

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA**

**MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ
E SUA INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE GASES DE
EFEITO ESTUFA E NA PRODUTIVIDADE DA
CULTURA DA SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Krauspenhar Rosalino

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ E SUA
INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA
E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Pedro Krauspenhar Rosalino

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, Área de concentração em Agrobiologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agrobiologia

Orientador: Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rosalino, Pedro Krauspenhar
Manejo do solo na entressafra do arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura da soja. / Pedro Krauspenhar Rosalino.-2014.
66 p.; 30cm

Orientador: Sandro José Giacomini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, RS, 2014

1. Óxido nitroso 2. Metano 3. Fixação biológica de nitrogênio I. Giacomini, Sandro José II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Pedro Krauspenhar Rosalino. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: pedrorosalino@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturas e Exatas
Programa de Pós-Graduação Agrobiologia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ E SUA
INFLUÊNCIA NA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

elaborada por
Pedro Krauspenhar Rosalino

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agrobiologia

Comissão Examinadora:

Sandro José Giacomoni, Dr.
(Presidente/Orientador)

Celso Aita, Dr. (UFSM)

Tiago Zschornack, Dr. (IRGA)

Santa Maria, 12 de março de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela força para sempre seguir em frente.

Em especial ao professor Sandro José Giacomini, pela oportunidade e pela confiança depositada em meu trabalho. Agradeço por sua orientação, sua paciência e amizade.

Ao Prof. Ênio Marchesan pela cedência da área experimental e pela atenção dedicada ao trabalho.

Ao Laboratório de Biotransformações do Carbono e Nitrogênio (LABCEN), principalmente aos colegas pós-graduandos, sob orientação do prof. Sandro, meus sinceros agradecimentos. Em especial ao Dr. Eduardo Lorensi de Souza, pela disposição em ajudar, pelos conselhos e ensinamentos trocados.

Aos bolsistas de iniciação científica do LABCEN agradeço pelos momentos de descontração, pela troca de experiências, pela amizade e principalmente pela dedicação e comprometimento que vocês tiveram com este trabalho. Aos funcionários do Departamento de Solos da Universidade, ficam meus agradecimentos pelos trabalhos prestados.

À banca examinadora desse trabalho composta pelos doutores Sandro J. Giacomini, Celso Aita e Tiago Zschornack, pelas considerações e contribuições.

Agradeço aos meus pais Demarino e Cleria, pelo carinho e amor incondicional, pela solidariedade e por todo suporte fornecido para a realização desse sonho. Agradeço em especial à minha amada Mariana D. Barin, pelo companheirismo, amizade e pelo apoio nos momentos mais difíceis dessa etapa e pela agradável companhia nas horas de descontração, muito obrigado amor. Ao meu irmão Thales e a minha cunhada Viviane pela companhia durante essa caminhada.

Agradeço também a todos meus amigos e demais pessoas que de certa forma colaboraram para a realização desse trabalho.

Muito obrigado!

“Aos poucos a consciência humana começa a entender que o mundo que vivemos é um imenso ecossistema onde somente poderemos viver com sustentabilidade e atitudes ecologicamente corretas. Você é responsável!”

(Luís Alves)

“A ciência permanecerá sempre a satisfação do desejo mais alto da nossa natureza, a curiosidade; fornecerá sempre ao homem o único meio que ele possui de melhorar a própria sorte.”

(Renan Ernest)

“A alegria está na luta, na tentativa, no anseio, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia
Universidade Federal de Santa Maria

MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ E SUA INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

AUTOR: PEDRO KRAUSPENHAR ROSALINO

ORIENTADOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Santa Maria, 12 de março de 2014.

O cultivo da soja (*Glycine Max*) em rotação com o arroz (*Oryza sativa*) em solos de várzea é uma prática crescente no estado do Rio Grande do Sul (RS). No entanto, existem poucas informações sobre a emissão de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) durante o cultivo da soja em várzea e a contribuição da fixação biológica (FBN) para a cultura nesse ambiente. O estudo teve por objetivo avaliar as emissões de CH_4 e N_2O , a FBN e a produtividade da soja em várzea manejada durante três anos com diferentes sistemas de manejo do solo/palha após a colheita do arroz. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2012/2013 em um Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico. Os tratamentos foram compostos por diferentes sistemas de manejo do solo/palha aplicados durante três anos após a colheita do arroz: azevém (AZ), grade (G), rolo-faca (RF), pousio + grade (P+G), grade + grade (G+G), rolo-faca + grade (RF+G), retirada da palha (RP) e pousio (P). Além desses, foi avaliada uma área natural de banhado (AN) que serviu como testemunha. A AN apresentou as menores emissões de N_2O , porém elevada emissão de C- CH_4 (161 kg ha^{-1}) quando comparada ao cultivo da soja em várzea. As maiores emissões de N_2O ocorreram no período de cultivo da soja, sendo observada no tratamento AZ a maior emissão acumulada desse gás ($7,9 \text{ kg de N-N}_2\text{O ha}^{-1}$). O manejo do solo/palha realizado com G, comparado aos sistemas com RF e P, provocam aumento da densidade em até 10% e redução na macroporosidade e porosidade total na camada superficial do solo. As modificações causadas nos atributos físicos do solo pelos diferentes sistemas de manejo do solo/palha, não resultaram em diminuição no acúmulo de N, contribuição da FBN (média de 67%) e produtividade de grãos de soja.

Palavras-chave: Óxido nitroso. Metano. Fixação biológica de nitrogênio.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Graduate Program in Agrobiologia
Federal University of Santa Maria

SOIL MANAGEMENT IN RICE INTER-CROPPING AND ITS INFLUENCE ON GREENHOUSE GASES EMISSION AND SOYBEAN CROP PRODUCTIVITY

AUTHOR: PEDRO KRAUSPENHAR ROSALINO

ADVISER: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Santa Maria, 12th march, 2014.

The soybean (*Glycine max*) cultivation in rotation with rice (*Oryza sativa*) in paddy soils is a growing practice in the state of Rio Grande do Sul. However, there is little information on the emission of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) during soybean growing season in lowland and the contribution of biological nitrogen fixation (BNF) for crops in this environment. The study was aimed to evaluate the emissions of CH₄ and N₂O, BNF and soybean productivity in lowland managed for three years with different systems of soil tillage/straw after the rice harvest. The experiment was conducted during the growing season of 2012/2013 on a Plano soil. The treatments consisted of different systems of soil management/straw applied for three years after the rice harvest: ryegrass (RY), disc harrow (DH), knife-roller (KR), fallow + disc harrow (F + DH), disc harrow + disc harrow (DH + DH), knife-roller + disc harrow (KR + DH), removal of straw (RS) and fallow (F). Besides these, a natural lowland (NL) was used as control. The NL had the lowest N₂O emissions; however CH₄-C (161 kg ha⁻¹) emissions were higher when compared to soybean cultivated in lowland. The highest N₂O emissions occurred from soybean cultivation, being observed in the treatment RY where the highest cumulative emission was 7.9 kg N₂O-N ha⁻¹. The management of soil/straw performed with DH, compared to systems with KR and F, caused increased density by up to 10% and reduction in macro-porosity and total porosity in the topsoil. Changes in soil physical properties caused by different soil/straw tillage systems did not result in a decreased N accumulation, BNF contribution (mean 67%) and productivity of soybean.

Key words: Nitrous oxide. Methane. Biological nitrogen fixation.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Resistência à penetração média do solo nos diferentes sistemas de manejos realizados sobre a palha do arroz no período de entressafra, em KPa26

Figura 2. Altura de plantas (cm) e diâmetro da haste (mm) de plantas de soja, cultivadas sob diferentes sistemas de manejos do solo realizados sobre a palha do arroz no período de entressafra. . Barras da mesma cor seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.....27

CAPÍTULO II

Figura 1. A: Espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária do ar; B: NH_4^+ e C: NO_3^- 50

Figura 2. Fluxos de N- N_2O . Significado das letras: S: semeadura da soja; I: irrigação da soja por alagamento; PS: período de senescência da soja; C: colheita da soja; SA: semeadura do azevém; N: aplicação de nitrogênio (ureia) em cobertura no azevém (30 kg N ha^{-1}).....51

Figura 3. Matéria seca acumulada, em kg ha^{-1} , durante o período de senescência da soja.....52

Figura 4. Fluxos de C- CH_4 . Significado das letras: S: semeadura da soja; I: irrigação da soja por alagamento; PS: período de senescência da soja; C: colheita da soja; SA: semeadura do azevém; N: aplicação de nitrogênio (ureia) em cobertura no azevém (30 kg N ha^{-1})56

Figura 5. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) = $(\text{CH}_4 \times 24) + (\text{N}_2\text{O} \times 296)$, em $\text{Mg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, das emissões acumuladas de CH_4 e N_2O 59

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados.....	18
Tabela 2. Dados médios de densidade, porosidade total, macro e microporosidade do solo, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm	25
Tabela 3. Valores de delta (δ) ^{15}N na parte aérea da planta de soja e das plantas testemunhas e percentagem de N_2 fixado biologicamente (N-FBN) pela soja, determinados pelo método de abundância natural de ^{15}N	30
Tabela 4. Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, contribuição da fixação biológica de nitrogênio e rendimento de grãos na cultura da soja, cultivada sob diferentes sistemas de manejo do solo realizados no período de entressafra	31

CAPÍTULO II

Tabela 1. Cronograma das principais operações realizadas a campo durante o período de avaliações de N_2O e CH_4	46
Tabela 2. Emissões acumuladas de N- N_2O durante o período de cultivo da soja, durante o período de entressafra e emissão total de N- N_2O acumulada nos tratamentos cultivados com soja e na área natural	55
Tabela 3. Emissões acumuladas de C- CH_4 durante o período de cultivo da soja, durante o período de entressafra e emissão total de C- CH_4 acumulada nos tratamentos cultivados com soja e na área natural	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	CAPÍTULO I – INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO SOBRE A FIXAÇÃO BIOLÓGICA E A PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO COM O ARROZ IRRIGADO EM SOLO DE VÁRZEA.....	15
2.1	Resumo.....	15
2.2	Introdução	16
2.3	Material e métodos	17
2.3.1	Localização, clima e solo	17
2.3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	18
2.3.3	Densidade, macro, micro e porosidade total do solo	19
2.3.4	Avaliação de resistência à penetração do solo	20
2.3.5	Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, fixação biológica de nitrogênio e rendimento de grãos da cultura	21
2.3.6	Avaliação fenológica	22
2.4	Resultados e discussão	23
2.4.1	Características físicas do solo	23
2.4.2	Avaliação fenológica	27
2.4.3	Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, fixação biológica de nitrogênio e rendimento de grãos	28
2.5	Conclusões.....	32
2.6	Literatura citada	33
3.	CAPÍTULO II – EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CULTURA DA SOJA APÓS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ	41
3.1	Resumo.....	41
3.2	Introdução	42
3.3	Material e métodos	43
3.3.1	Localização, clima e solo	43
3.3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	44
3.3.3	Avaliação dos fluxos de N ₂ O e CH ₄ e análises estatísticas	46

3.3.4	Coletas e análises de solo	48
3.4	Resultados e discussão	48
3.4.1	Espaço poroso saturado por água (EPSA) e N mineral.....	48
3.4.2	Emissão de N ₂ O.....	50
3.4.3	Emissão de CH ₄	55
3.4.4	Potencial de aquecimento global parcial (PAGp).....	58
3.5	Conclusões.....	61
3.6	Literatura citada	61

1 INTRODUÇÃO GERAL

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre devido à concentração de determinados gases na atmosfera. Esses gases absorvem parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre impedindo a dissipação do calor para o espaço, mantendo a temperatura média do planeta em níveis adequados para a existência dos seres vivos (TOWNSEND et al., 2006). Porém, as concentrações dos gases de efeito estufa (GEE) vêm aumentando após a Revolução Industrial, fazendo com que a temperatura média da atmosfera terrestre aumente gradualmente. Entre os gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, alguns são oriundos da atividade agropecuária, como é o caso do dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (IPCC, 2007).

Segundo o IPCC (2007), as causas do aquecimento global estão fortemente ligadas às atividades antrópicas, tais como o desmatamento, as queimadas e a atividade agropecuária, sendo que dessas, a agricultura é considerada uma importante fonte emissora desses gases, contribuindo mundialmente com cerca de 20% das emissões totais de GEE (JOHNSON et al., 2005). No Brasil as emissões de GEE relacionadas à agricultura estão estimadas em 75% de CO_2 , 91% de CH_4 e 94% das emissões de N_2O (CERRI & CERRI, 2007).

O N_2O possui um tempo de permanência na atmosfera de 100 anos (FORSTER et al., 2007), onde estima-se que as atividades agrícolas sejam responsáveis por mais de 75% do total mundial das emissões antrópicas de N_2O (DUXBURY et al., 1993). Esse gás é produzido principalmente através dos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), os quais são dependentes da umidade do solo, pH, temperatura e carbono (C) disponível aos microrganismos (STEHFEST & BOUWMAN, 2006). As taxas de desnitrificação tendem a aumentar com a elevação do teor de NO_3^- no solo, associadas às demais condições favoráveis para ocorrência do processo (DALAL et al., 2003). As emissões de N_2O podem ser influenciadas pelo tipo de preparo do solo e também pela qualidade do resíduo vegetal, principalmente aqueles oriundos de plantas leguminosas, em função da rápida mineralização no nitrogênio (N) presente nesses resíduos (BAGGS et al., 2003).

Mundialmente a agricultura é responsável por 55% da emissão total de CH₄ (IPCC, 2007). Em ambientes agrícolas a produção de CH₄ ocorre principalmente em áreas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação, em que o solo permanece alagado durante grande parte do ciclo da planta. Esta condição favorece a ação das bactérias metanogênicas, as quais atuam em ambientes anóxicos (GARCIA et al., 2000) como, por exemplo, em lavouras de arroz que utilizam o alagamento do solo durante o cultivo desta cultura.

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo e a produção mundial está em torno de 662 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 158 milhões de hectares, onde 80 milhões de hectares são produzidos sob regime de alagamento do solo (SOSBAI, 2010). O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de arroz, sendo o estado do Rio Grande do Sul (RS) responsável por mais de 60% da produção nacional (CONAB, 2011). No RS existem aproximadamente 5,4 milhões de hectares de solos de várzea (PINTO et al., 2004), onde aproximadamente 1 milhão de hectares são cultivados anualmente com arroz irrigado, sob diferentes práticas de manejo do solo (SOSBAI, 2010). No RS as práticas de manejo do solo ocorrem principalmente no período após a colheita e antecedendo a semeadura do arroz, (outono-inverno) que por sua vez, podem ter influencia sobre as emissões de GEE, no cultivo seguinte.

O uso intensivo desses solos de várzea com a monocultura do arroz irrigado causa a sua degradação (MARTINEZ et al., 2003) levando à queda de rendimento, pois propicia infestação dessas áreas por plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho (*Oryza sativa*) (MARCHESAN et al., 2004). Entre as espécies produtoras de grãos, a soja (*Glycine max* L. (Merril)) surge como opção de cultivo em áreas de várzea em rotação com o arroz irrigado (PARFITT, 2002), já que essa leguminosa dispõe de mecanismos de adaptação que contribuem com o processo de tolerância ao excesso hídrico momentâneo (PIRES et al., 2002). Por se tratar de uma leguminosa, pertencente à família botânica Fabaceae, ela é capaz de fixar N atmosférico, pelo processo de fixação biológica de N (FBN), possível através de uma associação simbiótica entre raízes de plantas leguminosas e bactérias (SANTOS et al., 2008). Alguns estudos realizados em solo de sequeiro com boa drenagem, no sistema de plantio direto (SPD), tem demonstrado que mais de 80% do N acumulado na planta da soja é oriundo da FBN (ZOTARELI, 2000; MACEDO, 2003). Diversos estudos voltados aos aspectos agrônômicos vêm sendo desenvolvidos em relação

ao comportamento dessa leguminosa em solos de várzea, porém há uma grande carência de informações quanto à questão ambiental, principalmente aquelas relacionadas às emissões de GEE oriundos desses agroecossistemas e a FBN na soja, quando cultivada em solos de várzea sucedendo o cultivo do arroz.

O presente estudo teve por objetivo avaliar as emissões de CH_4 e N_2O , a FBN e a produtividade da soja em várzea no RS, manejada durante três anos com diferentes sistemas de manejo do solo/palha após a colheita do arroz.

2 CAPÍTULO I – INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO SOBRE A FIXAÇÃO BIOLÓGICA E A PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO COM O ARROZ IRRIGADO EM SOLO DE VÁRZEA.

2.1 Resumo

O monocultivo do arroz vem causando a insustentabilidade das áreas de várzea do estado do RS. A recuperação dessas áreas é possível através do uso de rotação de culturas com a introdução de novas espécies. Entre elas destaca-se a cultura da soja, a qual é capaz de fixar o N atmosférico através do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN). O objetivo do presente estudo foi quantificar a contribuição da FBN na planta de soja cultivada em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha, em sucessão ao arroz irrigado na região Sul do Brasil. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2012/2013, em um Planossolo Hidromórfico. Os tratamentos com diferentes sistemas de manejo do solo sobre a palha foram: azevém (AZ), grade (G), rolo-faca (RF), pousio + grade (P+G), grade + grade (G+G), rolo-faca + grade (RF+G), retirada da palha (RP) e pousio (P). Sistemas de manejo do solo/manejo da palha realizados com grade de discos comparado a sistemas que utilizam rolo-faca ou o não-revolvimento do solo provocam aumento da densidade (10%) e redução na macroporosidade e porosidade total na camada superficial do solo de várzea. As modificações causadas nos atributos físicos do solo pelos diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha não resultaram em modificações significativas no acúmulo de N, contribuição da FBN e rendimento de grãos. A maior contribuição da FBN (81%) para o acúmulo de N na soja foi observado no solo mantido em pousio.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio. *Glycine max*. Manejos do solo. *Oryza sativa*. Solo de várzea.

2.2 Introdução

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado apresenta importante papel na economia do estado do Rio Grande do Sul (RS), o qual é o maior produtor nacional deste cereal. Em 2013 foram cultivados no RS aproximadamente 1,2 milhões de hectares com arroz (IRGA, 2013). Na maioria das situações as áreas de várzea são cultivadas com a monocultura do arroz, condição que aumenta gradativamente os custos de produção devido o esgotamento físico e químico dos solos (IRGA, 2009). Aliado a isso, a monocultura do arroz pode proporcionar a infestação das áreas com o arroz vermelho, principal invasora da cultura que provoca elevadas perdas de produtividade. Entre as estratégias indicadas para reduzir os efeitos negativos do monocultivo do arroz sobre os agroecossistemas de várzea, está o uso da rotação de culturas, sendo a soja (*Glycine max* L.) a cultura de grãos com maior potencial para esse fim (EMBRAPA, 2004).

O uso da soja em várzea se destaca por essa facilitar o controle de plantas invasoras à cultura do arroz (IRGA, 2001), por ser uma cultura de verão com boa tolerância a períodos curtos de excesso hídrico (PIRES et al., 2002) e por proporcionar boas garantias de comercialização (BRUM, 2002). A soja também possui a capacidade de fixar biologicamente o N₂ atmosférico através do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) quando em simbiose com bactérias específicas. Em condições de sequeiro a FBN é responsável por manter as elevadas produtividades dessa cultura, já que é através da FBN que a planta obtém a maior parte do N necessária para seu crescimento. Embora a soja apresente boa tolerância a períodos curtos de inundação, em condições de várzea, em que existe a predominância de solos hidromórficos caracterizados principalmente por apresentarem uma má drenagem superficial natural, o processo de FBN pode ser limitado pela menor disponibilidade de O₂ no solo. Essa condição pode afetar o estabelecimento da simbiose entre a planta e os microrganismos, o desenvolvimento dos nódulos e a atividade dos bacteroides no interior dos nódulos, os quais são os responsáveis pela fixação do N. Com a redução da FBN, menor desenvolvimento e conseqüentemente menor produtividade de grãos pode ser observado com a soja em várzea.

O manejo do solo é considerado um dos principais fatores que afetam as condições físicas do solo (p. ex. compactação, densidade, porosidade e a resistência à penetração), as quais podem influenciar a infiltração de água, a disponibilidade de O₂ e o crescimento radicular das plantas. No estado do RS, em regiões de várzea, onde existe predomínio da monocultura do arroz, o manejo do solo/manejo dos resíduos culturais ocorre predominantemente em duas épocas: após a colheita ou antecedendo a semeadura da cultura. O manejo logo após a colheita (preparo antecipado do solo) normalmente é realizado com grade e, ou, rolo-faca na presença de uma fina lâmina de água. Após, a área permanece em pousio ou é cultivada com plantas de cobertura para uso como forragem. No manejo realizado no período que antecede a semeadura, os resíduos culturais são incorporados ao solo com grade. O uso continuado desses diferentes tipos de manejo do solo/manejo da palha deve ter implicações sobre as características físicas do solo e conseqüentemente sobre o desenvolvimento das plantas cultivadas em rotação com o arroz irrigado. Na literatura consultada não foram encontrados trabalhos que avaliaram esses aspectos em área de várzea. Considerando a importância da soja para uso em rotação em várzea, é necessário um melhor entendimento sobre o efeito dos diferentes sistemas de manejo do solo sobre a FBN e a produtividade de grãos da cultura. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi quantificar a FBN e a produtividade da soja cultivada em área de várzea após três anos de uso de diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha do arroz no período de entressafra.

2.3 Material e métodos

2.3.1 Localização, clima e solo

Este estudo foi realizado a campo no período de novembro de 2012 a novembro de 2013, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°45´S, 53°42´W; cerca de 95 m de altitude), RS, Brasil. O clima da região é do tipo clima subtropical úmido, classe 'Cfa'

(segundo classificação de Köppen). Os dados meteorológicos do período avaliado foram obtidos nos registros da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante aproximadamente 0,5 km da área experimental e apresentados na figura 1. O solo da área experimental é classificado como com Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006). As características do solo na camada de 0 – 0,1 m no início das avaliações foram as seguintes: C orgânico 0,6%; pH em água - 4,8; densidade - 1,41 g cm⁻³; 22% areia; 58% silte; 20% argila; 19,6 mg kg⁻¹ de P e 94,3 mg kg⁻¹ de K.

2.3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos avaliados fazem parte de um experimento instalado em 17 de abril de 2010 no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas de 4,20 x 4,30 m (18 m²). O experimento era formado por oito tratamentos compostos por diferentes sistemas de preparo do solo/manejo da palha na entressafra da cultura do arroz (SOUZA, 2013). Na tabela 1 estão apresentados os tratamentos avaliados no presente estudo.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Tratamentos	Descrição dos tratamentos
Azevém (AZ)	Cultivo de azevém (<i>Lolium multiflorum</i> L.) pós-colheita sobre a palha de arroz
Grade (G)	Incorporação da palha de arroz com grade pós-colheita
Rolo-Faca (RF)	Incorporação da palha de arroz com rolo-faca pós-colheita
Pousio+Grade (P+G)	Incorporação da palha de arroz com grade no mês de agosto
Grade+Grade (G+G)	Incorporação da palha de arroz com grade pós-colheita e segunda gradagem no mês de agosto
Rolo-faca+Grade (RF+G)	Incorporação da palha de arroz com rolo-faca pós-colheita e gradagem no mês de agosto
Retirada da palha (RP)	Retirada da palha pós-colheita
Pousio (P)	Sem manejo sobre a palha

Em 2012 a colheita do arroz foi realizada no início de abril e a palha do arroz remanescente foi retirada das parcelas, pesada e redistribuída uniformemente sobre as mesmas. A quantidade de palha de arroz que foi adicionada sobre a superfície de todas as parcelas foi de 8,3 Mg ha⁻¹. Nas parcelas do tratamento AZ, aos 54 dias após a colheita do arroz foi feita a semeadura do azevém a lanço. Durante o cultivo do azevém a cultura recebeu dois cortes na entressafra 2012, simulando o efeito do pastejo de animais. A quantidade de matéria seca (MS) do azevém na entressafra 2012 foi 2,7 Mg ha⁻¹. No tratamento com RF, no momento da passagem do equipamento o solo apresentava uma lâmina de água em torno de 5 cm de altura.

A semeadura da soja (BMX Potência RR[®]) foi realizada em 05/11/2012. As sementes receberam tratamento com fungicida (Maxin[®]) e inseticida (Cruiser[®]) e foram inoculadas com duas doses de inoculante turfoso (gênero *Bradyrhizobium*, estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 587). A semeadura foi feita de forma mecanizada com semeadora para plantio direto, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com 10 linhas de plantas em cada parcela. Após a emergência das plântulas foi feito desbaste manual do excedente para obter a densidade desejada de plantas (26 plantas/m²). A adubação de base foi de 20 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e de potássio (K). Os demais tratos culturais adotados seguiram as recomendações técnicas para o cultivo de soja no RS.

A colheita da soja foi realizada em 16/04/2013 e a palha remanescente da colheita, composta basicamente por talo e vagem, foi retirada, pesada e devolvida/distribuída uniformemente sobre a superfície do solo em todas as parcelas, totalizando 2,0 Mg ha⁻¹. Posteriormente, em 27/04/2013, foi realizada a semeadura a lanço do azevém em todos os tratamentos que foram cultivados com soja, os quais receberam dois cortes na entressafra 2013 para simulação do efeito do pastejo de animais, e que receberam aplicação de N na forma de ureia (30 kg N ha⁻¹) após o primeiro corte.

2.3.3 Densidade, macro, micro e porosidade total do solo

A avaliação da densidade do solo foi realizada durante o ciclo da cultura da soja, com uso de anéis volumétricos. Para tal, foram coletadas amostras

indeformadas de solo nas profundidades de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm, com total de duas repetições por parcela/profundidade. As dimensões dos anéis metálicos utilizados foram de 5,0 cm de diâmetro e 3,5 cm de altura. A densidade do solo foi determinada após a secagem da amostra em estufa a 105° C por 24 h até atingir peso constante de acordo com Dane & Hopmans, 2002. A mesma foi calculada dividindo-se a massa de solo seco pelo volume total do anel (EMBRAPA, 1997). A determinação da porosidade total (pt), macro e microporosidade do solo foi feita com auxílio do método da coluna de areia, descrito por Reinert & Reichert, (2006). As amostras foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de 2/3 da altura dos cilindros, pelo tempo de 24 h para determinação da massa saturada da amostra. Posteriormente foram levadas a coluna de areia, aplicando-se uma determinada tensão até atingir o equilíbrio entre a água retida da amostra e a tensão aplicada. Nessa tensão, o conteúdo de água retirado da amostra representa a macroporosidade do solo e o volume de água retido representa a microporosidade (OLIVEIRA, 1968). Após a pesagem das amostras em balança analítica, os valores de macro e microporosidade são obtidos através do valor da pt que é dada pela fórmula abaixo, onde d_s é a densidade do solo e d_p a densidade da partícula em g cm^{-3} .

$$Pt = (1 - (d_s/d_p))100$$

Para a análise estatística os resultados referentes à densidade e a porosidade foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

2.3.4 Avaliação de resistência à penetração do solo

A determinação da resistência à penetração do solo foi realizada no dia 09/02/2013, durante o ciclo da cultura da soja, sob condições de solo friável, com o auxílio de um aparelho penetrômetro de impacto (modelo FALKER, PLG 1020) com ponta tipo cone. Foram tomadas quatro repetições aleatoriamente dentro de cada

parcela, totalizando 16 pontos amostrais por tratamento, numa profundidade de 0 - 40 cm. Os resultados em KPa observados nesse equipamento é obtido através da relação entre a força exercida para a penetração do cone metálico no solo e sua área basal (BRADFORD, 1986).

2.3.5 Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, fixação biológica de nitrogênio e rendimento de grãos da cultura

A coleta das plantas para avaliação da matéria seca total (MST), acúmulo de N e FBN, foi realizada no período de enchimento de grãos da cultura da soja (ALVES et al., 2006), observado aproximadamente em 28/02/2013. Para tal, foram seccionadas 12 plantas por parcela ao nível do solo, sendo cortados dois segmentos de 50 cm linear contendo seis plantas cada segmento, sendo esses estabelecidos aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Após a coleta das plantas de soja, foi realizada a separação dos órgãos vegetais da parte aérea em folha, talo e vagem/grãos, sendo levados separadamente à estufa a 65°C para secagem até massa constante (RAIJ, 1997). Após esse período foi determinado o peso da massa seca das amostras e o material foi finamente moído para ser analisado quanto aos teores de N total acumulado nos tecidos vegetais em analisador elementar (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália) e quanto aos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em autoanalisador IRMS – Delta V Advantage (Thermo Scientific), sendo que o mesmo processo foi realizado sobre as plantas testemunhas utilizadas na metodologia da FBN.

Para estimar a FBN na cultura da soja, foi utilizado o método da abundância natural do ^{15}N , o qual se baseia no fato de que geralmente o N do solo é levemente mais enriquecido em ^{15}N se comparado ao N do ar (SHAERER & KOHL, 1986). Dessa forma, foi feito uso de seis espécies de plantas testemunhas que se desenvolveram espontaneamente na área de cultivo da soja, sendo elas: *Sida rhombifolia* (Guanxuma), *Ipomoea purpurea* (Corda-de-viola), *Ludwigia* spp. (Cruz-de-malta), *Raphanus sativus* (Nabiça), *Bidens pilosa* L. (Picão-preto) e *Panicum mileaceum* (Painço). Como requisito essas espécies tidas como plantas testemunhas, não realizam FBN. A literatura cita valores de ^{15}N (%) variando de 0,0

a 4% para o N fixado em leguminosas desenvolvidas em meio livre de N, onde a única fonte de N é atmosférica (TRIVELIN, 2001). A percentagem de N derivada da FBN na planta (%FBN) foi calculada pela fórmula abaixo:

$$\%FBN = [(\delta^{15}N_t - \delta^{15}N_s) / (\delta^{15}N_t - B)] 100$$

Onde: $\delta^{15}N_t$ e $\delta^{15}N_s$ correspondem aos valores de abundância natural de ^{15}N das plantas testemunhas e da soja, respectivamente e B é uma constante relacionada ao processo de discriminação isotópica de ^{15}N pelo processo da FBN, considerada no atual estudo como -1,3 deltas (BERGENSEN et al., 1998).

Para avaliação do rendimento de grãos (RG), a soja encontrava-se em plena maturação fisiológica, onde foram colhidos dois segmentos de 1 m linear cada, totalizando 24 plantas por parcela. Após a colheita o material foi trilhado e a produção final de grãos foi corrigida para 13% de umidade. Para a análise estatística os resultados referentes à MST, acúmulo de N, FBN e RG, foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

2.3.6 Avaliação fenológica

As avaliações fenológicas, tiveram início em 05/12/2012, acompanhando as diferentes fases fenológicas até o período de maturação plena da soja, sendo realizadas a cada intervalo de 15 dias, totalizando oito avaliações fenológicas. As avaliações foram realizadas medindo-se a altura das plantas de soja e o diâmetro da haste principal. Para isso, foram marcadas seis plantas por parcela, sendo três em cada microparcela de 50 cm linear e as medições da altura de plantas e do diâmetro da haste principal foram feitas com auxílio de uma régua e de um paquímetro de metal graduado, respectivamente. A medição do diâmetro da haste em mm foi realizada sempre no entrenó situado entre as folhas cotiledonares e as folhas primárias e a altura de plantas foi medida sempre, entre o nível do solo e o último nó vegetativo (extremidade apical) localizado no ápice da haste principal da planta, em cm.

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Características físicas do solo

Os diferentes tipos de preparo do solo aplicados durante três anos no período de entressafra afetaram significativamente a densidade, macro porosidade e porosidade total do solo (Tabela 2). As alterações nesses atributos foram observadas nas camadas superficiais, até 10 cm, com destaque para a camada de 0-5 cm. De maneira geral, os maiores valores de densidade foram observados nos tratamentos que envolveram o uso de grade (G). Considerando os tratamentos com o manejo da palha logo após a colheita (G e RF), observa-se que com o uso da G a densidade do solo foi 10% ($1,35 \text{ g cm}^{-3}$) maior do que onde foi aplicado o RF ($1,23 \text{ g cm}^{-3}$). Quando a G foi utilizada duas vezes o valor da densidade medido ($1,40 \text{ g cm}^{-3}$) foi o mais elevado entre os tratamentos, superando estatisticamente a densidade do solo dos tratamentos RF, RP e P ($1,23$ a $1,28 \text{ g cm}^{-3}$). Ao avaliarem a compactação de um Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado, Pedrotti et al., (2002) observaram que os sistemas que envolveram maior mobilização do solo levam a obtenção de valores mais elevados de densidade, onde o tratamento com a monocultura de arroz com preparo convencional obteve maior densidade quando comparado ao tratamento com sucessão das culturas arroz/soja, em sistema de plantio direto (SPD).

No presente estudo também foi verificado que os tratamentos sem o revolvimento do solo (AZ, RP e P) apresentaram baixos valores de densidade do solo. Em condições de sequeiro, Carvalho et al., (2002) ao avaliarem o efeito de diferentes sistemas de manejos sobre a densidade de um Latossolo, observaram menores valores de densidade no SPD comparado ao sistema convencional (SPC), onde relataram também um maior adensamento na camada de 0 – 5 cm no SPC. Segundo Beutler & Centurion (2003), o revolvimento do solo decorrente do uso de implementos agrícolas propicia uma elevação gradual nos valores de densidade através da ocorrência de eventos pluviométricos que forçam o rearranjo das partículas do solo após os manejos, afetando também a porosidade do mesmo.

A macroporosidade do solo apresentou o valor mais elevado na camada de 0 – 5 cm de profundidade no tratamento RP, com 14%, o qual diferiu estatisticamente dos demais, sendo que o valor mais baixo foi observado no tratamento G+G, com 8% de macroporos. Já na camada de 5 – 10 cm, novamente o tratamento RP diferiu dos demais e obteve o maior valor de macroporos com 10%, onde os tratamentos G+G, G e P+G apresentaram os menores valores. Tais resultados estão de acordo com os obtidos com a densidade do solo em que os tratamentos com G apresentaram maiores valores para esse atributo do solo. Os valores de microporosidade não apresentaram diferença estatística significativa, estando esses valores próximos a 40% nas camadas mais superficiais do solo. Já os valores de porosidade total do solo diferiram estatisticamente entre si e apresentaram um comportamento semelhante ao observado para a macroporosidade

Os valores de macroporosidade observados no atual estudo estão condizentes com os resultados observados por Gomes et al., (1992), que relataram valores de macroporosidade entre 2 e 10% no horizonte A dos principais solos de várzeas do estado do RS. Pauletto et al., (2005) ao avaliarem por um período de três anos, a influencia do SPD, SPC e cultivo mínimo em rotação de culturas: arroz x soja, sobre a densidade e a porosidade de um Gleissolo Háplico, não observaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, porém os maiores valores de porosidade foram observados nas camadas de 0 – 5 cm, corroborando com os resultados deste trabalho.

Tabela 2. Dados médios de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nos diferentes tratamentos avaliados, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm .

Tratamentos	Densidade (g cm ⁻³)			Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)			Porosidade total (%)		
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	0 – 5	5 – 10	10 -20	0 - 5	5 - 10	10 – 20	0 - 5	5 - 10	10 -20
AZ	1,29 abc	1,49ab	1,54 a	11,2 ab	8,0 ab	6,3 a	40,0 a	39,9 a	35,5 ab	51,4 abc	44,0 ab	41,8 a
G	1,35 ab	1,56 a	1,57 a	9,3 ab	3,6 b	5,6 a	39,6 a	37,6 a	36,1 ab	49,0 bc	41,2 b	40,8 a
RF	1,23 c	1,41ab	1,57 a	12,9 ab	7,8 ab	4,1 a	40,6 a	39,2 a	37,0 a	53,6 a	47,0 a	40,7 a
P+G	1,34 abc	1,53ab	1,59 a	10,1 ab	3,7 b	4,3 a	39,3 a	39,1 a	36,2 ab	49,5 abc	42,3 ab	40,0 a
G+G	1,40 a	1,48ab	1,61 a	8,4 b	3,4 b	2,9 a	39,0 a	40,7 a	36,3 ab	47,3 c	44,0 ab	40,2 a
RF+G	1,32 abc	1,52ab	1,59 a	10,4 ab	5,5 ab	2,8 a	39,9 a	37,1 a	37,2 a	50,6 abc	43,7 ab	40,3 a
RP	1,23 c	1,42ab	1,57 a	14,0 a	10,6 a	4,4 a	39,6 a	35,6 a	36,9 a	53,6 a	46,2 ab	41,3 a
P	1,28 bc	1,41ab	1,62 a	12,1 ab	8,8 ab	6,4 a	39,7 a	36,6 a	32,4 b	51,8 ab	45,4 ab	38,8 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores de resistência à penetração do solo apresentaram um comportamento semelhante entre os tratamentos avaliados, com aumento significativo a partir de 15 cm de profundidade. Considerando a profundidade de até 20 cm, os valores médios de resistência à penetração do solo, em KPa, decresceram na seguinte ordem: 792 (RF+G) > 738 (G+G) > 708 (P+G) > 643 (G) > 634 (P) > 630 (AZ) > 583 (RF) > 539 (RP). Na profundidade de 40 cm os maiores valores também foram observados nos tratamentos que utilizaram a G (G, RF+G, P+G e G+G), com destaque para o tratamento G+G que apresentou o maior valor de 1.480 KPa, conforme figura 1.

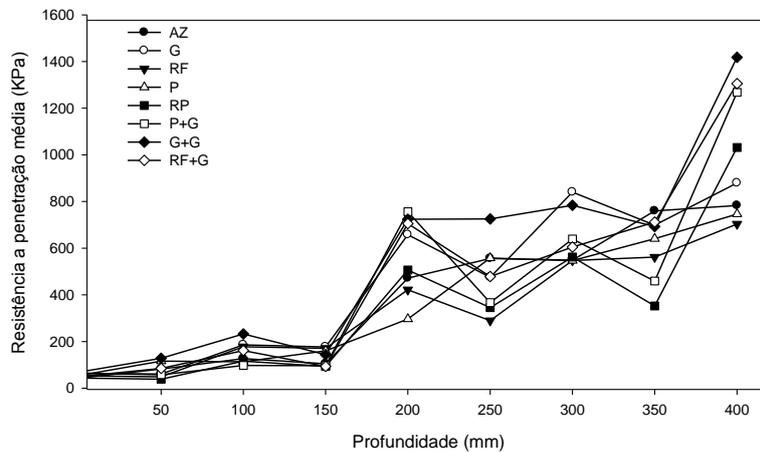


Figura 1: Resistência à penetração média do solo nos diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha, realizados no período de entressafra, em KPa.

A densidade, porosidade e a resistência à penetração do solo têm sido frequentemente utilizadas para determinar a presença de camadas compactadas, as quais funcionam como indicadores de restrição ao desenvolvimento das plantas (SIDIRAS et al., 1992; LIMA et al., 2003). Dessa forma, a compactação aumenta a resistência mecânica do solo à penetração das raízes e ainda reduz sua porosidade (RALISH et al., 2008), resultando em decréscimo de produtividade (MEGDA et al., 2008). Pedrotti et al., (2001), ao avaliarem alguns atributos físicos de um Planossolo, observaram que os sistemas que revolveram o solo elevaram os valores de resistência a penetração em relação à testemunha, principalmente nos tratamentos em que o solo foi cultivado com arroz por mais de uma safra seguida, corroborando os resultados do atual estudo.

Entre os atributos físicos avaliados, nota-se de um modo geral que os tratamentos que envolveram manejos com G, apresentaram maiores valores de resistência à penetração, bem como densidade e porosidade do solo, indicando uma provável compactação do solo nesses tratamentos, quando comparados aos sistemas de manejos que não revolveram o solo (RP, P e AZ).

2.4.2 Avaliação fenológica

A variável altura de plantas apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Figura 2). Os tratamentos P+G e G+G apresentaram os menores valores médios de altura de plantas. Comportamento semelhante foi observado para o diâmetro de haste. Os valores de altura de plantas variaram de 89 cm no tratamento G+G a 116 cm no RF. Já para o diâmetro de haste os valores variaram de 0,9 a 1,1 cm no tratamento P+G e RP, respectivamente (Figura 2). Missio et al., (2010) ao avaliarem o desempenho de diferentes genótipos de soja em solos de várzea na região sul do Brasil, na média de três safras, observaram valor médio de altura de plantas de 72 cm, valor próximo ao de 69 cm encontrado no presente estudo. Também em área de várzea Verneti jr et al., (2013) encontraram valor médio de altura de plantas de 108 cm para a cultivar BMX Potencia RR.

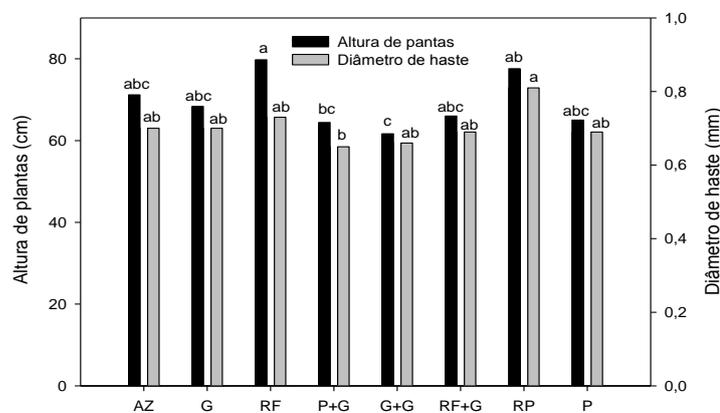


Figura 2: Altura de plantas (cm) e diâmetro da haste (mm) de plantas de soja, cultivadas sob diferentes sistemas de manejos do solo realizados sobre a palha do arroz no período de entressafra. Barras da mesma cor seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os tratamentos G+G e P+G apresentaram os menores valores de altura de plantas e de diâmetro de haste, respectivamente. Nesses tratamentos também foram observados os maiores valores de densidade e os menores valores de porosidade total. Possivelmente esses resultados estejam relacionados a uma maior compactação do solo observada nesses tratamentos decorrentes do uso da G. As propriedades físicas do solo influenciam diretamente o desenvolvimento das plantas, sendo que o uso excessivo e inadequado de implementos agrícolas altera consideravelmente essas propriedades acarretando um decréscimo na porosidade e um aumento significativo na densidade. Isso por sua vez, ocasiona um impedimento físico ao sistema radicular das plantas e ao seu desenvolvimento (RIBEIRO et al., 2010). Por outro lado, sistemas com o mínimo de revolvimento, condicionam solos fisicamente bem estruturados, pois segundo Braida et al., (2006) os manejos conservacionistas que mantêm a palha sobre a superfície do solo, reduzem a compactação, pois a palha dissipa em até 30% a energia de compactação que o solo é submetido. Na literatura consultada não foram encontrados resultados sobre a influência dos diferentes sistemas de manejos do solo sobre a altura de plantas e o diâmetro da haste de soja.

2.4.3 Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, fixação biológica de nitrogênio e rendimento de grãos

A produção de MST da parte aérea da soja (folha + talo + vagem/grãos) diferiu entre os tratamentos avaliados e variou de 5.629 kg ha⁻¹ no RF+G a 8.900 kg ha⁻¹ no P. Os tratamentos com o uso do RF foram os únicos que apresentaram valores de MST abaixo de 6.000 kg ha⁻¹. Schoenfeld (2010) ao avaliar os sistemas de rotação arroz x soja em sucessão com plantas de cobertura em um Planossolo Háplico, observou um acúmulo de MST da parte aérea da soja em torno de 3.900 kg ha⁻¹ quando a soja foi cultivada sob SPD sucedendo o azevém. Braumgartner et al., (1974), observaram valores médios de 6.000 kg ha⁻¹ de MST da parte aérea da planta (folha + talo + vagem/grãos) de soja, cultivada em solo de várzea, estando esses valores bastante próximos aos encontrados no atual estudo. Cabe ressaltar que os valores de matéria seca da parte aérea da planta de soja tendem a sofrer

variações significativas em seus valores quando considerado folha + talo + vagem/grãos na soma da MST e quando considerado apenas folha + talo, sendo esses valores dependentes do estágio fenológico em que se encontra, no momento da coleta das plantas.

Os valores de N total acumulado na parte aérea das plantas, embora tenha variado de 144 a 187 kg ha⁻¹ não diferiu entre os tratamentos avaliados. Quando analisados os valores de N acumulado nos diferentes órgãos da planta (folha + talo + vagem/grãos), não se observou diferença significativa entre os valores de N na folha e na vagem/grãos, sendo que apenas os valores de talo diferiram entre si, onde o tratamento P apresentou o maior valor de N acumulado. Além disso, a maior contribuição ao N total acumulado nos tecidos da parte aérea, em kg ha⁻¹, em todos os tratamentos, é oriunda da vagem/grãos, correspondendo a aproximadamente 50% do total do N acumulado na média dos tratamentos. Lorensi (2010) ao avaliar a dinâmica do nitrogênio na sucessão azevém-soja em um Planossolos Háplico, na região Sul do Brasil, encontrou valores médios de N acumulado na parte aérea da soja em torno de 70 kg ha⁻¹. O valor médio de N acumulado encontrado pela autora é inferior ao valor médio encontrado no atual estudo (81 kg ha⁻¹), quando considerado apenas a folha e o talo como parte aérea da planta. Porém, cabe ressaltar que para alcançar 70 kg ha⁻¹ as coletas das plantas foram feitas na fase inicial da floração da soja, sendo que no presente estudo as plantas encontravam-se em fase de enchimento de grãos, onde se observa maiores taxas de acúmulo e fixação de N (VASILAS, 1995). Ao se considerar folha + talo + vagem/grãos o valor médio de N acumulado no atual estudo é de 161 kg ha⁻¹. Baumgartner et al., (1974) ao avaliarem o comportamento da soja em solo de várzea, observaram um acúmulo médio de N na parte aérea da planta (folha + talo + vagem/grãos) próximo a 146 kg ha⁻¹, sendo que as plantas também foram coletadas na fase de enchimento de grãos, corroborando os resultados encontrados no presente trabalho.

Os valores médios de delta ¹⁵N encontrados no tecido da parte aérea das plantas de soja e das plantas testemunhas, utilizados para quantificar o N fixado biologicamente pela leguminosa são apresentados na tabela 3. Como era esperado houve diferença quanto à abundância natural de ¹⁵N entre as plantas testemunhas e a soja.

A partir desses valores foi possível determinar que a porcentagem do N acumulado pela soja, proveniente da FBN, variou de 52 a 81%, sem diferenças

significativas entre tratamentos avaliados. No presente estudo a maior correlação entre os atributos físicos do solo e a FBN, foi observada em macroporosidade, submetida à correlação de Pearson com valor de $r = 0,42$ (dados não mostrados), sendo que os demais atributos físicos não apresentaram correlação positiva sobre a FBN. Esse fato demonstra que solos com altos valores de macroporosidade podem influenciar positivamente o processo de FBN na cultura da soja, principalmente pela presença do oxigênio, fundamental para eficiência desse processo.

Tabela 3. Valores de abundância natural de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) na parte aérea da soja nos diferentes tratamentos e contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Tratamentos	$\delta^{15}\text{N}$	FBN
	‰	%
AZ	1,6±1,04	73,4±9,5
G	2,7±0,86	63,4±7,9
RF	3,1±1,34	59,0±12,3
P+G	2,4±0,70	65,2±2,8
G+G	2,7±0,61	63,8±4,6
RF+G	3,8±0,72	52,4±6,6
RP	1,2±0,52	77,7±2,6
P	0,7±0,62	81,4±5,7

Espécies utilizadas como plantas testemunhas (não fixadoras de N), com seus respectivos valores de $\delta^{15}\text{N}$: *Bidens pilosa* (9,1±0,86), *Ipomoea purpurea* (9,4±0,65), *Ludwigia* spp. (8,8±0,54), *Panicum meleacium* (8,1±0,83), *Raphanus sativus* (10,2±0,31) e *Sida rhombifolia* (11,7±0,28). Para o cálculo da FBN foi utilizado o valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ de 9,56.

O RG de soja também não diferiu significativamente entre os tratamentos avaliados (Tabela 4), sendo encontrados, em kg ha^{-1} , os seguintes valores em ordem decrescente: 3.370 (AZ) > 3.339 (RF) > 3.222 (P) > 3.211 (G+G) > 3.191 (P+G) > 3.164 (G) > 3.105 (RP) > 3.066 (RF+G). Os valores de RG obtidos no presente estudo foram semelhantes aos obtidos por Pedroso et al., (2013), Thomas et al., (2000) e Marchesan, (2013), e superam aqueles relatados por Vernetti jr. et

al., (2009). No estudo de Pedroso et al., (2013), o rendimento de grãos de diferentes cultivares de soja em diferentes épocas de plantio em ambiente de várzea atingiu valor médio de 3.337 kg ha⁻¹. Já Vernetti jr. et al., (2009) ao avaliarem o RG da soja cultivada em SPD e SPC, observaram os maiores valores no SPD, com aproximadamente 2.000 kg ha⁻¹, sendo que o SPC apresentou média de 1.600 kg ha⁻¹.

Embora as diferenças entre tratamentos quanto ao acúmulo de MST e N na planta, FBN e RG, não tenham sido significativas, os valores observados para essas variáveis tendem a serem menores nos tratamentos com SPC, quando comparados aos tratamentos semelhantes ao SPD (P e AZ).

Tabela 4. Matéria seca total, acúmulo de nitrogênio, contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e rendimento de grãos na cultura da soja, cultivada sob diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha, realizados no período de entressafra.

Tratamentos	MST ⁽¹⁾	Acúmulo de N				N-FBN ⁽²⁾	RG ⁽³⁾
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				(%)	kg ha ⁻¹
		Folha	Talo	Vagem/grãos	Total		
AZ	7.053ab	60 a	24ab	88 a	172 a	73 a	3.370 a
G	6.083ab	57 a	17 b	89 a	164 a	63 a	3.164 a
RF	5.947ab	59 a	18 b	80 a	158 a	59 a	3.339 a
P+G	6.381ab	64 a	18 b	78 a	161 a	65 a	3.191 a
G+G	6.293ab	58 a	17 b	92 a	167 a	64 a	3.211 a
RF+G	5.629 b	54 a	16 b	73 a	144 a	52 a	3.066 a
RP	7.150ab	55 a	26ab	91 a	172 a	78 a	3.105 a
P	8.900 a	70 a	35 a	81 a	187 a	81 a	3.222 a

⁽¹⁾Matéria Seca Total da parte aérea da soja (folha + talo + vagem/grãos). ⁽²⁾Fixação Biológica de Nitrogênio nas plantas de soja. ⁽³⁾Rendimento de Grãos da soja. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Provavelmente esse fato esteja relacionado a uma maior compactação presente nesses tratamentos. A compactação do solo provoca a redução da porosidade total, diminuindo a disponibilidade de O_2 próximo ao sistema radicular da planta de soja que além de prejudicar a FBN, inibe a absorção de outros nutrientes, afetando o crescimento das raízes e sua nodulação (SALAM & SCOTT, 1987; PUIATTI & SODEK, 2000). Além disso, os solos de várzeas, quando compactados, dificultam a infiltração da água em seu perfil provocando alagamento temporário e propiciando condições de hipóxia, a qual inibe a fixação de N e o acúmulo de biomassa. Entretanto, a inibição da fixação ocorre mais cedo e é mais pronunciada que o acúmulo de biomassa (AMARANTE & SODEK, 2006).

Por outro lado o maior valor de MST foi observado no tratamento P, totalizando 8.900 kg ha^{-1} , o qual apresentou também o maior percentual de contribuição da FBN, onde 81% do N foi oriundo desse processo. Essa alta eficiência da FBN, pode justificar os elevados valores de MST e de acúmulo de N total, pois tanto a matéria seca como o acúmulo de N nos tecidos, tende a ser maior à medida que a FBN apresenta-se mais eficiente (ALVES et al., 2003). No tratamento P nenhum preparo foi realizado durante o período de entressafra, sendo que a palha do arroz remanescente da colheita permaneceu sobre a superfície do solo até o plantio da soja. Resultados de pesquisa mostram que a soja cultivada em SPD pode obter mais de 80% do N acumulado na planta através do processo de FBN. Alguns autores relatam que o SPD favorece o aumento do número de células bactérias no solo e também propicia uma maior quantidade de flavonóides, os quais favorecem o processo de nodulação das raízes possibilitando elevados rendimentos para a cultura (HUNGRIA et al., 2000). Vargas & Hungria (1997) relatam valores de estimativa da taxa de FBN de 60 a 200 kg N ha^{-1} como sendo valores convencionais para a cultura da soja em solos tropicais. No presente estudo, a quantidade de N média acumulada na biomassa da soja, estimada como sendo oriunda da FBN atingiu $110 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Possivelmente o nível de RG obtido no presente estudo esteja associado à elevada eficiência da FBN observada, já que ela esta intimamente ligada à produtividade da cultura (HUNGRIA, 2005).

2.5 Conclusões

Sistemas de manejo do solo/manejo da palha realizados com grade de discos comparado a sistemas que utilizam rolo-faca ou o não-revolvimento do solo provocam aumento da densidade e redução na macroporosidade e porosidade total na camada superficial do solo de várzea.

As modificações causadas nos atributos físicos do solo pelos diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha não resultaram em modificações significativas no acúmulo de N, contribuição da FBN e rendimento de grãos.

A maior contribuição da FBN (81%) para o acúmulo de N na soja foi observada no solo mantido em pousio, sem manejo durante o período de entressafra.

2.6 Literatura citada

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of FBN in soybean in Brazil, **Plant and soils**. Netherlands, v.252, n.1, p.1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T. de; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.41, n.3, Brasília-DF, 2006. Acesso: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n3/29116.pdf>, em 21/12/2013.

AMARANTE, L. & SODEK, L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. **Biologia Plantarum**, v.50, p.405-410, 2006.

BAGGS, E.M.; STEVENSON, M.; PIHLATEC, A.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrogen oxide emissions following applications of residues and fertilizer under zero and conventional tillage, **Plant and soil**, Dordrecht, v.254, 2003.

BAUMGARTNER, J.G.; LOPES, E.S.; DEMATTÊ, J.G.; MIYASAKI, S.; IGUE, T.; GUIMARÃES, G. Calagem e adubação mineral da soja, variedade Santa Maria, em solo de várzea. **Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, v.33, n.1, Campinas-SP, 1974.

BERGERSEN, F.J.; PEOPLES, M.B.; TURNER, G.L. Isotopic discrimination during the accumulation of nitrogen in soybeans. **Australian journal of plant physiology**, v.15, p.407–420, 1998.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7; p.849-856, 2003.

BRADFORD, J.M. Penetrability. Methods of soil analysis, physical, chemical and mineralogical methods. **American Society of Agronomy**, 1986.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006.

BRUM, A. L. **Sul do Rio Grande: economia e mercado agropecuário da região da fronteira Brasil-Uruguaí**. Pelotas: EMBRAPA, Clima Temperado, 531p., 2002.

CARVALHO E.J.M.; FREITAS L.S.; VELOSO C.A.C.; SOUZA A.S.; EL-HUSNY J.C.; VALENTE M.A.; TRINDADE E.F.S.; LIRA R.S. Efeito de sistemas de manejo sobre a densidade do solo em Latossolo Vermelho amarelo do sudeste paraense. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, 2002. Disponível em: www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/402375/1/TRAB60042201.PDF.

CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.40-44, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **10º Levantamento de safras 2010/2011**, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acessado em 18/07/2013.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P.; PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.41, p.165-195, 2003.

DANE, J.H. & HOPMANS, J.W. Water retention and storage. Madison: **American Society of America**, p.671-720, 2002.

DUXBURY, J.M.; HARPER, L.A.; MOSIER, A.R. Contribution of agroecosystems to global climate change. **American Society of Agronomy**, p.1-18, 1993.

EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. **Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Circular técnica, n.40. Pelotas-RS, 2004.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006, 412p.

FERREIRA, D.F. **Sistemas de análises estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, p.145, 2000.

FORSTER, P.; RAMSWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNSTEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHUTZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. **The Physical Science Basics**. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, USA, p.129–234, 2007.

GOMES, A. dos S.; CUNHA, N.S. da; PAULETTO, E. A.; et al. **Solos de Várzea: Uso e Manejo**. Porto Alegre: Editora da Universidade, p.64-79, 1992.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R, J.; GRAHAM, P, H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South American. **Ecology and Environment**. v.4, p.25-42, 2000.

HUNGRIA, M. Effects of tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. **Soil Biol. Biochem.**,v.32, p.627-637, 2005.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Arroz irrigado no RS: área, produção e rendimento**, 2009. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/2426/dia-do-arroz-irrigado-aborda-producao-sustentavel>.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **A inserção do cultivo do arroz irrigado na agricultura de baixo carbono do plano agrícola e pecuário**, safra 2013/2014, 2013. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_tematicas/Agricultura_sustentavel_e_irrigacao/19RO/App_Irga_Irriga%C3%A7%C3%A3o.pdf.

JOHSON, J.M.F.; REICOSKY, D.C.; ALLMARAS, R.R.; SAUER, T.J.; VENTEREA, R.T.; DELL, C.J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. **Soil & Tillage Reserarch**, v.83, p. 73-94, 2005.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; SILVA, J.B. da. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.199-205, 2003.

LORENSI, J. **Dinâmica do nitrogênio mineral e produtividade do arroz irrigado na sucessão soja-azavém em solo de várzea**. Santa Maria: UFSM, 2010, 128p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

MACEDO, R.A.T. **Influencia dos fatores de manejo sobre a fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja em áreas experimentais e de produção no noroeste do Paraná**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003, 56p. Dissertação (mestrado em agronomia – Ciência do solo) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

MARCHESAN, E. Controle do arroz-vermelho. (Eds.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação, p.547-577, 2004.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. **Congresso Brasileiro de Arroz-irrigado**, 2013. Disponível em: http://www.cbai2013.com.br/docs/cbai2013_palestra_enio_marchesan.pdf. Acessado em: 14/12/2013.

MARTINEZ, R.F.; CALERO, M.B.J.; NOGALES, V.M.R.; ROVESTI, L.V. **Lombricultura: Manual Práctico**. 99 p. La Habana. Cuba, 2003.

MEGDA, M.M.; CARVALHO, M.P.; VIEIRA, M.X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.781-788, 2008.

MISSIO, E.L.; RUBIN, S.A.L.; GABE, N.L.; OZELAME, J.G. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) **Pesquisa agropecuária gaúcha**, POA-RS, v.16, n.1 e 2, p.23-29, 2010.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, p.729, 2006.

OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.197- 200, 1968.

PARFITT, J.M.B. **Milho, Sorgo e Soja em Área de Arroz Irrigado, na Região da Campanha do Rio Grande do Sul: Resultados de pesquisa das safras 1999/00, 2000/01 e 2001/02**. Embrapa–Clima temperado, p.82, 2002.

PAULETTO, E.A.; BORGES, J. R.; PINTO, L.F.S.; SILVA, J.B. da.; LEITZKY, V.W. Avaliação da densidade e porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.2, p.207-210, Pelotas-RS, 2005.

PEDROSO, V.M.D.; SCIMITTI, T.; SILVEIRA, A.P.; LIMA, B.A.D. Avaliação do rendimento de grãos de diferentes cultivares de soja produzidos em ambientes de várzea na fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Anais Congresso Universidade Federal de Pelotas**, 2013. Disponível em: http://cti.ufpel.edu.br/cic/arquivos/2013/CA_02416.pdf. Acessado em: 23/12/2013.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, p.521-529. 2001.

PEDROTTI A.; PAULETTO E.A.; GOMES A.S.; TURATTI, A.L.; CRESTANA S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2002.

PINTO, L.F.S.; NETO, J.A.L.; PAULETTO, E.A. **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. ed. Arroz irrigado no sul do Brasil.** Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p.75-95, 2004.

PIRES, J.L.F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.37, p.41-50, 2002.

PUIATTI, M. & SODEK, L. Waterlogging affects nitrogen transport in the xylem of soybean. **Plant Physiol. Biochem.**, v.37, p.767-773, 2000.

RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1997.

RALISH; R.; MIRANDA, T.M.; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; SCOPELI, E.; BALBINO, E.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.381-384, 2008.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p. 1931-1935, 2006.

RIBEIRO, M.A.V.; NOVAIS, R.N.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M.M.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. de; VILLANI, E.M. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1157-1164, 2010.

SALLAM, A. & SCOTT, H.D. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. **Soil Science.**, v.44, p.61-66, 1987.

SANTOS, S.C.E.R.; FREITAS A.D.; VIEIRA I.M.M.B.; COLAÇO W. **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura. Fixação simbiótica do N₂ em leguminosas tropicais.** Ed: Agrolivros, 2008.

SCHOENFELD, R. **Esquemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em Planossolo háplico.** Porto Alegre: UFRGS, 2010, 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SHEARER, G. & KOHL, D.H. **N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance**. Aust. J. Plant Physiol., v.13, p.699-756, 1986.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. **Anais. Osijek**, ISTRO, p.537-544, 1992.

SOSBAI, Arroz irrigado: **recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010.

SOUZA, E.L. **Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós-colheita**. 2013, 139f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do solo)-Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2013.

STEHFEST, E; BOUWMAN, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.74, p.207-228, 2006.

THOMAS, A.L.; PIRES J.L.F.; MENEZES V.G. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solos de várzea. **Pesquisa agropecuária gaúcha**, v.6, n.1, p.107-112, 2000.

TOWNSEND C.R.; BEGON M.; HARPER J.L. **Fundamentos em ecologia**. 2ª Ed.- Porto Alegre: Artmed, 2006.

TRIVELIN, P.C.O. **Técnicas com ¹⁵N em estudos com fixação biológica de nitrogênio**. Piracicaba: CENA/USP, 2001.

VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. Planaltina, DF. EMBRAPA – CPAC, p.295-369, 1997.

VASILAS, B.L. Relationship of nitrogen utilization patterns with soybean yield and seed-fill period. **Crop Science**, Madison, v.35, n.3, p.809-813, 1995.

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

VERNETTI Jr., F.J.; GUEWER E.; RUFINO, C.A.; REIS, B.R.; SCHUCH, L.O.B. Importância da população de plantas, na taxa de cobertura, floração e no crescimento em condições de solo de várzea. **CICUFPEL**, Pelotas-RS, 2013.

ZOTARELI, L. **Balço de nitrogênio na rotação de culturas no sistema plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. Rio de Janeiro: UFRJ, 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do solo) Universidade Federal do Rural do Janeiro-Seropédica, RJ, 2000.

3. CAPÍTULO II – EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CULTURA DA SOJA APÓS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NA ENTRESSAFRA DO ARROZ

3.1 Resumo

O cultivo da soja em solos de várzea em sucessão ao arroz irrigado na região Sul do Brasil já é uma realidade. Porém, os efeitos ambientais dessa mudança nessas áreas ainda são pouco conhecidos. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as emissões de N_2O e de CH_4 , comparando-as com a de uma área natural de banhado sem interferência antrópica. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2012/2013, em um Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico. Os tratamentos foram realizados adotando-se diferentes sistemas de manejo do solo na entressafra, tendo a palha do arroz como cobertura do solo e cultivando-se a soja na safra seguinte. Os manejos aplicados foram: azevém (AZ), grade (G), rolo-faca (RF), pousio + grade (P+G), grade + grade (G+G), rolo-faca + grade (RF+G) e área natural (AN). O cultivo da soja em várzea aumentou as emissões de N_2O em relação à AN, sendo as maiores emissões obtidas no sistema de manejo com o cultivo de azevém na entressafra. Por outro lado, o cultivo da soja em várzea mitiga as emissões de CH_4 comparado à área natural, independente do sistema de manejo do solo adotado na entressafra, antecedendo o cultivo da soja.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Manejos do solo. *Oryza sativa*, Soja em várzea.

3.2 Introdução

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de arroz (USDA, 2010), sendo o RS o maior produtor nacional, responsável por mais de 50% da produção (MUNARETO, 2010). O RS possui mais de um milhão de hectares de solos de várzea cultivados anualmente com arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação (SOSBAI, 2010). Porém o uso intensivo desses solos com a monocultura do arroz irrigado leva à sua degradação (MARTINEZ et al., 2003) e queda de rendimento, pois propicia infestação dessas áreas por plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho (*Oryza sativa*) (MARCHESAN, 2004). Entre as espécies produtoras de grãos, a soja (*Glycine max* L. (Merril)) surge como opção de cultura em áreas de várzea em sucessão com o arroz irrigado (EMBRAPA, 2004), sendo que no RS a área de várzea cultivada nesse sistema de rotação de culturas já ultrapassa 300 mil hectares (IRGA, 2013). No entanto, há uma grande carência de informações referentes a emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundas do cultivo da soja nesse agroecossistema.

Os GEE, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), ocorrem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a ocorrência do fenômeno natural do efeito estufa, o qual possibilita as diferentes formas de vida no planeta. Esses GEE absorvem a radiação infravermelha refletida pelo solo mantendo a temperatura média do planeta em torno dos 15°C (BAIRD, 2002). No entanto, a partir da revolução industrial, a concentração desses gases, com destaque para o CO_2 , aumentou significativamente na atmosfera. Tal condição tem provocado o aumento do efeito estufa o qual tem implicações sobre as mudanças climáticas.

O N_2O é formado principalmente pelos processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), os quais são influenciados pelo manejo do solo, umidade, temperatura e carbono (C) do solo disponível aos microrganismos (STEHFEST & BOUWMAN, 2006). Estima-se que 65 a 80% das emissões totais globais desse gás sejam resultantes de atividades agrícolas (HOUGHTON et al., 2001), sendo que no Brasil aproximadamente 90% das emissões totais de N_2O são oriundas dessa atividade (COSTA et al., 2008). Já o CH_4 é formado principalmente na decomposição da matéria orgânica pelas bactérias metanogênicas em condições anaeróbicas (SMITH et al., 2003). Mundialmente, a

agricultura é responsável por 55% da emissão de CH₄ (IPCC, 2007), sendo que no Brasil 91% das emissões de CH₄ estão relacionadas a atividades agrícolas (CERRI & CERRI, 2007). O cultivo do arroz irrigado por inundação é uma importante fonte emissora de CH₄, sendo responsável por 15 a 20% do metano emitido antropogenicamente (CONRAD, 2002), de modo que a região sul do país contribui com aproximadamente 82% do total das emissões de CH₄ (EMBRAPA, 2010).

Entre os fatores que influenciam as emissões desses gases, Schutz et al., (1991) destacam os diferentes sistemas de manejos do solo. Segundo Beare et al., (2009), alguns sistemas de manejos do solo como o preparo convencional e plantio direto podem afetar as emissões de GEE por alterarem as condições que favorecem os processos relacionados à produção desses gases no solo. No estado do Rio Grande do Sul (RS) o manejo do solo/manejo da palha é realizado após a colheita do arroz e se estendem pelo período de entressafra, com o objetivo de incorporar a palha que está sobre o solo e facilitar as práticas culturais (EPAGRI, 2005).

Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo quantificar as emissões de N₂O e CH₄ durante o cultivo e a entressafra da cultura da soja em solo de várzea, submetido a diferentes manejos do solo/manejo da palha do arroz na entressafra, comparando as emissões com uma área não antropizada.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Localização, clima e solo

Este estudo foi realizado a campo no período de outubro de 2012 a novembro de 2013, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°45'S, 53°42'W; cerca de 95 m de altitude), RS, Brasil. O clima da região é do tipo clima subtropical úmido, classe 'Cfa' (segundo classificação de Köppen). Os dados meteorológicos do período avaliado foram obtidos nos registros da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante aproximadamente 0,5 km da área experimental e apresentados na figura 1. O solo da área experimental é classificado como com

Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006). As características do solo na camada de 0 – 0,1 m no início das avaliações foram as seguintes: C orgânico: 0,6%; pH em água: 4,8; densidade: 1,41 g cm⁻³; 22% areia; 58% silte; 20% argila.

3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos avaliados fazem parte de um experimento instalado em 17 de abril de 2010 no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas de 4,20 x 4,30 m (18 m²). O experimento era formado por oito tratamentos compostos por diferentes sistemas de manejo do solo/manejo da palha na entressafra da cultura do arroz (SOUZA, 2013). A emissão dos gases de efeito estufa na cultura da soja foi avaliada após três anos de uso dos diferentes sistemas de manejo. No presente estudo foram avaliados apenas cinco tratamentos: sem preparo do solo e cultivo de azevém (*Lolium multiflorum* L.) sobre resíduos culturais da colheita do arroz (AZ); incorporação da palha de arroz com grade após a colheita do arroz (G); incorporação da palha de arroz com rolo-faca após colheita do arroz (RF); a palha permaneceu sobre a superfície do solo e não sofreu nenhum manejo até o mês de agosto, quando a mesma foi incorporada através de uma gradagem (P+G); e incorporação da palha de arroz com grade após a colheita do arroz e preparo do solo com grade quatro meses após da colheita (G+G). Além desses foram avaliadas as emissões de GEE em uma área natural de várzea/banhado, adjacente ao experimento, sem interferência antrópica (AN).

Em 2012 a colheita do arroz foi realizada no início de abril e a palha do arroz remanescente foi retirada das parcelas, pesada e redistribuída uniformemente sobre as mesmas. A quantidade de palha de arroz que foi adicionada sobre a superfície de todas as parcelas foi de 8,3 Mg ha⁻¹. Nas parcelas do tratamento AZ, aos 54 dias após a colheita do arroz foi feita a semeadura do azevém a lanço. Durante o cultivo do azevém a cultura recebeu dois cortes na entressafra 2012, simulando o efeito do pastejo de animais. A quantidade de matéria seca (MS) do azevém na entressafra 2012 foi 2,7 Mg ha⁻¹. No tratamento com RF, no momento da passagem do equipamento o solo apresentava uma lâmina de água em torno de 5 cm de altura.

A semeadura da soja (BMX Potência RR[®]) foi realizada em 05/11/2012. As sementes receberam tratamento com fungicida (Maxin[®]) e inseticida (Cruiser[®]) e foram inoculadas com duas doses de inoculante turfoso (gênero *Bradyrhizobium*, estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 587). A semeadura foi feita de forma mecanizada com semeadora para plantio direto, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com 10 linhas de plantas em cada parcela. Após a emergência das plântulas foi feito desbaste manual do excedente para obter a densidade desejada de plantas (26 plantas/m²). A adubação de base foi de 20 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e de potássio (K). Os demais tratos culturais adotados seguiram as recomendações técnicas para o cultivo de soja no RS. Aos 12 dias após a semeadura (17/11/2012) foi realizada uma irrigação por banho em todas as parcelas cultivadas com soja, a fim de estimular o processo de germinação das sementes de soja.

Para avaliar a produção de MS de folhas senescentes, durante o ciclo da cultura da soja, foi instalado no dia 22/01/2013, anteriormente ao início da queda das folhas, uma rede de fios de nylon (1 m²) a fim de interceptar as folhas e impedir que as mesmas atingissem o solo. A coleta das folhas foi realizada entre o período de 120 dias após a emergência (DAE) até o final da colheita de grãos. As folhas coletadas, em cada data de avaliação, foram secas à 65°C até atingirem peso constante e pesadas para determinação da MS.

A colheita da soja foi realizada em 16/04/2013 e a palha remanescente da colheita, composta basicamente por talo e vagem, foi retirada, pesada e redistribuída uniformemente sobre a superfície do solo em todas as parcelas, totalizando 2,0 Mg ha⁻¹. Posteriormente, em 27/04/2013, foi realizada a semeadura a lanço do azevém em todos os tratamentos que foram cultivados com soja, o qual recebeu dois cortes na entressafra 2013 para simulação do efeito do pastejo de animais, e que recebeu aplicação de N na forma de ureia (30 kg N ha⁻¹) após o primeiro corte. Na tabela 1 são apresentadas em ordem cronológica as principais operações de campo realizadas durante o período de avaliações.

Tabela 1. Cronograma das principais operações realizadas a campo durante o período de avaliações de N₂O e CH₄.

Operação de campo Cultivo soja/entressafra	Data da operação Ano agrícola 2012/2013
Aplicação de herbicida pré-semeadura	24/10/2012
Início das avaliações de N ₂ O e CH ₄	05/11/2012
Semeadura da soja	05/11/2012
Irrigação da soja por banho	17/11/2012
Aplicação de herbicida pós-emergência	28/11/2012
Aplicação de herbicida pós-emergência	18/12/2012
Colheita da soja	16/04/2013
Semeadura do azevém pós-colheita	27/04/2013
1º corte do azevém (simulação de pastejo)	02/08/2013
Adubação nitrogenada de cobertura no azevém (30 kg N ha ⁻¹)	09/08/2013
2º corte do azevém (simulação de pastejo)	04/10/2013
Término das avaliações de CH ₄ e N ₂ O	05/11/2013

3.3.3 Avaliação dos fluxos de N₂O e CH₄ e análises estatísticas

Os fluxos de N₂O e CH₄ foram quantificados no período entre 05/11/2012 e 05/11/2013. Em cada bloco foi instalada uma câmara estática por tratamento, confeccionadas em aço galvanizado (0,20 m de altura x 0,40 m de largura) totalizando três repetições. As bases foram inseridas nas entrelinhas de semeadura da soja até uma profundidade de 0,05 m no solo, permanecendo no local durante todo o período de avaliações.

As amostras de ar para determinação dos fluxos de N₂O e CH₄ foram coletadas com um dispositivo composto por uma base fixa ao solo, a qual possui uma calha para encaixe, e uma câmara metálica, a qual é acoplada à base. Na parte superior da base fica exposta uma canaleta, sobre a qual era encaixada a câmara, também em aço galvanizado, e em seguida adicionado água na canaleta para impedir trocas gasosas entre o interior da câmara e o ambiente externo durante as

coletas (MOSIER, 1989). A câmara metálica possuía um ventilador tipo “cooler” no seu interior, o qual era conectado e ligado a uma bateria de 12 V durante 30 segundos para homogeneização da atmosfera interna, imediatamente antes das coletas de ar.

As amostras de ar do interior das câmaras foram coletadas uma vez por semana sempre entre 9 e 11 horas da manhã, período em que ocorre a emissão média diária (JANTALIA et al., 2008), em eventos semanais, sendo intensificadas após períodos chuvosos. As amostras de ar foram coletadas simultaneamente em todos os tratamentos, com auxílio de seringas de polipropileno, em três tempos após o fechamento das câmaras (0,15 e 30 minutos). Durante as coletas também eram registradas as temperaturas do ar e do solo.

Após a coleta, as seringas eram acondicionadas em caixas térmicas refrigeradas, mantidas a baixa temperatura e levadas até o Laboratório de biotransformações do carbono e do nitrogênio (LABCEN) da UFSM, onde foi determinada a concentração do N₂O e do CH₄ por cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo Greenhouse), equipado com coluna empacotada (70°C), um detector com captura de elétrons (ECD – 325°C) e ionização de chama (FID – 250°C) e N₂ como gás de arraste, até o período máximo de 24h, após a coleta das amostras.

Os fluxos de N₂O e CH₄ foram calculados considerando-se a variação das concentrações dos gases dentro da câmara durante o período que esta permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada por esta e o peso molecular dos gases em questão (JANTALIA et al., 2008). O volume molar do gás foi corrigido para a temperatura no interior da câmara medida no momento de cada amostragem. A variação da concentração dos gases em cada coleta foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada aos valores obtidos nos tempos 0, 15 e 30 minutos. As emissões acumuladas ao final das avaliações foram comparadas entre si pelo teste LSD (Least Significant Difference) a 5% de probabilidade, utilizando-se os procedimentos disponíveis no programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

O potencial de aquecimento global parcial (PAGp) foi calculado convertendo-se as emissões de CH₄ e de N₂O para CO₂ equivalente (Mg CO₂ eq. ha⁻¹ ano⁻¹), segundo a equação abaixo:

$$\text{PAGp} = (\text{CH}_4 \times 24) + (\text{N}_2\text{O} \times 296)$$

Onde: CH₄ e N₂O correspondem às emissões acumuladas de cada gás durante o período de safra e entressafra (kg ha⁻¹); 24 e 296 são valores de PAG para o CH₄ e o N₂O, respectivamente, considerando-se um tempo de permanência na atmosfera de 100 anos (FORSTER et al., 2007).

3.3.4 Coletas e análises de solo

As coletas de solo foram realizadas com o auxílio de um trado calador, na profundidade de 0 - 10 cm em todos os tratamentos durante as coletas das amostras de ar para as medições das concentrações de CH₄ e N₂O, com o objetivo de avaliar os teores de N mineral ((amônio (N-NH₄⁺) e nitrito (N-NO₂⁻) + nitrato (N-NO₃⁻)) e umidade do solo. O N mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻) do solo foi extraído com KCl-1M e determinado por analisador em fluxo contínuo SAN⁺⁺ - Skalar. A umidade gravimétrica do solo foi obtida pela secagem do solo com subamostra em estufa a 105°C durante 24 horas. A partir dos valores de umidade gravimétrica de cada coleta e da densidade do solo foram calculados os valores de espaço poroso saturado por água (EPSA).

3.4 Resultados e discussão

3.4.1 Espaço poroso saturado por água (EPSA) e N mineral

Os valores de EPSA mantiveram-se elevados durante todo o período de avaliação, variando de 66 a 91% (média de 80%) (Figura 1A). O tratamento RF apresentou os menores valores de EPSA, sendo inferior aos demais tratamentos, os quais apresentaram valores de EPSA próximos entre si. De maneira geral, as variações no EPSA estiveram relacionadas à ocorrência de precipitações. Outro aspecto importante a destacar é que mesmo em longos períodos sem chuvas (p. ex. 99 a 118 dias após o plantio) os valores de EPSA se mantiveram elevados, acima de

60%. Esse resultado pode estar relacionado à perda de umidade do solo nos dois primeiros centímetros, o que deve ter provocado a interrupção da condutividade hidráulica impedindo a ascensão capilar e a evaporação da água presente no solo abaixo desta camada. Durante as coletas de solo era possível visualizar, principalmente nos tratamentos que fizeram uso de grade de discos, uma fina camada de solo seco na superfície/selamento e a elevada umidade abaixo desta camada ressecada. Essa condição deve ter contribuído para a manutenção dos elevados valores de EPSA na camada de 0-10 cm.

Foi possível constatar uma tendência de menores valores de EPSA durante o período de cultivo da soja comparado ao período de entressafra. No período de cultivo em 2012/2013 (1 a 162 dias após plantio) o EPSA médio foi de 77%, ligeiramente inferior ao do período de entressafra em 2013 (163 a 367) de 82%. Esse resultado ocorreu mesmo durante os 162 dias de cultivo da soja ter apresentado volume acumulado de chuvas (973 mm) superior ao medido durante os 203 dias da entressafra (621 mm). Na área natural (AN) os valores de EPSA, como esperado, também se mantiveram elevados em todas as avaliações realizadas e variaram de 83 a 93%.

Os teores de N mineral do solo (NH_4^+ e NO_3^-), de maneira geral, apresentaram comportamento semelhante entre os tratamentos com soja (Figura 1B e 1C) com os maiores valores de NH_4^+ e NO_3^- observados na fase final do ciclo da cultura, período que coincide com a senescência e queda das folhas da soja. Nesse período, na média dos tratamentos, os teores de NH_4^+ e NO_3^- foram, respectivamente, 5,3 (14,2 mg kg^{-1}) e 3,5 (8,4 mg kg^{-1}) superiores aos observados no período que antecede a queda das folhas da soja. Após a colheita da soja os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo reduziram a valores semelhantes aos observados antes do início da queda das folhas da soja. O tratamento AN apresentou durante o período de avaliação menor variação nos teores de NO_3^- e NH_4^+ comparado com os tratamentos com cultivo de soja, os quais atingiram valores médios de 6,1 e 1,4 mg de N kg^{-1} , respectivamente.

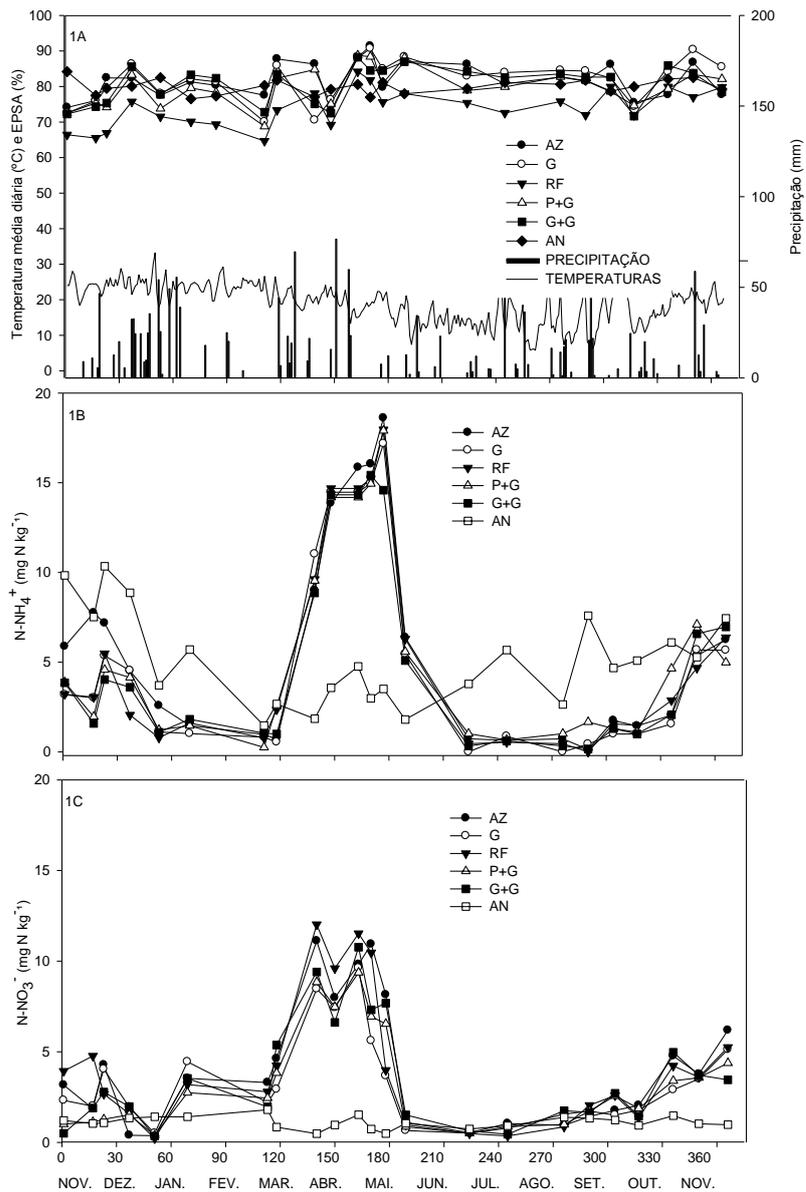


Figura 1. A: Espaço poroso saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária do ar; B: NH_4^+ e C: NO_3^- .

3.4.2 Emissão de N_2O

Os fluxos de N_2O na AN variaram pouco durante o período de avaliação (-1 a $13,5 \text{ g de N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), com valor médio de $1,9 \text{ g de N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2). Esse fluxo médio de N_2O foi 15 vezes menor do que aquele obtido em todos os tratamentos com soja ($28,5 \text{ g de N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$).

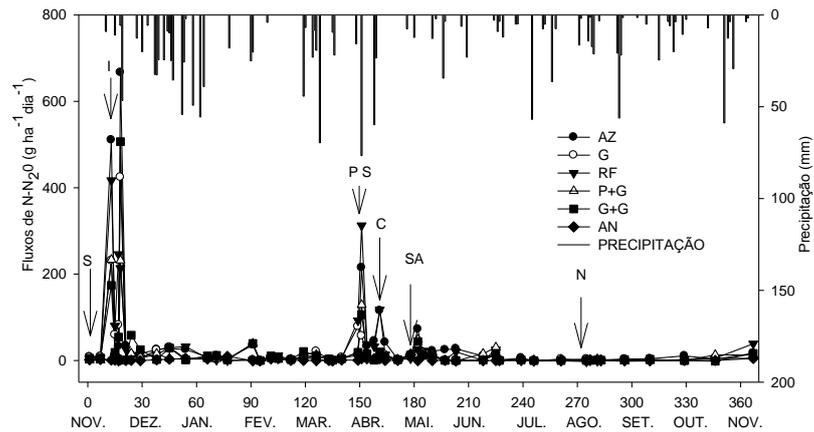


Figura 2: Fluxos de N-N₂O. Significado das letras: S: semeadura da soja; I: irrigação da soja por alagamento/banho; PS: período de senescência da soja; C: colheita da soja; SA: semeadura do azevém; N: aplicação de nitrogênio (ureia) em cobertura no azevém (30 kg N ha⁻¹).

Nos tratamentos cultivados com soja os maiores fluxos de N₂O foram observados em dois períodos, entre 13 e 18 dias e entre 149 e 161 dias após o plantio da soja. No primeiro período o maior fluxo ocorreu no tratamento AZ (667,7 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹) e no segundo período no tratamento RF (312,6 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹), seguido pelo AZ. Considerando a emissão de N₂O medida nesses dois períodos, o fluxo médio decresceu na seguinte ordem: AZ > RF > G = G+G > P+G.

Os fluxos observados no período logo após a semeadura estiveram relacionados a uma irrigação/banho de superfície realizada um dia antes da avaliação de N₂O, que apresentou os maiores fluxos observados durante todo o período de condução do experimento. Possivelmente esse aumento no fluxo de N₂O esteja relacionado ao estabelecimento das condições favoráveis para o processo de desnitrificação (anaerobiose, NO₃⁻ e C disponível). No período anterior a realização da irrigação as condições de baixa umidade do solo e conseqüentemente maior disponibilidade de O₂, devem ter sido favoráveis ao processo de nitrificação responsável pela produção de NO₃⁻ no solo. Aliado a isso, os ciclos de secagem e umedecimento do solo devem ter promovido o aumento da disponibilidade de C. Esse aspecto, aliado ao maior teor de C na camada de 0-5 cm dos tratamentos AZ e RF, devem ter promovido maior disponibilidade de C lábil nesses tratamentos. Além disso, no tratamento AZ possivelmente continha maior disponibilidade de C devido à permanência de parte dos resíduos culturais da gramínea, no solo. Nessas condições, o aumento do EPSS decorrente da irrigação deve ter estimulado a

atividade das bactérias desnitrificadoras, as quais utilizaram o C disponível reduzindo o NO_3^- até formas gasosas de N.

No segundo período, o aumento nos fluxos de N_2O esteve relacionado a um aumento da disponibilidade de C e N devido à queda das folhas da soja ao final do ciclo da cultura. A senescência das folhas teve início em 01/02/2013, mas quantidades expressivas de folhas atingiram o solo a partir de 08/03/2013. Os tratamentos RF e AZ apresentaram respectivamente, as maiores quantidades de matéria seca acumulada, oriundas da senescência da soja, (Figura 3) e também os maiores fluxos de N_2O , nesse período.

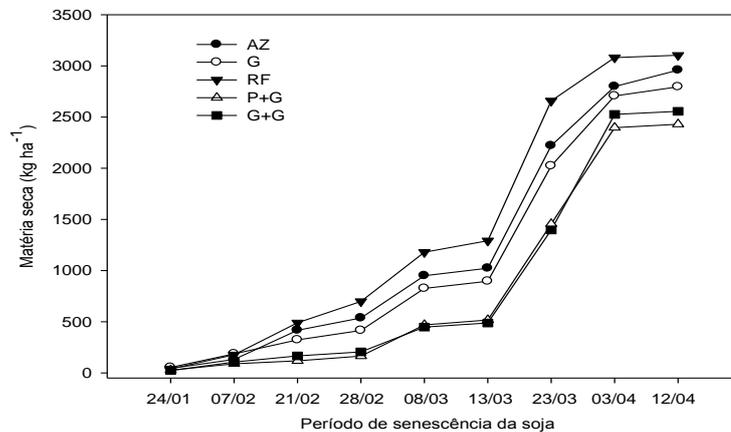


Figura 3: Matéria seca acumulada de folhas senescentes ao final do ciclo da soja.

É interessante salientar que já no início da senescência das folhas observou-se aumento dos teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo (Figura 1: B e C). No entanto, mesmo com a ocorrência de chuvas, os fluxos de N_2O se mantiveram baixos. Aumento nos fluxos de N_2O foram observados apenas no período de intensa queda de folhas e estiveram relacionados a ocorrência de precipitação que ocorreram a partir de 148 dias após o plantio da soja. Tais resultados observados nesse período indicam que a ocorrência de elevados fluxos de N_2O esta relacionada ao aumento da disponibilidade de C e N no solo. De acordo com Gomes (2009) o C lábil é um dos fatores que controla as emissões de gases do solo.

Resíduos culturais com relação C/N baixa, durante a fase inicial de decomposição, potencializam as emissões de N_2O (KAEWPRADIT et al., 2008).

Dessa forma, existe uma carência de informações relacionadas à emissão de N_2O no cultivo da soja em solos de várzea. Escobar (2008), ao avaliar as emissões de N_2O em um Latossolo Vermelho com boa drenagem, sob diferentes manejos do solo, verificou que os resíduos de soja aumentaram os teores de NO_3^- no solo, que somados a uma maior umidade, favoreceu o processo de desnitrificação. Zschornack (2011), ao estudar as emissões de N_2O em solo de várzea, cultivado com arroz irrigado em rotação com plantas de cobertura, observou que o tratamento rotacionado com leguminosa apresentou as maiores emissões de N_2O , associando esse fato ao resíduo de baixa relação C/N que foi aportado ao tratamento, devido aos altos teores de N presentes no tecido da leguminosa.

Após os períodos de intensos fluxos de N_2O , observa-se um decréscimo dos mesmos com pequena variação entre tratamentos. Nos dois meses após a colheita os fluxos de N- N_2O variaram de -1,1 a 73 g de N- N_2O ha⁻¹ dia⁻¹. Era esperado um aumento nos fluxos de N_2O após a colheita da soja devido à adição dos resíduos culturais ao solo. Possivelmente, esse resultado esteja relacionado ao fato de que os resíduos culturais de colheita da soja não provocaram aumento expressivo dos teores de N mineral do solo. Segundo Redin (2010), resíduos de colheita de soja apresentam elevada relação C/N com baixo potencial de mineralização do N.

Durante o cultivo do azevém realizado sobre os tratamentos no período de entressafra, foi realizada a aplicação de N em cobertura (30 kg N ha⁻¹) onde não foram verificados incrementos nos fluxos de N- N_2O . Com a aplicação de N era esperado um aumento dos fluxos de N- N_2O devido o aumento da disponibilidade de N no solo. Passados 240 DAS, os fluxos de N- N_2O decresceram e se mantiveram baixos em todos os tratamentos até o final das avaliações.

Segundo Bateman & Baggs (2005) as emissões de N_2O são favorecidas quando o solo apresenta valores de EPSA acima de 60%. No presente estudo, apesar dos valores de EPSA permanecerem elevados, os fluxos de N_2O foram baixos na maioria das avaliações realizadas. Tal constatação indica que o solo, durante a condução do experimento, apresentava condições de baixa disponibilidade de O_2 , o que pode estimular a atividade das bactérias desnitrificadoras responsáveis pela produção de N_2O . No entanto, a atividade dessas bactérias deve ter sido limitada pela indisponibilidade de C e, ou, NO_3^- , com exceção nos períodos de maior fluxo. Elevados valores de EPSA podem provocar alteração na relação N_2O/N_2 em ambientes muito úmidos, pois essa condição

favorece uma completa desnitrificação, conduzindo a reação até N_2 (Liu et al., 2007). Rudaz et al., (1999) observaram que valores de EPSA acima de 80% favorecem a produção de N_2 , pois o N_2O é utilizado como acceptor final de elétrons, no processo de desnitrificação.

No tratamento AN não se verificou fluxos consideráveis de $N-N_2O$ no decorrer das avaliações (Figura 2). Tal resultado deve estar relacionado à condição de alta redução do solo e aos baixos teores de N observados durante as avaliações.

As emissões acumuladas de $N-N_2O$ variaram de 3,8 a 7,98 $kg\ ha^{-1}$, entre os tratamentos cultivados com soja. O tratamento AZ obteve o maior valor acumulado de $N-N_2O$ (7,9 $kg\ ha^{-1}$), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, seguido pelo tratamento RF. Segundo Rochete (2008), o não revolvimento do solo somado à presença de palha em superfície, propicia condições ideais de temperatura e umidade favorecendo os processos de nitrificação e desnitrificação. A presença de palha em superfície, além de manter a umidade do solo, age como fonte de C e N lábeis favorecendo o processo de desnitrificação e a emissão de N_2O (ZANATA, 2009).

As emissões acumuladas de $N-N_2O$ aumentaram rapidamente em dois períodos no decorrer das avaliações, 13 e 18 dias e entre 149 e 161 dias após o plantio da soja. Dessa forma 81% dos valores acumulados de $N-N_2O$ em AZ, correspondem às emissões referentes ao período de cultivo da soja. Ao se observar os teores de N mineral obtidos durante as avaliações (Figura1: B e C), nota-se que as emissões acumuladas de $N-N_2O$ tendem a se elevar nos períodos de maior disponibilidade de NO_3^- e C no solo, associados a valores de EPSA do solo acima de 60%, decorrentes de eventos pluviométricos. Shelton et al., (2000) mostram que, quando o valor de EPSA do solo é superior a 60%, as emissões de N_2O ocorrem em função do processo de desnitrificação por ação de bactérias anaeróbicas, na presença de NO_3^- e C disponível.

Diversas pesquisas desenvolvidas mundialmente tem apontado para uma maior emissão de N_2O , no solo sob sistema de plantio direto (SPD), comparativamente ao sistema de plantio convencional (SPC) (SMITH et al., 2001; ZOTARELLI, 2005; LIU et al., 2006), em função da adição de resíduos na superfície do solo, a qual cria condições ideais para o processo de desnitrificação (BAGGS et al., 2003). Gomes (2006) ao avaliar a influência das leguminosas nas emissões de N_2O em diferentes sistemas conservacionistas do solo em um Argissolo Vermelho,

observou uma maior emissão acumulada de N₂O no SPD, quando comparado ao SPC. O mesmo estudo ainda apontou uma maior emissão de N₂O oriundo de sistemas manejados com leguminosas, quando comparados a sistemas com gramíneas, atribuindo o fato a baixa relação C/N do material adicionado ao sistema pela biomassa das culturas.

A AN obteve o menor valor de emissão acumulada de N-N₂O (0,6 kg ha⁻¹). Dessa forma, a conversão dessas áreas naturais para uso na agricultura promove o aumento da emissão de N₂O com destaque para o sistema com cultivo de azevém no período de entressafra, antecedendo o cultivo da soja.

Tabela 2. Emissões acumuladas de N-N₂O durante o período de cultivo da soja, durante o período de entressafra e emissão total de N-N₂O acumulada nos tratamentos cultivados com soja e na área natural.

Tratamentos	Período de avaliações 2012/2013		
	Safra	Entressafra	Total
N-N ₂ O (kg ha ⁻¹).....		
AZ	5,77 ± 0,30	2,14 ± 0,36	7,91 ± 0,28 a
G	4,10 ± 1,91	0,70 ± 0,14	4,80 ± 1,42 c
RF	5,54 ± 0,97	1,12 ± 0,18	6,66 ± 1,08 b
P+G	2,82 ± 0,64	1,00 ± 0,67	3,82 ± 0,63 cd
G+G	3,92 ± 0,51	0,80 ± 0,44	4,72 ± 0,80 c
AN	0,38 ± 0,08	0,21 ± 0,12	0,59 ± 0,13 d

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD (Least significant difference), a 5% de probabilidade.

3.4.3 Emissão de CH₄

Os fluxos de C-CH₄ variaram de -9 a 1.526 g ha⁻¹ dia⁻¹ no decorrer das avaliações. O tratamento AN apresentou o maior fluxo de emissão de C-CH₄ ocorridos aos 44 DAS. Aos 130 DAS, os fluxos decresceram no tratamento AN, mantendo-se baixos até o final das avaliações.

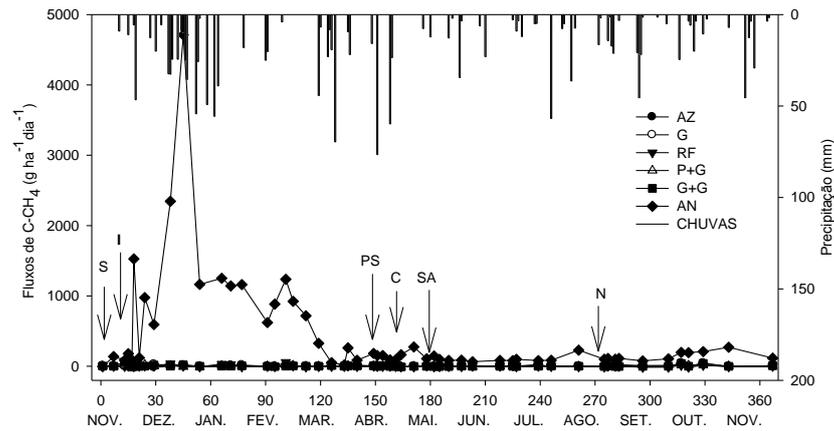


Figura 4: Fluxos de C-CH₄. Significado das letras: S: semeadura da soja; I: irrigação da soja por alagamento/banho; PS: período de senescência da soja; C: colheita da soja; SA: semeadura do azevém; N: aplicação de nitrogênio (ureia) em cobertura no azevém (30 kg N ha⁻¹).

As emissões acumuladas de C-CH₄ durante o período de avaliações foram baixas nos tratamentos cultivados com soja, variando de 0,1 a 0,9 kg ha⁻¹, em AZ e RF, respectivamente. Já o tratamento AN apresentou o maior valor acumulado de C-CH₄, totalizando 162 kg ha⁻¹, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

O maior fluxo de C-CH₄ foi observado no tratamento AN, atingindo o valor de 4.712 g ha⁻¹ dia⁻¹, ocorrido aos 45 DAS. Os fluxos de CH₄ constatados nesse tratamento estão fortemente relacionados à ocorrência de eventos pluviométricos e as elevadas temperaturas decorrentes dos meses de verão, somadas a uma possível disponibilidade de C lábil, logo que essas áreas são caracterizadas por constante alagamento do solo e acúmulo de matéria orgânica provenientes de material vegetal em decomposição (CARVALHO & OZORIO, 2007). Segundo Liikanen et al., (2006) a emissão de CH₄ oriunda de banhados está intimamente relacionada a variação sazonal e temporal, resultando na variação dos fatores ambientais que afetam os processos microbianos atrelados a emissão desse gás, bem como umidade e temperatura. Além disso, Segers & Kengen (1998) destacam que a mineralização anaeróbia do C é o principal regulador da produção de CH₄. Buss et al., (2012) ao avaliarem diferentes sistemas de irrigação sobre a emissão de CH₄ em solo cultivado com arroz, concomitantemente à uma área natural de várzea, sem histórico de cultivo, observaram o maior fluxo de emissão de CH₄ na área natural, quando comparado aos demais tratamentos (inundação e aspersão), logo os

autores atribuíram esse resultado as condições de alta umidade do solo no momento das coletas, corroborando os resultados obtidos no presente estudo.

Já entre os tratamentos cultivados com soja, os diferentes preparos do solo não influenciaram as emissões de CH₄, os quais tiveram comportamentos semelhantes entre si, sendo que em muitas das avaliações realizadas, os valores dos fluxos foram negativos. O valor máximo nos fluxos de C-CH₄ entre os tratamentos citados acima foi de 61 g ha⁻¹ dia⁻¹, em G+G. Apesar dos altos valores de umidade e temperatura encontrados nesse estudo durante as avaliações, favorecerem o processo de metanogênese (LEMER & ROGER, 2001), as baixas emissões de C-CH₄ observadas devem estar associadas aos baixos teores de C do solo. O C orgânico atua como uma importante fonte de C lábil em solos alagados, estando intimamente relacionado à produção de CH₄ (LU et al., 2000). Zschornack (2011) ao avaliar a mitigação das emissões de CH₄ na cultura do arroz irrigado sob cultivo mínimo e plantio direto, relacionou os baixos fluxos de CH₄ no cultivo mínimo, à baixa concentração de carbono orgânico encontrada na solução do solo. Essa situação pode ir ao encontro dos resultados encontrados no atual estudo, em função da decomposição parcial da palha remanescente da colheita, durante o período de entressafra. Ao contrário do que já se sabe sobre a emissão de CH₄ em solos de várzea cultivados com arroz irrigado, sob diferentes sistemas de manejo do solo, existe uma carência de informações quanto ao comportamento das emissões desse gás, durante o cultivo da soja em agroecossistemas de várzea no Sul do Brasil. Omonode et al., (2007) em estudo realizado sob clima temperado, não observaram diferenças significativas sobre as emissões de CH₄ em diferentes sistemas de manejo do solo em condições de sequeiro, onde possivelmente o solo atuou como dreno de CH₄. Ussiri et al., (2009) mencionaram um aumento na absorção de CH₄ em solos com SPD, em função da diminuição das perturbações na superfície do solo.

Nesse contexto, o cultivo da soja em solo de várzea surge como uma opção para a mitigação das emissões de CH₄, quando comparado às áreas naturais de banhado.

Tabela 3. Emissões acumuladas de C-CH₄ durante o período de cultivo da soja, durante o período de entressafra e emissão total de C-CH₄ acumulada nos tratamentos cultivados com soja e na área natural.

Tratamentos	Período de avaliações 2012/2013		
	Safra	Entressafra	Total
C-CH ₄ (kg ha ⁻¹).....		
AZ	0,19 ± 0,11	0,36 ± 0,39	0,55 ± 0,28 b
G	0,57 ± 0,43	0,21 ± 0,59	0,78 ± 1,42 b
RF	0,88 ± 0,75	- 0,64 ± 0,41	0,24 ± 1,08 b
P+G	0,31 ± 0,44	0,62 ± 0,41	0,93 ± 0,63 b
G+G	0,78 ± 0,51	0,38 ± 0,35	1,16 ± 0,80 b
AN	141 ± 7,32	21,4 ± 1,41	162 ± 0,13 a

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste LSD (Least Significant Difference) a 5% de probabilidade

3.4.4 Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)

. O tratamento AN apresentou o maior PAGp, com 5,2 Mg CO₂ eq. ha⁻¹ ano⁻¹, diferindo estatisticamente dos demais. Esse valor foi composto basicamente pelo acumulado de CH₄, responsável por 95% do PAGp. Do total acumulado de CH₄, 90% foi emitido no período de safra, o qual corresponde aos meses de verão no estado do RS.

Dentre os tratamentos cultivados com soja, os valores do PAGp variaram de 1,9 a 3,7 Mg CO₂ eq. ha⁻¹ ano⁻¹, em P+G e AZ, respectivamente. O AZ diferiu estatisticamente dos demais tratamentos cultivados com soja, seguido pelo RF. A maior contribuição para o PAGp entre os tratamentos cultivados com soja, foi referente as emissões de N₂O, sendo que o tratamento AZ apresentou 99,2% do seu PAGp composto pelas emissões desse gás, conforme figura 4. Além disso, em torno de 84% do N₂O que compôs o PAGp desses tratamentos, foi emitido durante o ciclo da cultura

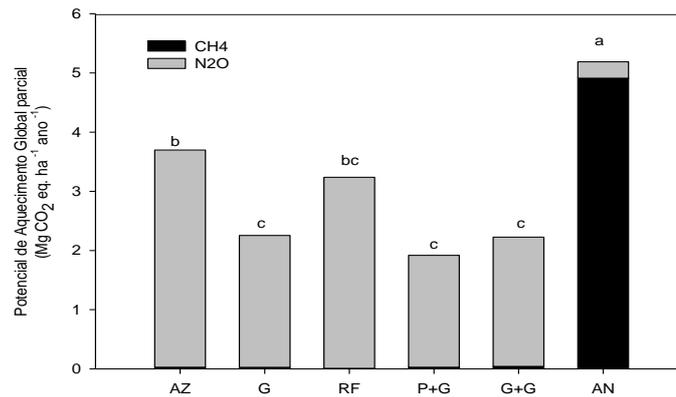


Figura 5: Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) = $(\text{CH}_4 \times 24) + (\text{N}_2\text{O} \times 296)$, em Mg CO_2 eq. $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, das emissões acumuladas de CH_4 e N_2O . Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD (Least significant difference), a 5% de probabilidade.

O PAGp, em Mg CO_2 eq. $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, seguiu a seguinte ordem decrescente entre os tratamentos: AN (5,2) > AZ (3,7) > RF (3,2) > G (2,2) = G+G (2,2) > P+G (1,9).

O tratamento AZ apresentou o maior valor acumulado de N-N₂O e também o maior PAGp. Segundo Pinto et al., (2004) a contribuição do N₂O para o PAGp esta intimamente relacionada a disponibilidade de substrato para os processos microbianos. Gomes (2006) destaca que o SPD, com cultivo de gramíneas forrageiras de inverno, tende a apresentar um PAG positivo, contribuindo para um aumento do forçamento radioativo. Souza (2013) ao avaliar o PAGp durante o cultivo do arroz, em um solo de várzea submetido a diferentes sistemas de manejo na entressafra, por um período de dois anos, observou o PAGp 61% superior no tratamento cultivado com azevém, quando comparado aos que fizeram uso da grade de discos. No entanto, os demais tratamentos cultivados com soja no presente estudo, também tiveram um incremento considerável de N₂O aos valores do PAGp. Possivelmente a introdução dessa leguminosa nessa área de várzea tenha favorecido as altas emissões de N₂O observadas. Esse fato deve estar relacionado principalmente ao processo de senescência das plantas de soja. Zschornack (2011) cita que o PAGp em solos de várzea é incrementado pelas emissões de N₂O, principalmente quando resíduos de leguminosas são adicionados ao solo. Segundo Gomes (2006), a emissão de N₂O é um dos fatores que mais contribui para o aumento do PAG em sistemas cultivados com leguminosas.

Ao contrário do N_2O , o CH_4 apresentou um baixo percentual de contribuição ao PAGp, entre os tratamentos cultivados com soja. Apesar do solo de várzea apresentar uma má drenagem superficial, as parcelas do estudo em questão apresentaram um sistema natural de drenagem eficiente, não havendo acúmulo de água sobre a superfície do solo por um período prolongado. Dessa forma, as baixas emissões de CH_4 podem estar associadas ao fato dos solos aerados atuarem como sumidouro de CH_4 através do processo de oxidação microbiana, pelas bactérias metanotróficas (SMITH et al., 2003).

Na área experimental do tratamento AN, observou-se durante as avaliações, um constante alagamento do solo, associado principalmente à ocorrência de eventos pluviométricos. Esse fato pode justificar o alto acúmulo de CH_4 nesse tratamento, logo que a decomposição, principalmente de material orgânico em ausência de oxigênio, induz a produção de CH_4 através da ação de bactérias metanogênicas (STAMS & PLUGGE, 2010). Buss et al., (2012) ao avaliarem diferentes sistemas de irrigação na cultura do arroz concomitantemente a uma área natural de várzea, observaram o valor de PAGp de $5 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1}$ no tratamento área natural, sendo esse valor de PAGp proveniente basicamente da emissão acumulada do CH_4 , corroborando o resultado encontrado no tratamento AN do presente trabalho. Contudo há uma grande carência de informações referentes ao comportamento do PAGp, avaliado em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na entressafra, durante o cultivo da soja.

Dessa forma, considerando as emissões de GEE durante o cultivo e a entressafra da soja, é necessária a adoção de manejos na entressafra do arroz, que promovam a incorporação da palha no solo, como G, G+G e P+G, pois esses manejos beneficiam a decomposição dos resíduos culturais durante a entressafra, apresentando menores valores de PAGp. Além disso, o cultivo da soja em área de várzea mitiga as emissões de CH_4 , reduzindo o PAGp dessas áreas, quando comparado à áreas naturais de banhado.

3.5 Conclusões

O cultivo da soja em várzea mitiga as emissões de CH₄ comparado à área natural, independente do sistema de manejo adotado na entressafra, antecedendo o plantio da soja;

O cultivo da soja em várzea aumenta as emissões de N₂O em relação a área natural, sendo que as maiores emissões desse gás foram medidas no sistema de manejo com o cultivo de azevém na entressafra, antecedendo o cultivo da soja.

Áreas naturais de várzea, sem interferência antrópica são fontes potenciais de emissão de CH₄, principalmente no período de verão.

3.6 Literatura citada

BAGGS, E.M.; STEVENSON, M.; PIHLATEC, A.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrogen oxide emissions following applications of residues and fertilizer under zero and conventional tillage, **Plant and soil**, Dordrecht, v.254, 2003.

BAIRD, C. Química ambiental. Porto Alegre: **bookman**, Cap. 4: O efeito estufa e o aquecimento global, p.622, 2002.

BATEMAN, E.J. & BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space, **Biology and Fertility of Soils**, v.41, p.379-388, 2005.

BEARE, M.H.; GREGORICH, E.G.; St-GEORGES, P. Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.611-621, 2009.

BUSS, G.L.; SCIVITTARO, W.B.; SOUSA, R.O.; BAYER, C.; ROSA, C.M.; WOLTER, R.C.D.; SILVA, J.B.; PARFITT, J.M.B.; SOCINI, M.M.; SEHN, C.F. S.; SILVA J.T. Implicações de sistemas de irrigação sobre a emissão de metano e óxido nitroso em solo cultivado com arroz. **Anais XIX reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água**. Lages – SC, 2012.

CARVALHO, A.B.P. & OZORIO, C.P. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de ciências ambientais**, Canoas, v.1, n.2, p. 83-95, 2007.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.40-44, 2007.

CONRAD, R. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v.64, p.59-69, 2002.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. **Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.323-332, 2008.

EMBRAPA. **Contribuição de sistemas de manejos do solo para a produção sustentável da soja**. Circular técnica, n.46. Londrina-PR, 2004.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 306 p., 2006.

EMBRAPA. **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de metano do cultivo de arroz**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2010, 50p.

EPAGRI. **Sistema de produção de arroz irrigado em Santa Catarina**. 2ª ed. rev. e atual. Florianópolis-SC, 2005.

ESCOBAR, L.F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo do solo do planalto médio do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2008, 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

FERREIRA, D.F. **Sistemas de análises estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, p.145, 2000.

FORSTER, P.; RAMSWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNSTEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHUTZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Climate Change 2007: **The Physical Science Basics**. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, USA, p.129–234, 2007.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006, 151f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2006.

GOMES, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crop-based crop rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.1, p.36-44, 2009.

HOUGHTON, Y.; DING, D.J.; GRIGGS, M.; NOGUER, P.J.; VAN DER LINDEN J. T.; XIAOSU, D. **Climate Change: The Scientific Basis**. United King: IPCC, 2001.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Pesquisa fomenta diversificação produtiva na várzea**. 2013. Disponível em: <http://jcrs.uol.com.br/site/noticia.php?codn=132488>. Acessado em: 02/12/2013.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B. J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.82, p.161-173, 2008.

KAEWPRADIT, W.; TOOMSAN, B.; VITYAKON, P.; LIMPINUNTANA, V.; SAENJAN, P.; JOGLOY, S.; PATANOTHAI, A.; CADISCH, G. Regulating mineral N release and greenhouse gas emissions by mixing groundnut residues and rice straw under field conditions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.59, p.640-652, 2008.

LEMER, J. & ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.25-50, 2001.

LIIKANEN, A.; HUTTUNEN, J.T.; KARJALAINEN, S.M.; HEIKKINEN, K.; VÄISÄNEN, T.S.; NYKÄNEN, H.; MARTIKAINEN, P.J. Temporal and seasonal changes in greenhouse gas emissions from a constructed wetland purifying peat mining runoff waters. **Ecol. Eng.**, v.26, p.241-251, 2006.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; ZHANG, F.S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, v.280, p.177–188, 2006

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; ZHANG, F.S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology Biochemistry**, v.39, p.2362-2370, 2007.

LU, Y.; WASSMANN, R.; NEUE, H-U; CHANGYONG, H. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice. **Soil Science Society America Journal**. Madison, v.64, p.2011–2017, 2000.

MARCHESAN, E. Controle do arroz-vermelho. (Eds.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação, p.547-577, 2004.

MARTINEZ, R.F.; CALERO, M.B.J.; NOGALES, V.M.R.; ROVESTI, L.V. Lombricultura: Manual Práctico. 99 pgs. **La Habana**. Cuba, 2003.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, p.729, 2006.

MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin: Wiley, p.175-187, 1989.

MUNARETO, J.D. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 45, p.1499-1506, 2010.

OMONODE, R.A.; VYN, T.J.; SMITH, D.R.; HEGYMEGI, P.; GÁL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn–soybean rotations. **Soil & Tillage Research**, v.95, p.182-19, 2007.

PINTO, M.; MERINO, P.; PRADO, A.; ESTAVILLO, J.M.; YAMULKI, S.; GEBAUER, G.; PIERTZAK, S.; LAUF, J.; OENEMA, O. Increased emissions of nitric oxide and nitrous oxid following tillage of a perennial pasture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 70, p. 13–22, 2004.

REDIN, M. **Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de coberturas do solo**. Santa Maria: UFSM, 2010, 142p.

Dissertação (mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

ROCHETTE, P. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. **Soil & Tillage Research**, v.101, p.97–100, 2008.

RUDAZ, A.; WÄLTI, E.; KYBURZ, G.; LEHMANN, P.; FUHRER, J. Temporal variation in N₂O and N₂ fluxes from a permanent pasture in Switzerland in relation to management, soil water content and soil temperature. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.73, p.83-91, 1999.

SCHÜTZ, H.; SCHRÖDER, P. & RENNENBERG, R. Role of plants in regulating the methane flux to the atmosphere. **New York, Academic Press**, p. 29-63, 1991.

SEGERS, R. & KENGEN, W.M. Methane production as a function of anaerobic carbon mineralization: a process model. **Soil Biol. Biochem.** V.30, p.1107- 1117, 1998.

SHELTON, D.R.; SADEGHI, A.M.; MCCARTY, G.W. Effect of soil water content on denitrification during cover crop decomposition. **Soil Science**, v.165, p.365-371, 2000.

SMITH P.; GOULDING K.W.; SMITH K.A.; POWLSON D.S.; SMITH, J.U.; FALLOON, P.; COLEMAN, K. Enhancing the carbon sink in **European agricultural soils**: including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.60, p.237-252, 2001.

SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J. & REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **Eur. J. Soil Sci.**, v.54, p.779–791, 2003.

SOSBAI, Arroz irrigado: **recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Porto Alegre: SOSBAI, 2010.

SOUZA, E.L. **Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós-colheita**. 2013, 139f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do solo)-Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2013.

STAMS, A.J.M. & PLUGGE, C.M. **The Microbiology of Methanogenesis**. Methane and Climate Change, p. 14-26, 2010.

STEHFEST, E & BOUWMAN, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.74, p.207-228, 2006.

USDA. **Production, supply** and distribution online – Foreign Agricultural Service, 2010. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdResult.aspx>>. Acesso em: 26 set. 2013.

USSIRI, D.A.N.; LAL, R.; JARECKI, M.K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil & Tillage Research**, v.104, p.247-253, 2009.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**, 2009. 92p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZOTARELLI, L. **Influência do sistema de Plantio Direto e Convencional com rotação de culturas na agregação, acumulação de carbono e emissão de óxido nitroso num Latossolo Vermelho distroférico**. 2005, 117 f., Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-Seropédica, RJ, 2005.

ZSCHORNACK, T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo**. 2011. 90f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011.