para o sistema com trevo persa e para o sistema com pousio, respectivamente. Logo, a aplicação de doses acima de 150 kg de N ha⁻¹, não são recomendadas no cultivo de arroz irrigado, pois não aumentam e ainda podem levar a redução da produtividade, em ambos sistemas de manejo hibernar testados, principalmente no sistema com cultivo de trevo persa e SD de arroz, como mostram os resultados deste trabalho.

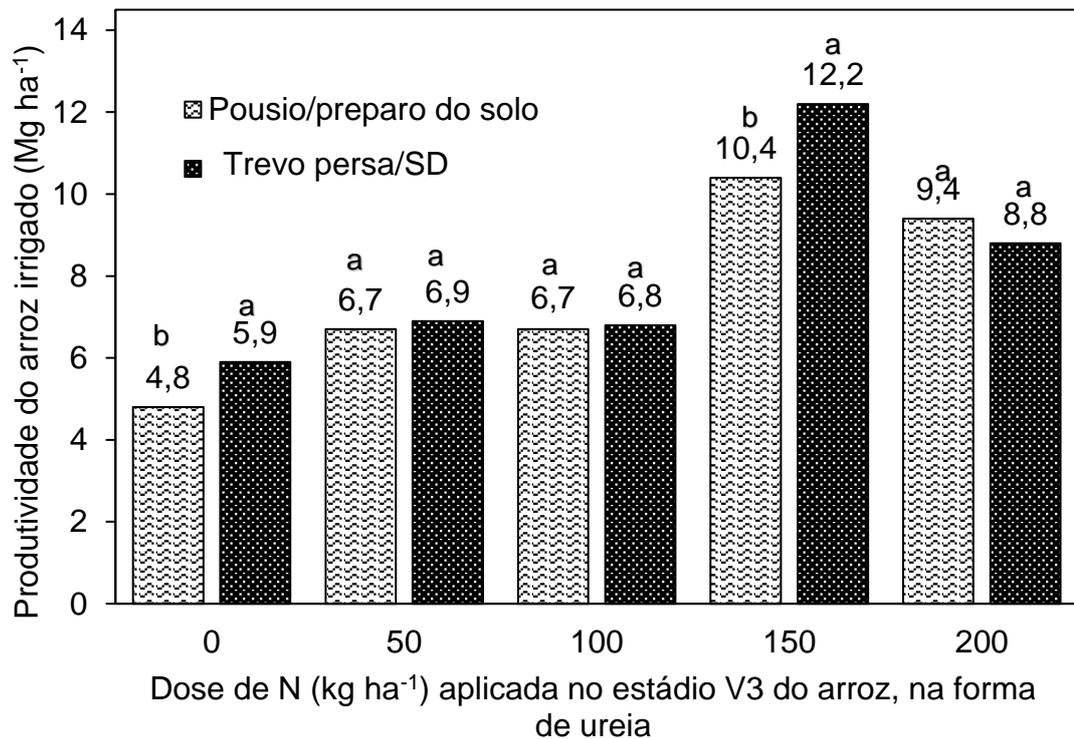


Figura 13. Produtividade de grãos com casca (13% umidade) vs. dose de N aplicada no arroz irrigado no estágio V3 para os dois sistemas de manejo hibernar testados em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de N mineral na solução do solo determinaram a produtividade de grãos (Figura 14), mostrando a existência de um efeito positivo nesta interação entre a capacidade do solo em fornecer N mineral via solução do solo e ele ser usado na produção de grãos pela planta de arroz irrigado. No entanto, maiores teores de N mineral no solo, nem sempre irão ser determinantes de maiores produtividades. Como é o caso da dose de 200 kg de

N há⁻¹, que apesar de oferecer maiores teores de N mineral na solução do solo (Figura 9), não determina maiores produtividades de arroz irrigado (Figura 13). Pois estes altos teores de N mineral na solução, podem levar a distúrbio fisiológicos na planta, acarretando em menores produtividades.

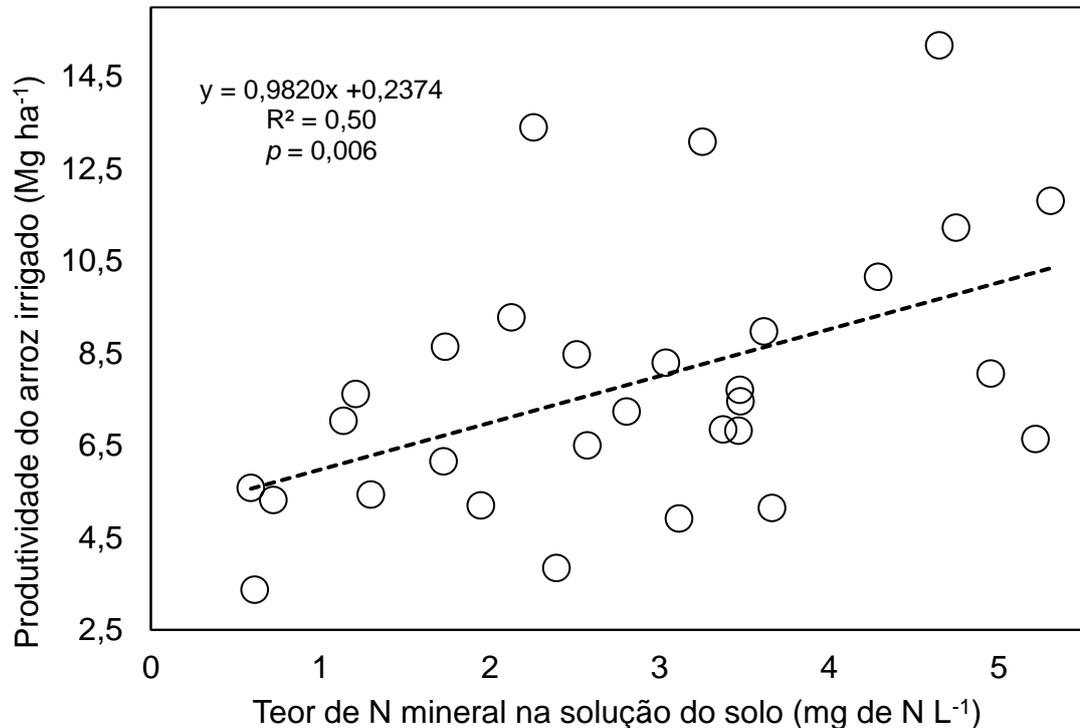


Figura 14. Regressão linear entre o teor de N mineral (mg L⁻¹) na solução do solo na média entre todas as semanas após alagamento do arroz coletadas vs. a produtividade de grãos com casca de arroz irrigado, independente do sistema hibernal testado em um Planossolo Háplico no Centro Tecnológico Integrar/Agrinova (Capivari do Sul, RS – 2018/2019). Análise de variância e teste de regressão ($p < 0,05$).

Com base nestes resultados, é possível entender como o sistema de manejo adotado no inverno pode alterar as características de disponibilidade de N na solução do solo, que por sua vez fornece mais N para a planta de arroz, que aumenta o teor de N em sua MSPA e acarreta na maior produção de biomassa verde e de grãos.

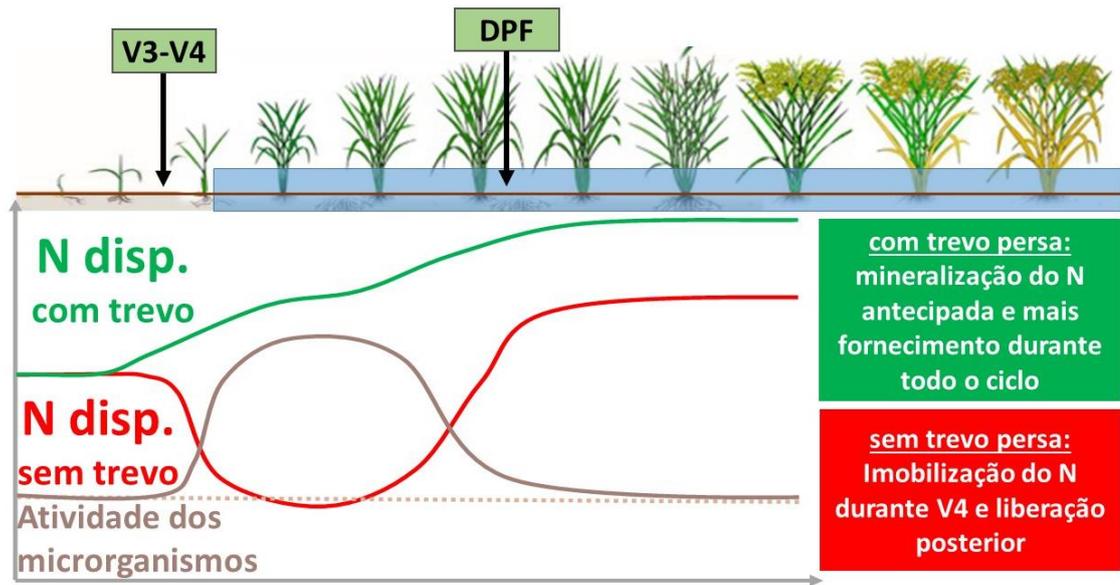


Figura 15. Modelo de resposta do solo ao cultivo de plantas leguminosas e em sistemas sem cobertura vegetal no inverno.

Como pode-se observar na Figura 15, em sistemas com pousio e preparo do solo no inverno a disponibilidade de N é influenciada pela presença de plantas hibernais e pelo tipo de planta cultivada, devido a sua relação C:N (Kirchmann, 1998). Plantas com menor relação C:N, têm capacidade de disponibilizar N mineral ao solo, antes e em maior quantidade do que plantas com maior relação C:N. Da mesma maneira, coberturas que são cultivadas no período entre safra do arroz tem maior aporte de biomassa e tem maior capacidade de ciclar nutrientes, que sistemas que contam apenas com as planta espontâneas, caso do pousio (Anghinoni et al., 2013; Assmann et al., 2017).

7. CONCLUSÕES

O cultivo de arroz irrigado sobre palhada de leguminosa hiberna do trevo persa leva a diminuição do pH e aumento da CE da solução ao final do ciclo do arroz, devido a liberação de ácidos orgânicos e nutrientes que este sistema de manejo hiberna proporciona.

Os valores de CE aumentam durante o alagamento do arroz, posteriormente diminuindo. Isto pode ser devido ao “pico” de liberação de nutrientes pela mineralização dos resíduos e sua diminuição devido a absorção de nutrientes pelo arroz.

Independentemente das semanas de alagamento do arroz, há maiores teores de N mineral na solução do solo durante todo o ciclo do arroz irrigado cultivado após leguminosa hiberna (trevo persa), em qualquer dose de N aplicada via adubação.

O cultivo de trevo persa aumenta a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e de grãos do arroz, pois acarreta maiores quantidades de N disponível no solo e maiores teores de N contido MSPA, que indica um melhor estado de nutrição da planta com N.

A MSPA e a produção de grãos do arroz são responsivas até a dose de 150 kg de N/ha, não respondendo a doses maiores, independentemente do manejo de inverno.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de trevo persa pode ser uma alternativa de economia na adubação nitrogenada do arroz irrigado cultivado em terras baixas. Portanto, mais estudos devem ser conduzidos na intenção de calibrar a recomendação de adubação nitrogenada para o arroz irrigado que tenha como cultivo hibernar antecessor uma planta leguminosa. O cultivo de leguminosas, como o trevo persa, para solos arenosos e com baixa CTC como os da Planície Costeira Externa e Interna, pode resultar no incremento de matéria MO e da fertilidade do solo, contribuindo na complexação do alumínio tóxico, no aumento da CTC e no maior suprimento de N, entre outros benefícios.

É comprovado que o aumento eficiente da MO no solo é diretamente dependente do cultivo de leguminosas juntamente com gramíneas. Logo, o cultivo de trevo persa não só está reduzindo os custos e aumentando os ganhos de receita, mas também está melhorando a qualidade química do solo arroseiro de forma a construir sua fertilidade, reduzindo custos futuros e minimizando impactos ambientais.

Propõe-se para trabalhos futuros realizar-se o cálculo da dose de máxima eficiência de adubação nitrogenada em sistemas com a presença de trevo persa e sem sua presença, para então delimitar-se a quantidade de N (kg ha^{-1}) que pode ser reduzida com o cultivo desta leguminosa e de outras plantas leguminosas e também que experimentos futuros testes ainda o fracionamento da adubação nitrogenada em mais de uma época de aplicação na produção de biomassa e de grãos de arroz irrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I. *et al.* Fertilidade dos solos com arroz irrigado no sul do Brasil. *In:* ANGHINONI, Ibanor. **Situação da fertilidade dos solos cultivados com arroz no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2004. v.1, cap. 3, p. 14 - 32.

ANGHINONI, I.; CARLOS, F. S. Cenários da lavoura arroteira. *In:* CARMONA, Felipe de Campos *et al.* **Sistemas integrados de produção agropecuária em Terras Baixas**: o cenário para a diversificação. Porto Alegre: RJR, 2018. cap. 2, p. 25-30.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 2, p. 325–380, 2013.

ASSMANN, J. M. *et al.* Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 108, p. 21-33, 2017.

AVILA, Luis Antonio de *et al.* Época de aplicação de nitrogênio e de início da irrigação na fitotoxicidade causada pela aplicação de imidazolinonas em arroz tolerante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1647-165, 2009.

AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JUNIOR, F. J.; MAGALHAES JUNIOR, E. A. M. Aspectos socioeconomicos da produção de arroz. *In:* GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44.

BABUJIA, L. C. *et al.* Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 42, n. 12, p. 2174-2181, 2010.

BADO, B. V.; AW, A.; NDIAYE, M. Long-term effect of continuous cropping of irrigated rice on soil and yield trends in the Sahel of West Africa. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, p. 133–141, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9355-7>. Acesso em: 6 jul. 2019.

BALOTA, E. L. *et al.* Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian oxisol: a long-term study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 197, p. 31-40, 2014.

BERI, V. *et al.* Nitrogen and phosphorus transformations as affected by crop residue management practices and their influence on crop yield. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 11, n. 2, p. 51-54, 1995.

BEUTLER, A. N. *et al.* Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1153- 1162, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1153. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/13644>. Acesso em: 14 ago. 2019.

BISSANI, C. A. *et al.* **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2004. 328 p.

BOENI, M, I. *et al.* **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2010. (Boletim técnico, n. 10).

BRINKMAN, R.; BLOKHUIS, W. A. Classification of the soils. *In*: JUO, A. S. R.; LOWE, J. A. (ed.). **The wetlands and rice production in subsaharan Africa**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1986. p. 31-42.

BUARACH, K. *et al.* Effects of tillage system and doils organic matter amendmet on growth, yield of Pathumithani 80 rice and carbon sequestration in paddy soil. **Modern Applied Science**, Toronto, v. 8, p. 1-7, 2014.

CALEGARI, A. *et al.* Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 32–39, 2013.

CAMARGO, E. R. *et al.* Efeito da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de emborrachamento do arroz na duração e taxa de acúmulo de massa seca dos grãos. **Revista Brasileira de Agrociencia**, Pelotas, v. 17, n. 4, p. 420-427, 2011.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-179, 1999.

CANCELLIER, E. L. *et al.* Eficiência agronômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de Terras Altas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 4, p. 650-656, 2011.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.

CARMONA, F. C. *et al.* **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas**. Porto Alegre: RJR, 2001.

CARMONA, R. D. *et al.* Cultivar, seeding rate and nitrogen side-dress fertilization influence in integrated production of rice and fish. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 811-814, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2018/2019: décimo primeiro levantamento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, Brasília, DF, v. 6, n. 11, p. 34-42, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: 4 out. 2019.

CORNELIO, V. M. D. *et al.* Time and rate of nitrogen application on grain yield disease, and seed sanitary quality of rice. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 47-52, 2007.

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

DENARDIN, L. G. O. *et al.* No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, p. 64-69, 2019.

DUARTE, F. M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

EL-SHAHWAY, A. S.; MAHMOUD, M. M. A.; UDEIGWE, T. K. Alterations in soil chemical properties induced by continuous rice cultivation: a study on the arid Nile delta soils of Egypt. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 2, p. 231-238, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ERIKSEN, A. B.; KJELDBY, M.; NILSEN, S. The effect of intermittent flooding on the growth and yield of wetland rice and nitrogen-loss mechanism with surface applied and deep placed urea. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 84, p. 387-401, 1985.

FABRE, D. V. O. *et al.* Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em várzea. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 29-38, 2011.

FAGERIA, N. K. Plant tissue test for determination of optimum concentration and uptake of nitrogen at different growth stages in lowland rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 2, p. 259-270, 2003.

FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 123-129, 2004.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Nitrogen uptake and its association with grain yield in lowland rice. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.32, n. 11, p. 1965-1974, 2009.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, E. A. B. Yield and yield components of lowland rice genotypes as influenced by nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 46, n. 14, p. 1723-1735, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistics: production / crops - rice, paddy - word**. [Base de dados FAOSTAT]. Rome, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 25 fev. 2019.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

FIDELIS, R. R. *et al.* Eficiência no uso de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 4, p. 822-826, 2011.

FREITAS, J. G. *et al.* Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 317-325, 2007.

FREITAS, T. F. S. *et al.* Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2397-2405, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600018>. Acesso em: 8 maio 2019.

GOMES, A. S. *et al.* **Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 89).

HILL, Erin C. *et al.* Cover crop impact on weed dynamics in an organic dry bean system. **Weed Science**, Champaign, v. 64, n. 2, p. 261–275, June 2016.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/home/lspa>. Acesso em: 27 mar. 2019.

IRGA. **Custo de produção ponderado do arroz irrigado do Rio Grande do Sul**. [2019]. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2019.

KIRCHMANN, H. *et al.* Shoot and root growth and nitrogen uptake by six green manure legumes. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Stockholm, v. 38, n. 1, p. 25–31, 1988. DOI:10.1080/00015128809436585. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00015128809436585>. Acesso em: 14 fev. 2020.

KISCHEL, E. *et al.* Efeito do nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 1, p. 84-89, 2011.

LEFREUVRE, J. C.; BOUCHARD, V. Wetlands and biodiversity. *In*: LAL, R. (ed.). **Enciclopedia of soil science**. New York: Dekker, 2002. p. 1412-1415.

LOPES, M. B. S. *et al.* Nitrogen doses in rice grow in a tropical lowland. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 4, p. 404-411, 2015.

LOUARN, G. *et al.* An empirical model that uses light attenuation and plant nitrogen status to predict within-canopy nitrogen distribution and upscale photosynthesis from leaf to whole canopy. **AoB PLANTS**, Oxford, v. 7, [art.] plv116, 2015.

MARTINS, A. P. *et al.* Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p.534–542, 2016. doi:10.1002/ldr.2640.

MARZARI, V. *et al.* População de plantas, dose de nitrogênio e aplicação de fungicida na produção de arroz irrigado. I - Características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 330-336, mar./abr. 2007.

MENEZES, V. G. *et al.* **Projeto 10 – Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS: avanços e novos desafios**. Cachoeirinha: IRGA. Estação Experimental do Arroz, 2012. 104 p.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Edição do Autor, 1991. 337 p.

O'CONNELL, S. *et al.* Short-term nitrogen mineralization from warm-season cover crops in organic farming systems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 396, n. 1/2, p. 353–367, 2015.

O'REILLY, K. A. *et al.* Nitrogen cycling, profit margins and sweet corn yield under fall cover crop systems. **Canadian Journal of Soil Science**, Toronto, v. 92, n. 2, p. 353–365, 2012.

POUTALA, R. T.; HANNUKALA, A. The effect of the method of incorporation of *Trifolium resupinatum* L. and *Vicia villosa* Roth. Residues in the soil on the performance of a succeeding cereal crop. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, Copenhagen, v. 45, n. 4, p. 251–257, 1995. DOI:10.1080/09064719509413111. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064719509413111?journalCode=sagb20>. Acesso em: 6 jul. 2019.

QUADROS, P. D. *et al.* The effect of tillage system and crop rotation on soil microbial diversity and composition in a subtropical Acrisol. **Diversity**, Basel, v. 4, n. 4, p. 375–395, 2012.

REIS, A. F. B. *et al.* Relationship of nitrogen and crop performance in aerobic rice and continuous flooding irrigation in weathered tropical lowland. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 95, p. 14-23, 2018.

RESENDE, A. V. *et al.* Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **IPNI - Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 156, p. 1-19, 2016. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/issue/IA-BRASIL-2016-156>. Acesso em: 22 dez. 2019.

SANTANA, C. T. C.; MARINHO, M. M. A cultura do arroz nas regiões geográficas. *In*: OLIVEIRA NETO, A. A. (org.). **A culturado arroz**. Brasília, DF: CONAB, 2015. cap. 2.22, p. 96-102.

SBCS. **Manual de calagem e adubação**: para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2016.

SCHOENFELD, R. *et al.* Produtividade do arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciada pela dose e pelo fracionamento da aplicação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais [...]**. [S.l.]: SOSBAI, 2013. v. 2, p. 782-785.

SCHOENFELD, R. *et al.* Resposta do arroz irrigado a níveis de adubação em experimento de Longa duração. *In*: FERTBIO 2012, 2012, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: [S.n.], 2012.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; BOHNEN, H. Alterações nos teores de nutrientes em dois solos alagados, com e sem planta de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 487-490, jun. 2003.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SINGH, L.; MAHESHWARI, S. K.; SHARMA, D. Effect of date of planting and plant population on growth, yield, yield components and protein content of pigeonpea [(*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)]. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 41, n. 6, p. 535-538, 1971.

SOSBAI. Arroz irrigado: **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. 31. ed. Pelotas: SOSBAI, 2018. 200 p.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados (reações de redox). *In*: MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 185-211.

STENVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. *In*: STEVENSON, F. J. *et al.* (ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. cap. 1, p. 1-42.

TAKIJIMA, Y. Studies on organic acids in paddy field soils with reference to their inhibitory effects on the growth of rice plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Chillán, v. 10, n. 5, p. 14-21, 1964. DOI: 10.1080/00380768.1964.10431135. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.1964.10431135>. Acesso em: 23 out. 2019.

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

VEÇOZZI, T. A. *et al.* Soil solution and plant nitrogen on irrigated rice under controlled release nitrogen fertilizers. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 1, p. 1-5, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20170279. Disponível em: sci-hub.tw/10.1590/0103-8478cr20170279. Acesso em: 17 nov. 2019.

VELOSO, M. G. *et al.* High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 268, n. 12, p. 15-23, 2018.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 190, n. 7, p. 139-146, 2019.