

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**Caren Alessandra da Rosa**

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA,  
EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ E  
SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Santa Maria,RS  
2021

**Caren Alessandra da Rosa**

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA,  
EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ E  
SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**

Orientador: Prof Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria,RS

2021

Rosa, Caren Alessandra da  
DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE  
COBERTURA, EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E  
PRODUTIVIDADE DO ARROZ E SOJA EM TERRAS BAIXAS  
/ Caren Alessandra da Rosa.- 2021.  
67 p.; 30 cm

Orientador: Sandro José Giacomini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2021

1. Decomposição 2. Plantas de cobertura 3. Terras  
baixas 4. Gases do efeito estufa I. Giacomini, Sandro  
José II. Título.

**Caren Alessandra da Rosa**

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA,  
EMIÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ E  
SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

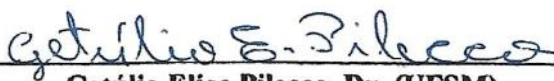
**Aprovado em 26 de fevereiro de 2021:**



---

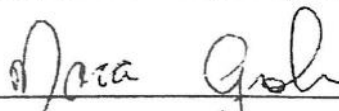
**Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)**

(Presidente/Orientador)



---

**Getúlio Elias Pilecco, Dr. (UFSM)**



---

**Mara Grohs, Dra. (IRGA)**

Santa Maria, RS

2021

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por estar sempre junto de mim, iluminando meus caminhos.

Ao meu orientador prof. Sandro J. Giacomini, por ter me acolhido no grupo de pesquisa, pela oportunidade, apoio, ensinamentos e por ter me guiado durante o mestrado.

Ao meu coorientador prof. Enio Marchesan, por todos ensinamentos, acolhida e apoio na execução do meu trabalho juntamente ao Grupo GPAI.

A minha mãe, Lurdes, meu maior exemplo de vida e ao meu padrasto Ariovaldo, pelos ensinamento, incentivo e apoio durante todos os meus projetos. À vocês meu muito obrigada, por todo amor, carinho e força para lutar contra todos os obstáculos.

Ao meu pai, Pedro (*in memoriam*) e meu irmão Pedro Henrique (*in memoriam*) que mesmo longe, tenho certeza que vocês estão presente em todos os momentos, muito obrigada por todo amor, carinho e incentivo para estudar e buscar sempre o meu melhor.

Ao Dalvan por todo amor, companheirismo, incentivo, ser minha inspiração de foco e dedicação e por compartilhar todos os momentos comigo. Te amo!

Aos professores e funcionários do departamento de solos pelos ensinamentos.

Aos bolsistas e ex-bolsistas de iniciação científica do Grupo LABCEN, Bruna, Emanuel, Fabieli, Fernanda, Gabriele, Guilherme, João, Mathias, Menikey, Mônica, Nathália, Rafael, por toda a ajuda.

Aos colegas de pós-graduação, Adriane, Alisson, Ana, Bruno C., Bruno A., Camille, Dayvid, Gabriel, Getúlio, Heitor, José Flávio, Lucas, Luís Fernando, Nariane, Pâmela, Roberta, Rose, Raquel, Stefen, Valeria e Viviane pela convivência e amizade.

Aos bolsistas e ex-bolsistas do Grupo GPAI, Ana, Augusto, Bruno C., Eduardo, Gilmar, Julian, Mariana, Matias, Oscar, Sabrina, Tiago, Uashington, Zanandra e aos funcionários Robson G. e Robson por toda a ajuda.

Ao Douglas pelas análises realizadas no LABCEN.

A banca avaliadora, Getúlio e Mara, pelas contribuições e sugestões para melhoria no trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os meus amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho minha gratidão!

## RESUMO

### DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA, EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ E SOJA EM TERRAS BAIXAS

AUTORA: Caren Alessandra da Rosa  
ORIENTADOR: Sandro José Giacomini

O cultivo de gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura no outono/inverno é uma prática pouco utilizada em terras baixas, principalmente em relação ao uso consorciado entre essas espécies. O objetivo deste estudo foi o de avaliar a modificação da taxa de decomposição e liberação de N do azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo persa (*Trifolium resupinatum*) consorciados em relação ao uso isolado dessas espécies, bem como a alteração nas emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e no rendimento de grãos de arroz irrigado e soja em terras baixas. O estudo foi realizado no ano agrícola 2019/20 na área didático-experimental de terras baixas do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Foram conduzidos dois experimentos, um com a cultura da soja e outro com o arroz irrigado. Os tratamentos avaliados em cada experimento foram os seguintes: trevo persa, azevém, consórcio (trevo persa + azevém) e pousio (sem plantas). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada em junho/2019 em área manejada logo após a colheita do arroz irrigado. A dessecação das espécies ocorreu em outubro/2019 e posteriormente foi realizada a semeadura do arroz irrigado e da soja sobre os resíduos culturais das plantas de cobertura. As avaliações realizadas foram: produção de massa seca e acúmulo de nitrogênio (N) pelas plantas de cobertura, decomposição e liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura, N inorgânico (amônio e nitrato) na camada 0-10 cm, emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O utilizando o método da câmara estática, potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e produtividade de grãos do arroz irrigado e da soja. O cultivo consorciado de azevém e trevo persa modificou a composição química dos resíduos, mas não alterou a taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos em relação ao trevo persa na fase inicial de decomposição. O cultivo de plantas de cobertura na entressafra não afetou a produtividade de grãos de arroz irrigado e soja em terras baixas. O CH<sub>4</sub> foi o principal gás emitido no sistema com arroz irrigado e o N<sub>2</sub>O no sistema com soja. Em ambos os sistemas as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram aumentadas na presença de resíduos de plantas de cobertura. Enquanto a emissão de N<sub>2</sub>O foi 2 vezes maior com o trevo persa do que com o azevém, a emissão de CH<sub>4</sub> após o trevo persa no cultivo do arroz irrigado foi 1,3 vezes menor do que o azevém e o consórcio. Esses resultados associados ao PAGp indicam que em terras baixas com o uso de plantas de cobertura, o trevo persa pode ser cultivado antecedendo o arroz irrigado e o azevém e o consórcio preferencialmente antecedendo a soja.

**Palavras-chave:** Rotação de culturas. Liberação de N. Gases do efeito estufa. Composição química

## ABSTRACT

### COVER CROPS RESIDUE DECOMPOSITION, GREENHOUSE GASES EMISSION AND RICE AND SOYBEAN YIELD IN LOWLANDS

AUTHOR: Caren Alessandra da Rosa

ADVISOR: Sandro José Giacomini

Growing grasses and legumes as cover crops in autumn / winter is an uncommon practice in lowlands, especially regarding the use mixture between this species. The objective of this study was to evaluate whether the mixture of ryegrass (*Lolium multiflorum*) and persian clover (*Trifolium resupinatum*) modifies the rate of decomposition and release of N from crop residues in relation to single crops and alters methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions and the yields of rice and soybean in the lowlands. The study was carried out in the agricultural year 2019/20 in the didactic-experimental area of the lowlands of the Department of Plant Science at the Federal University of Santa Maria (UFSM). Two experiments were conducted, one with soybean and the other with rice. The treatments evaluated in each experiment were: persian clover, ryegrass, mixture of persian clover + ryegrass and fallow (without plants). The design used was a randomized block with four replications. The implantation of treatments was carried out in June 2019 in a managed area shortly after the rice harvest. After the management of the species in October 2019, rice and soybean were sown with the cover crop residues on the soil surface. The evaluations carried out were: biomass and N accumulation by the cover crops, cover crops residue decomposition and N release, inorganic N (ammonium and nitrate) in the 0-10 cm soil layer, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions using the static chamber method, partial global warming potential (pGWP) and rice and soybean yields. The mixture of ryegrass and clover modified the chemical composition of the residues, but this change was not sufficient to reduce the rate of decomposition and N release of the residues in relation to the clover in the initial stage of decomposition. Growing cover crops in the off-season did not affect the yields of rice and soybeans in lowlands. CH<sub>4</sub> was the main gas emitted in the rice system and N<sub>2</sub>O in the soybean system. In both systems, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions were increased in the presence of cover crops residues. While the emission of N<sub>2</sub>O was 2 times as high with clover than ryegrass, CH<sub>4</sub> emissions after legume in irrigated rice was 1,3 times lower than with ryegrass and intercropping. These results associated with the pGWP indicate that in lowlands with the use of cover crops, the persian clover should be cultivated preferentially preceding rice and ryegrass and the consortium preceding soybean.

Keywords: Crop rotation. N release. Greenhouse gases. Chemical composition

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1** - Temperatura máxima, mínima e precipitação na safra 2019/20, registradas do dia da dessecação das espécies de cobertura até os 154 dias de cada planta de cobertura.....20
- Figura 2** - Massa seca (MS) (a) e carbono (C) (b) remanescentes nos resíduos culturais das plantas de cobertura em avaliações realizadas até 154 dias durante o cultivo do arroz irrigado e da soja. A seta para cima indica o momento do alagamento do solo no cultivo do arroz irrigado nas parcelas com trevo persa e consórcio e a seta para baixo nas parcelas com azevém. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).....24
- Figura 3** - Nitrogênio (N) remanescente nos resíduos culturais das plantas de cobertura em avaliações realizadas até 154 dias durante o cultivo do arroz irrigado e da soja. A seta para cima indica o momento do alagamento do solo no cultivo do arroz irrigado nas parcelas com trevo persa e consórcio e a seta para baixo nas parcelas com azevém. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).....26
- Figura 4** - Produtividade de grãos de soja após plantas de cobertura do solo e pousio em área de terras baixas. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).....29

### CAPÍTULO II

- Figura 1** - Temperatura máxima, mínima e precipitação na safra 2019/20, registradas do dia da dessecação das espécies de cobertura até os 154 dias de cada planta de cobertura até a colheita da soja.....41
- Figura 2** - Fluxos de  $N-N_2O$  (a) e  $C-CH_4$  (b) após o manejo das culturas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento. Significado das letras: M: manejo do trevo persa e consórcio; S: semeadura do arroz irrigado; I: início do alagamento; RO: período reprodutivo do arroz irrigado. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).....42
- Figura 3** - Emissões cumulativas de  $N-N_2O$  após o manejo das culturas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento.....43
- Figura 4** - Emissões cumulativas de  $C-CH_4$  após o manejo das culturas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento.....44
- Figura 5** - Fluxos de  $N-N_2O$  (a) e  $C-CH_4$  (b) após o manejo das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento. Significado das letras: M: manejo do trevo persa e consórcio; S: semeadura da soja; I: irrigação (banho) na soja. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).....46



<b>Figura 6</b> - Emissões cumulativas de N <sub>2</sub> O após o manejo das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento.....	47
<b>Figura 7</b> - Emissões cumulativas de CH <sub>4</sub> após o manejo das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento.....	48
<b>Figura 8</b> - Teores de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (a) e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N ( no solo na camada de solo de 0-10cm durante a decomposição de trevo persa, azevém, consórcio e pousio. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em P <0,05).....	49
<b>Figura 9</b> - Espaço poroso saturado por água (EPSA) na camada de solo de 0-0,10 m.....	50
<b>Figura 10</b> - Biomassa das folhas senescentes da soja depositadas na superfície do solo durante o ciclo da cultura.....	51

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1</b> - Caracterização dos resíduos culturais utilizados no experimento.....	18
<b>Tabela 2</b> - Produção de matéria seca da parte aérea e nitrogênio (N) acumulado pelas plantas de cobertura do solo e das plantas espontâneas no pousio que antecederam o arroz irrigado e a soja.....	21
<b>Tabela 3</b> – Produtividade de grãos de arroz após plantas de cobertura do solo e pousio com e sem adubação nitrogenada.....	28

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1</b> - Caracterização dos resíduos culturais utilizados no experimento.....	37
<b>Tabela 2</b> – Emissões cumulativas de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O, fator de emissão de N <sub>2</sub> O (EF) e PAGp após a dessecação das plantas de cobertura (PC) até a colheita do arroz irrigado.....	45
<b>Tabela 3</b> – Emissões cumulativas de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O, fator de emissão de N <sub>2</sub> O (EF) e PAGp após a dessecação das plantas de cobertura (PC) até a colheita da soja.....	48

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>12</b>
1.1 HIPÓTESE.....	14
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.1 Objetivos específicos.....	14
<b>2. CAPÍTULO I – DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO E SOJA EM TERRAS BAIXAS... 15</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	15
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
2.2.1 Localização e solo.....	16
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados.....	17
2.2.3 Avaliação da produção de matéria seca e composição química das plantas de cobertura.....	17
2.2.4 Avaliação da decomposição e liberação de N dos resíduos das plantas de cobertura .....	18
2.2.5 Cultivo do arroz irrigado e da soja .....	19
2.2.6 Análise estatística.....	19
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
2.3.1 Condições ambientais .....	20
2.3.2 Produção de massa seca e acúmulo de N pelas plantas de cobertura.....	21
2.3.3 Decomposição e liberação de N dos resíduos das plantas de cobertura .....	22
2.3.4 Produtividade de grãos de arroz irrigado e soja .....	27
2.4 CONCLUSÕES.....	29
2.5 REFERÊNCIAS.....	31
<b>3. CAPÍTULO II - CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA ANTECEDENDO AS CULTURAS DO ARROZ IRRIGADO E SOJA EM TERRAS BAIXAS E SUA INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE OXIDO NITROSO E METANO..... 34</b>	<b>34</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	34
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.2.1 Localização e solo.....	35
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados.....	36
3.2.3 Avaliação da produção de matéria seca (MS) e composição química das plantas de cobertura.....	36
3.2.4 Fluxos de N <sub>2</sub> O e CH <sub>4</sub> .....	37

<b>3.2.5</b>	<b>Coleta e análise de solo.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Biomassa foliar da soja .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Cálculos e análise estatística .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Condições ambientais .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> na cultura do arroz irrigado.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Emissões acumuladas e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) na cultura do arroz irrigado.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> na cultura da soja .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Emissões acumuladas e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) na cultura da soja.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.6</b>	<b>N-mineral e EPSA na cultura da soja.....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Biomassa foliar da soja .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Efeito das plantas de cobertura nas emissões de N<sub>2</sub>O .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Efeito das plantas de cobertura nas emissões de CH<sub>4</sub>.....</b>	<b>54</b>
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>3.6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>62</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As plantas de cobertura são consideradas essenciais para a conservação dos solos, ciclagem de nutrientes e controle de plantas invasoras (CALEGARI et al., 2013; TIECHER et al., 2017). As espécies leguminosas e gramíneas estão entre as mais utilizadas como plantas de cobertura (REDIN et al., 2016). As leguminosas apresentam como principal característica a fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo que ocorre naturalmente e contribui com quantidades significativas de nitrogênio (N) ao solo (CAMPIGLIA et al., 2010; ROSALINO, 2014; HWANG et al., 2015). As gramíneas além da ciclagem de nutrientes, apresentam potencial para produzirem elevadas quantidades de biomassa e contribuem para descompactar o solo (POEPLAU et al., 2015; REDIN et al., 2016; CASSOL, 2017).

O cultivo de plantas de cobertura é realizado predominantemente em terras altas no sistema plantio direto (SPD), onde a dinâmica de decomposição dos resíduos é afetada principalmente por condições de umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes e qualidade dos resíduos culturais (GIACOMINI et al., 2003; KING et al., 2020; ZHENG et al., 2021). Por outro lado, em áreas agrícolas de terras baixas, onde o monocultivo de arroz ainda predomina, o uso de plantas de cobertura no inverno ainda é pouco difundido (GROHS et al., 2020) e existem algumas lacunas no conhecimento sobre o desempenho produtivo e impactos dessas plantas sobre esse agroecossistema. Um dos fatores limitantes é a presença de elevada quantidade de biomassa na superfície do solo proveniente da colheita do arroz. Em função da condição do solo mal drenado (alta umidade, baixo oxigênio), a decomposição dos resíduos ocorre de forma incompleta após o alagamento, predominando resíduos parcialmente decompostos (SAHRAWAT et al., 2012). Apesar disso, o uso de plantas de cobertura em terras baixas vem ganhando espaço devido aos inúmeros benefícios associados ao uso destas espécies, como a maior atividade e diversidade de microrganismos no solo, maior incorporação de C e N no solo, podendo resultar em incrementos na produtividade de grãos no cultivo em sucessão, como do arroz irrigado e da soja (CARLOS, 2017; HWANG et al., 2017; CORREIA et al., 2018).

A decomposição dos resíduos das plantas de cobertura é um processo considerado complexo e que está relacionado diretamente a fatores bióticos e abióticos (SINGH et al., 2010). Dentre eles, destaca-se as condições ambientais como as precipitações e temperatura, além das edáficas e a composição bioquímica dos resíduos, sendo estas, variáveis importantes no processo de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos (AITA e GIACOMINI, 2003; WEILER et al., 2019; SCHMATZ et al., 2020). De modo geral, as gramíneas apresentam

decomposição mais lenta e normalmente provocam a imobilização de N ao solo (JENSEN et al., 2005). Já as leguminosas, apresentam rápida decomposição e liberação de N (REDIN et al., 2014). Pensando nisso, o uso de consórcios entre plantas com composição química distinta (ex.: teor de N, fração solúvel) poderá através de um sincronismo (liberação e imobilização) diminuir as perdas e maximizar a utilização desses nutrientes pelas culturas em sucessão/rotação, por exemplo (WEILER et al., 2019; LEAL et al., 2020).

Por outro lado, a adição de C e N ao solo com os resíduos culturais das plantas de cobertura pode estimular a produção de óxido nitroso ( $N_2O$ ) nos processos de nitrificação e desnitrificação (WEILER, 2018). A ocorrência do processo de nitrificação é favorecida nas condições de aerobiose e presença de  $NH_4^+$ , enquanto que o processo de desnitrificação nas condições de anaerobiose, presença de C disponível e  $NO_3^-$ . A produção de  $N_2O$  via nitrificação predomina em condições de espaço poroso saturado por água (EPSA) entre 35 e 60%, enquanto a desnitrificação é principal processo de emissão de  $N_2O$  em condições de EPSA > 70% (BATEMAN e BAGGS, 2005). Outro gás causador do efeito estufa, o metano ( $CH_4$ ), também pode ter sua produção aumentada pela adição dos resíduos ao solo (IPCC, 2007). O  $CH_4$  é produzido principalmente a partir da decomposição de materiais orgânicos em condições de ausência de oxigênio e condições extremamente reduzidas (GARCIA et al., 2000). Ao cultivar arroz irrigado, a presença dos resíduos proporciona maior impacto no momento do alagamento do solo, devido as condições de anaerobiose ligadas a disponibilidade de substrato às bactérias metanogênicas, acarretando no aumento das emissões de  $CH_4$  (HWANG et al., 2017). Já as emissões de  $N_2O$ , ocorrem em menor quantidade após o alagamento do solo. Por outro lado, se a cultura em sucessão for a soja, a decomposição dos resíduos vai ocorrer predominantemente em condições aeróbicas, resultando em baixas emissões de  $CH_4$ , podendo apresentar elevados fluxos de  $N_2O$  devido ao cultivo ser realizado sem o alagamento do solo (ROSALINO, 2014). Desta forma, a intensidade do efeito das emissões pode variar em função da quantidade, da qualidade, da época de aplicação ou manejo dos resíduos (SCHMATZ et al., 2020).

Neste contexto, é necessário compreender como a utilização de plantas de cobertura em terras baixas no outono/inverno afeta a produtividade de grãos das culturas e as transformações do C e do N no solo. Deste modo, realizou-se um experimento de campo, onde diferentes plantas de cobertura foram utilizadas, sendo representadas pelo trevo persa, azevém e trevo persa+azevém (consórcio). Após a dessecação das plantas de cobertura foi avaliado a decomposição e liberação do N dos resíduos, a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  e a produtividade de grãos de arroz irrigado e soja. Os dados obtidos foram organizados e deram origem a presente dissertação, a qual foi organizada em dois capítulos:

Capítulo 1, engloba os dados de decomposição e liberação de C e N dos resíduos culturais e a avaliação da produtividade de grãos de arroz irrigado e soja em terras baixas.

Capítulo 2, trata das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  e dos fatores controladores da produção desses gases na presença dos resíduos das plantas de cobertura nos sistemas de cultivo com arroz irrigado e soja .

## 1.1 HIPÓTESE

Os resíduos do consórcio entre azevém e trevo persa apresentam taxa de decomposição e de liberação de N distintas dos resíduos das culturas solteiras, contribuindo para o aumento na produtividade de grãos do arroz irrigado e da soja em sucessão e reduzem as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$ .

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar se a mudança na taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos do consórcio entre azevém e trevo persa comparando aos resíduos dessas espécies, alteram as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  e a produtividade de arroz irrigado e soja nas terras baixas

### 1.2.1 Objetivos específicos

- 1) Avaliar a decomposição e liberação de N dos resíduos das plantas de cobertura e seu efeito sobre a produtividade de arroz irrigado e soja em terras baixas.
- 2) Compreender como os resíduos culturais de diferentes plantas de cobertura afetam as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  no arroz irrigado e soja cultivados em terras baixas.

## **2. CAPÍTULO I – DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO E SOJA EM TERRAS BAIXAS**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

O Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor nacional de arroz irrigado com uma área de cultivo de aproximadamente 1 milhão de hectares em terras baixas (IRGA, 2019). Nos últimos anos devido ao aumento exponencial dos custos de produção do arroz irrigado no RS, incidência de plantas invasoras e degradação dos solos, produtores e técnicos vem buscando alternativas que possam minimizar estes problemas. No período de inverno a maioria das áreas em terras baixas permanece em pousio, condição que poderia ser modificada com o cultivo de plantas de cobertura de solo. Além de proteger e incorporar carbono ao solo e promover a ciclagem de nutrientes, as plantas de cobertura podem servir como fonte de forragem para a produção de feno (FERREIRA et al., 2015) e pastejo (CARMONA et al., 2016). De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009) a condição ideal para o solo é estar sempre coberto com plantas em desenvolvimento, determinando alto fluxo de carbono (C) e de energia no sistema solo-planta-atmosfera, beneficiando seus atributos biológicos, químicos e físicos.

Entre as plantas de cobertura com maior potencial de uso em terras baixas estão o azevem (SGANZERLA, 2013) e o trevo (FONTANELLI et al., 2012), os quais se destacam pela produção de biomassa e cúmulo de N, respectivamente. Enquanto os resíduos culturais das gramíneas apresentam lenta decomposição e normalmente provocam imobilização de nitrogênio (N) no solo (AITA e GIACOMINI, 2003), os resíduos das leguminosas se decompõem rapidamente e apresentam elevadas taxas de liberação de N (AITA e GIACOMINI, 2003). Quando se utiliza plantas de cobertura no outono/inverno, busca-se após o seu manejo o sincronismo entre a liberação dos nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura e absorção destes pela cultura subsequente. Portanto, o consórcio entre leguminosas e não leguminosas pode ser uma estratégia para controlar a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes, a fim de melhorar o aproveitamento dos nutrientes pela cultura em sucessão (COÛEDEL et al., 2018; DE NOTARIS et al., 2020).

Além das plantas de cobertura, a soja surge como uma opção para a rotação com o arroz irrigado em terras baixas, e por suas características é uma excelente opção técnica, podendo ser utilizada em áreas com infestação de plantas daninhas de difícil controle, como o arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) (MARCHESAN, 2013). Segundo Schoenfeld (2011), o cultivo da



soja em rotação com o arroz irrigado maximiza o aproveitamento dos nutrientes, aumento do teor de matéria orgânica do solo, além do controle mais eficiente de pragas e plantas daninhas. No entanto, devemos considerar que os solos de terras baixas possuem drenagem superficial deficiente, o que causa problemas ao crescimento da soja, que é afetada pelo excesso e/ou déficit hídrico. Nesse contexto o uso de plantas de cobertura pode melhorar as condições de solo principalmente pela ação do sistema radicular e com isso melhorar o desenvolvimento da soja em terras baixas.

Diante disso, é preciso buscar alternativas sustentáveis para o melhor aproveitamento dos nutrientes do solo na produção de arroz irrigado e que, além disso, possibilite maior retorno econômico para o produtor proporcionando uma maior produtividade de grãos e equilíbrio ao ecossistema. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes plantas de cobertura no outono/inverno quanto a produção de biomassa e acúmulo de N, a decomposição e liberação de N dos resíduos culturais e o efeito sobre a produtividade de grãos de arroz irrigado e soja cultivados em sucessão.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Localização e solo

O estudo foi conduzido no período de junho de 2019 a abril de 2020 na área didático-experimental de terras baixas do Departamento de Fitotecnia (latitude 29°43'13''S, longitude 53°43'27'' W e altitude de 90 m) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. O clima da região é subtropical úmido (tipo Cfa2, na classificação de Köppen), com uma precipitação anual de 1660 mm e temperatura média do ar variando de 14 °C em junho a 25 °C em janeiro (média de 30 anos). A temperatura do ar e precipitação ao longo do experimento foram obtidos a partir de uma estação meteorológica a 0,5 km de distância do local do experimento. O solo é classificado como Planossolo Háplico Alumínico gleissólico (SANTOS et al., 2018), pertencendo à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-10 cm: 290 g kg<sup>-1</sup> de areia, 490 g kg<sup>-1</sup> de silte, 220 g kg<sup>-1</sup>, pH<sub>água</sub> (1:1) = 5,8; argila 26,5 %; alumínio = 0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; fósforo = 7,15 mg dm<sup>-3</sup>; potássio = 0,195 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica (MO) = 24 g kg<sup>-1</sup>. Anteriormente à instalação do experimento a área, foi cultivada com arroz irrigado e o preparo do solo com a incorporação da palha remanescente (resteva) e o nivelamento da área logo após a colheita do

arroz irrigado (março de 2019).

### **2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados**

Foram conduzidos dois experimentos um com soja (*Glycine max*) e outro com arroz irrigado (*Oryza sativa*). As plantas de cobertura de inverno avaliadas em cada experimento foram as seguintes: T1 - trevo persa (*Trifolium resupinatum*), T2 - azevém (*Lolium multiflorum*), T3 – consórcio de plantas (trevo persa + azevém) e T4 - pousio (sem a presença de plantas). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições em parcelas de 3 x 6 m (18 m<sup>2</sup>). As espécies foram semeadas manualmente a lanço no dia 20 de junho de 2019 com densidades de semeadura de 10 kg ha<sup>-1</sup> para o trevo persa, 25 kg ha<sup>-1</sup> para o azevém e de 5 kg ha<sup>-1</sup> de trevo persa + 15 kg ha<sup>-1</sup> de azevém no consórcio. As sementes de trevo persa foram inoculadas com três doses de inoculante recomendado para a cultura. As plantas receberam apenas adubação de cobertura, a qual foi realizada 50 dias após a semeadura das espécies quando foram aplicados 34,7 kg ha<sup>-1</sup> de N, 36 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 22,5 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, sendo que o N-ureia foi aplicado somente no azevém em cultura. Em 10 de outubro e 1 novembro de 2019 foi realizado o manejo químico do tratamento azevém e dos tratamentos consórcio e trevo persa, respectivamente. A dessecação mais tardia do trevo persa e do consórcio em relação ao azevém foi com o objetivo de minimizar as perdas de N, devido a rápida decomposição dos resíduos da leguminosa.

### **2.2.3 Avaliação da produção de matéria seca e composição química das plantas de cobertura**

A avaliação da matéria seca (MS) ocorreu em 09 de outubro de 2019 para o azevem e em 30 de outubro de 2019 para o consórcio e o trevo persa. Em cada parcela foram coletadas aleatoriamente duas subamostras de 0,36 m<sup>2</sup> que foram reunidas em uma amostra única e inicialmente secas em estufa a 45°C até peso constante. Após, a amostra foi pesada e retirada uma subamostra, a qual foi seca em estufa a 65°C até peso constante para determinação da MS. No tratamento consórcio as espécies azevém e trevo persa foram separadas a fim de determinar a contribuição de cada uma na MS total. O material seco a 45°C foi moído em moinho estacionário do tipo *Willey* (1mm) para análise dos teores de fração solúvel (FS), hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina (LIG) usando o método adaptado de Van Soest (1963) conforme Redin et al. (2014). Uma subamostra do material moído foi finamente moída em

moinho de bolas para análise do teor de C e N total por combustão seca em analisador elementar (FlashEA 1112 Thermo Finnigan, Milão, Itália). Na tabela 1, estão apresentadas as características químicas iniciais dos resíduos.

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos culturais utilizados no experimento

Resíduos	C	N	FS	CEL	HEM	LIG	C/N
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
Trevo persa	397,8	20,6	545,4	309,7	64,5	79,0	19,3
Azevém	415,6	10,4	374,8	303,7	286,0	36,9	40,2
Consórcio	404,6	16,8	400,7	318,3	204,6	54,4	25,5

C: carbono; N: nitrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; FS: fração solúvel; CEL: celulose; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.

#### 2.2.4 Avaliação da decomposição e liberação de N dos resíduos das plantas de cobertura

A decomposição e a liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura foram avaliadas através da técnica das bolsas de decomposição (*mesh bags*). Os resíduos culturais da parte aérea das plantas de cobertura utilizados nos *mesh bags* foram aqueles coletados na avaliação da MS e secos a 45°C. Os resíduos foram picados com aproximadamente 13 cm a fim de possibilitar a melhor acomodação nas bolsas confeccionadas com tecido tipo Voal (poliéster), com dimensões de 0,15 m x 0,15 m e malha de 0,5 mm. Os *mesh bags* contendo os resíduos culturais foram distribuídos na superfície do solo um dia após o manejo químico das plantas de cobertura. Em cada parcela foram adicionados 7 *mesh bags*, as quais foram recolhidas aos 7, 14, 28, 56, 84, 126 e 154 dias após a colocação a campo. No momento de cada avaliação, foram coletados 4 *mesh bags* por cada tratamento (1 por bloco). Depois de cada coleta, os resíduos remanescentes no interior dos *mesh bags* foram secos em estufa (65° C) até peso constante para a determinação de massa seca (MS). Em seguida, os resíduos secos foram moídos em moinho tipo Willey (1mm) e após finamente em moinho de bolas. Nos resíduos remanescentes foram determinados os teores de C e N totais por combustão seca em analisador elementar (FlashEA 1112 Thermo Finnigan, Milão, Itália). A fração de cinzas foi determinada através da incineração de 0,5 g de amostra de cada tratamento em mufla a 550°C por 3 horas.

### 2.2.5 Cultivo do arroz irrigado e da soja

No experimento com arroz irrigado, as parcelas foram divididas em duas subparcelas (1,5 x 6 m), sendo que em uma o arroz irrigado foi cultivado sem adubação nitrogenada. A semeadura do arroz irrigado ocorreu em 15 de novembro de 2019, sendo utilizada a cultivar IRGA 431 CL, com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de 100 kg de semente ha<sup>-1</sup>. Na semeadura foi aplicada em todas as subparcelas a mesma quantidade de P e K (70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 105 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O). Na subparcela com N foram aplicados 17,5 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia na semeadura, 100 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia no estágio V3 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia em R0. A irrigação por inundação iniciou logo após a aplicação do N em V3 e foi mantida até 10 dias antes da colheita. A avaliação da produtividade de grãos do arroz irrigado foi realizada em 12 de março de 2020, sendo que em cada subparcela foram colhidos 4 m lineares das cinco linhas centrais, totalizando uma área útil de 3,4 m<sup>2</sup>. Foram avaliados o número de panículas por m<sup>2</sup>, o peso de mil grãos e a esterelidade de espiguetas. Após a colheita, foi realizada a trilhagem, determinação dos componentes de rendimento e correção dos teores de umidade dos grãos para 13% de umidade.

No experimento com soja, a semeadura da leguminosa foi realizada em 01 de dezembro de 2019, sendo utilizada a cultivar BMX Garra IPRO, grupo de maturação 6.3, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e densidade de 56 kg de semente por ha<sup>-1</sup>. A inoculação das sementes foi realizada conforme recomendação técnica. Na adubação de base foram aplicados 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de 105 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, na forma de NPK 00-20-30. Foram realizadas três aplicações de fungicidas durante o ciclo da cultura. Em função do déficit hídrico no período reprodutivo da soja, foi realizada uma irrigação por inundação. A avaliação da produtividade da soja foi realizada em 20 de abril de 2020, quando foram colhidos 4 m lineares das quatro linhas centrais, totalizando uma área útil de 7,2 m<sup>2</sup>. Após a colheita, foi realizada a trilhagem, determinação dos componentes de rendimento e correção dos teores de umidade dos grãos para 13% de umidade.

### 2.2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos nas avaliações de decomposição, liberação de C, N e produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Na cultura do arroz irrigado foi realizado o teste de interação entre plantas de cobertura e adubação nitrogenada. As diferenças entre as médias foram calculadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro,

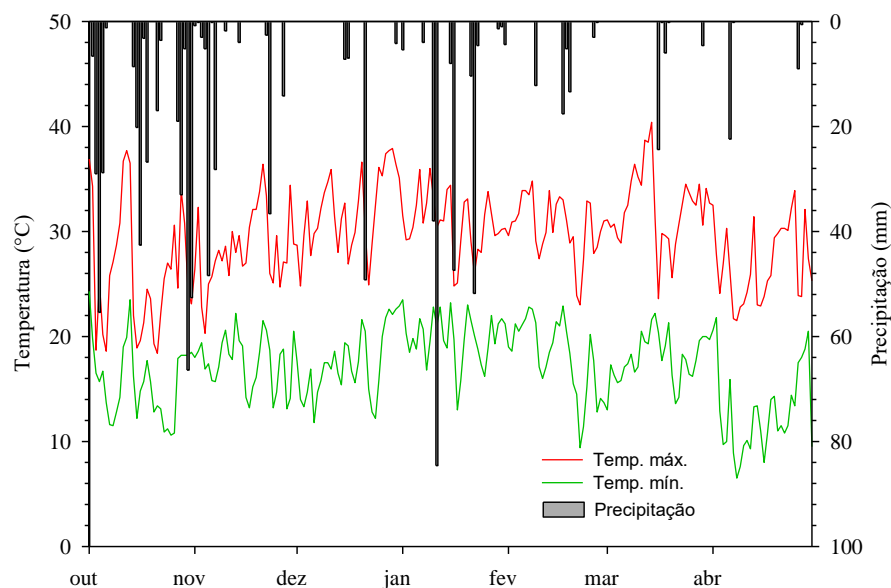
utilizando o software estatístico SISVAR® (versão 5.6) (FERREIRA, 2014).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Condições ambientais

Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 0,5 km do local do experimento. Em 2019, no período de cultivo das plantas de cobertura (112 dias), a precipitação pluvial acumulada foi de 460,20 mm, a temperatura mínima foi de -1,6 °C e a máxima foi de 35,7 °C. Após a dessecação do azevém, nos primeiros 28 dias a precipitação pluvial acumulada foi aproximadamente 384,2 mm (Figura 1). Após 21 dias de dessecação do trevo persa e consórcio, o acumulado foi de 93,6 mm de chuva. A precipitação total durante os 154 dias do manejo do azevém no campo foi de 823,60 mm, diferindo em cerca de 31,90% do manejo realizado para o de consórcio e trevo persa que tiveram um acumulado de 560,8 mm durante os 154 dias. Neste período de 175 dias a temperatura mínima foi de 6,5 °C e a máxima diária foi de 40,4 °C. Somando o período do cultivo das plantas de cobertura e após o manejo das mesmas temos um total de 287 dias de acúmulo de precipitação com cerca de 1319,20 mm.

Figura 1 – Temperatura máxima, mínima e precipitação na safra 2019/20, registradas do dia da dessecação das espécies de cobertura até os 154 dias de cada planta de cobertura.



### 2.3.2 Produção de massa seca e acúmulo de N pelas plantas de cobertura

A produção de massa seca (MS) variou de 217 kg ha<sup>-1</sup> no pousio a 3.223 kg ha<sup>-1</sup> na cultura do azevém, não sendo identificadas diferenças significativas entre os tratamentos com as plantas de cobertura, os quais apresentaram produção média de 2.789 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). Mesmo a produção de MS não diferindo estatisticamente entre os tratamentos com espécies de plantas de cobertura, a produção de MS no azevém foi 20 e 30% maior do que nos tratamentos trevo persa e consórcio, respectivamente. Tais resultados demonstram a adaptabilidade do azevém ao ambiente de terras baixas. Segundo Fontanelli et al. (2012), o azevém apresenta um desenvolvimento inicial lento por ser uma planta de ciclo longo, porém, devido às suas características de perfilhamento abundante, normalmente tem uma maior produção de MS que as demais espécies de inverno.

Tabela 2 – Produção de matéria seca da parte aérea e nitrogênio (N) acumulado pelas plantas de cobertura do solo e das plantas espontâneas no pousio que antecederam o arroz irrigado e a soja, no momento da dessecação das espécies.

Tratamentos	Matéria seca	N acumulado
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	
Trevo persa	2.679 a*	55,1 a
Azevém	3.223 a	33,4 b
Consórcio (Trevo persa + Azevém) <sup>1</sup>	2.465 a	45,3 ab
Pousio	217 b	6,9 c

<sup>1</sup> A quantidade de MS e N acumulado pelo trevo persa no consórcio foi de 1591,6,2 e 34,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e pelo azevém foi de 873,2 e 11,2 kg ha<sup>-1</sup>. \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além do azevém, o trevo persa também é uma espécie de cobertura de outono/inverno e de acordo com a literatura apresenta grande potencial para seu uso na entressafra do cultivo do arroz irrigado e soja em terras baixas. Além de ser uma leguminosa que possibilita maior aporte de N ao sistema, apresenta características de competitividade com as demais espécies e boa adaptabilidade a solos mal drenados (JENSEN e ISON, 1994; COSTA et al., 2005).

A produção de MS do consórcio foi menor que dos cultivos solteiros. Esperava-se que a MS fosse intermediária às demais utilizadas no estudo. Porém, segundo Sganzerla (2013) em áreas com poucas plantas espontâneas aliadas a precipitações normais, como foi o ocorrido na

safra 2019/20, favorece o desenvolvimento antecipado do trevo persa em relação ao azevém. Essa relação, poderá prejudicar a germinação e emergência do azevém, causando assim, uma competição entre as plantas. Aliado aos fatores citados acima, o consórcio não recebeu aplicação de N em cobertura diferentemente do azevém, o que pode ter auxiliado na redução da contribuição do azevém a MS total do consórcio.

A baixa produção de biomassa no pousio se deve a baixa infestação de plantas espontâneas no momento da coleta e as existentes estavam em desenvolvimento inicial, condição que se estabeleceu devido ao controle das plantas espontâneas realizado dois meses após o início do experimento.

Em relação ao N acumulado, foi observada diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que o trevo persa, apresentou maior quantidade de N acumulado na biomassa (55,1 kg ha<sup>-1</sup>). Embora não tenha diferido estatisticamente do consórcio que acumulou 45,3 kg ha<sup>-1</sup>, o trevo persa superou o tratamento azevém em 65% (+21,7 kg ha<sup>-1</sup>). A quantidade de N acumulado pelo trevo persa, confirma seu potencial como planta de cobertura de inverno, leguminosa, em incorporar carbono e nitrogênio aos solos de terras baixas (CARLOS, 2017), podendo disponibilizar esse N para a cultura em sucessão (DE NOTARIS et al., 2019). Além disso, o consórcio apresentou quantidades semelhante de N quando comparado ao trevo persa (solteiro), indicando que o consórcio pode ser uma alternativa viável para a ciclagem de nutrientes, conciliando as características desejáveis das duas espécies.

O azevém não diferiu do tratamento consórcio e acumulou 33,4 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 2). Tais resultados podem estar relacionados a adubação nitrogenada em cobertura realizada no mesmo e não realizada no consórcio e trevo persa. A partir disso, os resultados demonstram que o azevém pode contribuir com o aumento da biomassa e carbono ao solo porém, sem a adição do nitrogênio em cobertura possivelmente ele não irá contribuir para reduzir as perdas do N mineralizado da matéria orgânica do solo no período de entressafra diferentemente do consórcio e trevo persa.

### **2.3.3 Decomposição e liberação de N dos resíduos das plantas de cobertura**

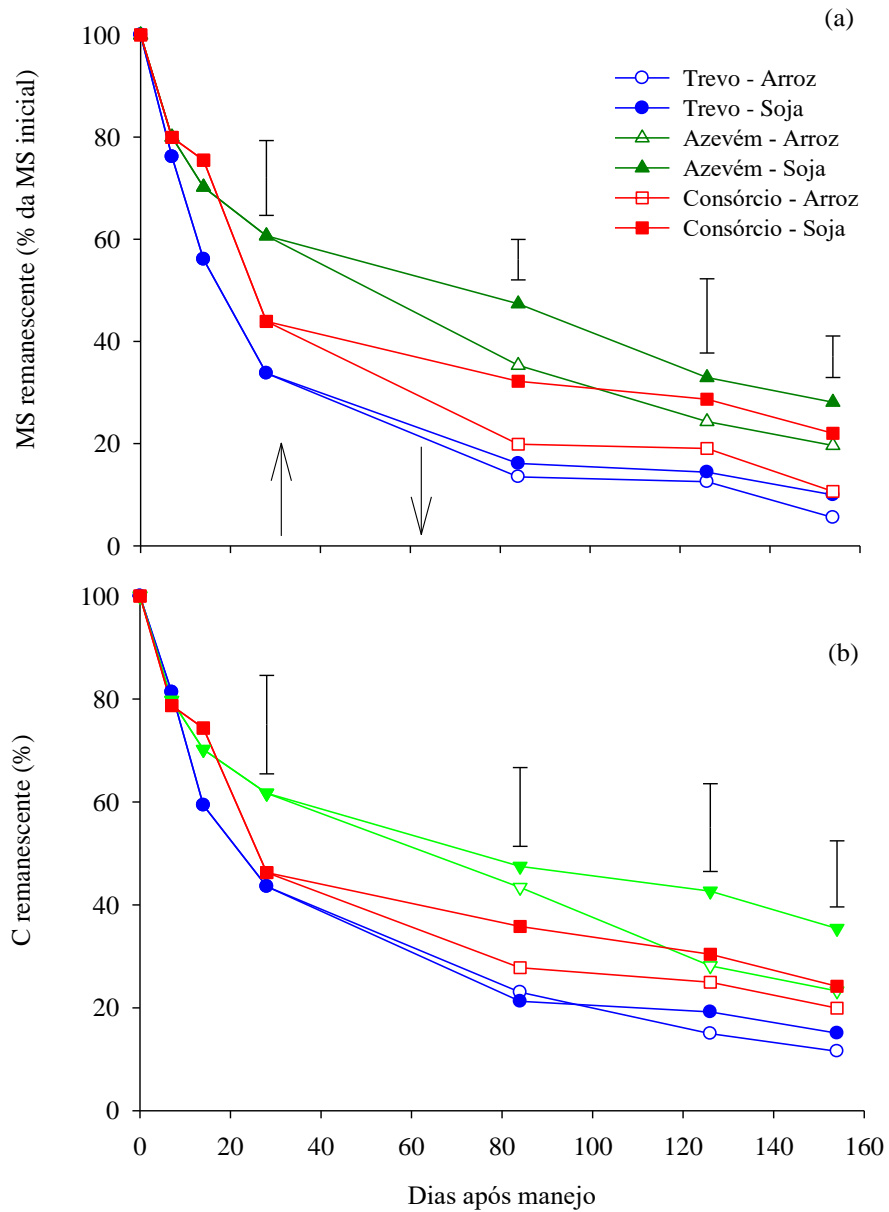
A dinâmica de decomposição nos dois sistemas de cultivo foi semelhante entre os resíduos e apresentou um comportamento clássico, com perda de MS e C acentuada nos primeiros 28 dias, seguida de uma fase cuja a perda de MS e C foi mais lenta e estável até o final dos 154 dias de avaliação (Figura 2a e 2b). Na fase inicial de decomposição a maior perda de MS e C ocorreu nos resíduos de trevo persa, quando aos 28 dias permanecia na superfície

do solo apenas 34 e 43% da MS e do C inicial, respectivamente. No mesmo período, os resíduos de azevém apresentaram 61% de MS remanescente e 63% de C remanescente. Já a quantidade de MS e C remanescentes nos resíduos do consórcio não diferiu daqueles do trevo persa e foram inferiores aos medidos com o azevém. A rápida decomposição dos resíduos culturais de trevo persa e consórcio nas primeiras semanas de avaliação pode ser atribuída a composição química destes resíduos e no caso do consórcio devido a MS total desse tratamento ser composta por 65% de trevo persa. Devido a maior quantidade de fração solúvel e teor de N, proporciona maior liberação de nutrientes, principalmente N ao sistema (GIACOMINI et al., 2003; MASSONI et al., 2013; REDIN et al., 2014; GROHS, 2018; DE NOTARIS et al., 2020). Por outro lado, os resíduos de azevém apresentam menores teores de N e maiores teores de celulose + hemicelulose, características que provocam redução nas taxas de decomposição dos resíduos.

Aos 154 dias a MS e o C remanescente nos resíduos nos dois sistemas de cultivo (arroz irrigado e soja) decresceu na seguinte ordem: azevém > consórcio > trevo persa, sendo que no sistema com arroz irrigado a diferença no C remanescente entre o azevém e o consórcio foi menor do que no sistema com soja em que o solo estava drenado. Enquanto no sistema com arroz irrigado as quantidades remanescentes de C foram de 23, 20 e 12% do C inicial para o azevém, consórcio e trevo persa, respectivamente, no sistema com soja os valores foram de 35, 24 e 15% do C inicial. Comparando os valores de C remanescente nos resíduos entre os sistemas com soja e arroz irrigado observa-se que houve diferença apenas entre os resíduos de azevém (35 vs 23% do C inicial). Tais resultados indicam que o alagamento do solo teve maior influência sobre a decomposição dos resíduos de azevém do que os do consórcio e trevo persa.



Figura 2 – Massa seca (MS) (a) e carbono (C) remanescentes nos resíduos culturais das plantas de cobertura em avaliações realizadas até 154 dias durante o cultivo do arroz irrigado e da soja. A seta para cima indica o momento do alagamento do solo no cultivo do arroz irrigado nas parcelas com trevo persa e consórcio e a seta para baixo nas parcelas com azevém. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).



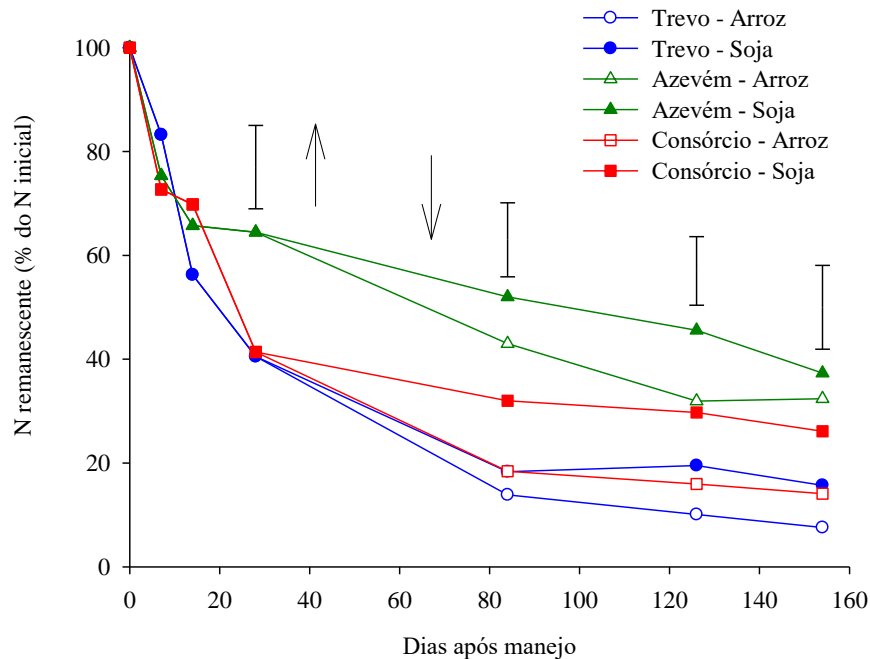
A partir do alagamento do solo aos 28 dias após a dessecação no consórcio e trevo persa e 56 dias após a dessecação no azevém no sistema com arroz irrigado, esperava-se uma redução na decomposição dos resíduos comparado ao sistema com soja em função de que o alagamento do solo conduz a uma redução drástica na disponibilidade de  $O_2$  levando a redução na atividade dos microrganismos aeróbicos que são mais eficientes na decomposição de compostos orgânicos no solo. Conforme Olk et al. (2002) e Neto et al.

(2018), a baixa disponibilidade de oxigênio nos solos de terras baixas quando sofrem o processo de alagamento, propicia a ocorrência de uma menor taxa de decomposição comparado com solos aerados. Porém de acordo com esses autores, essa degradação mais lenta ocorre principalmente em compostos recalcitrantes, como a lignina, o que contribui para a maior estabilização de compostos fenólicos no solo. Sendo assim, é possível que no momento de alagamento os resíduos, principalmente aqueles do azevém, ainda apresentavam compostos mais lábeis do que nos resíduos do consórcio e do trevo persa. Aliado a isso, três aspectos podem explicar a não redução da decomposição dos resíduos com o alagamento: 1) a presença dos resíduos na superfície do solo, local onde existe  $O_2$  disponível em função da difusão do  $O_2$  na lâmina de água; 2) os microrganismos em ambiente alagado normalmente são menos eficientes no uso do C resultando em uma menor demanda de nutrientes em especial o N para realizar a decomposição; essa condição parece favorecer em especial a degradação dos resíduos do azevém que são mais pobres em N; 3) e a decomposição dos resíduos no sistema com soja pode ter sido limitada pela disponibilidade de água e nutrientes, uma vez que os resíduos estão na superfície do solo e sofrem rapidamente a perda de umidade; as altas temperaturas do ar aliada ao baixo volume de precipitação também devem ter contribuído para as diferenças observadas entre o sistema com soja e o sistema com arroz irrigado em que o solo permaneceu alagado.

A liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura seguiu a mesma dinâmica observada para o C, sendo que nos primeiros 28 dias (Figura 3), na média dos sistemas com arroz irrigado e soja, 60 e 59% do N inicial foi liberado dos resíduos do trevo persa e do consórcio, respectivamente. Por outro lado, nesse mesmo período o valor médio de N liberado dos resíduos do azevém foi de apenas 36%. Isso deve estar relacionado a menor relação C:N dos resíduos da leguminosa e do consórcio que contribuiu para que a mineralização de N supere a imobilização de N. Tais resultados indicam que a alteração da composição química dos resíduos do consórcio em relação as culturas puras não provocou alteração na dinâmica de liberação de N em relação aos resíduos de trevo até os primeiros 28 dias. A baixa relação C:N no consórcio (trevo persa+ azevém) se deve ao fato de que o trevo persa teve maior contribuição (65%) para a MS total do consórcio do que o azevém (35%). Aliando a isso, os teores de N presente nos resíduos do azevém do consórcio apresentaram teor de N maior do que o do azevém em cultura solteira (1,29 vs 1,03% de N). Isso também foi observado por Giacomini et al. (2004) em consórcio entre gramíneas e leguminosas e se deve ao aproveitamento pela gramínea do N mineralizado das folhas senescente e raízes e nódulos em decomposição da leguminosa presente no consórcio.

O resíduo de azevém em cultura solteira apresentou uma lenta decomposição e menor liberação de N, o que está de acordo com Schmatz et al. (2020) que verificaram que resíduos com alta relação C:N decompõem-se de forma mais lenta e liberam menor quantidade de N para o solo, e, ou, provocam imobilização de N, diferentemente do observado com resíduos de baixa C:N. No entanto, a rápida liberação de N dos resíduos de trevo persa sugere que a dessecação dessa cultura deva ser realizado o mais próximo possível da semeadura do arroz irrigado para evitar perdas de N e melhorar o aproveitamento do N liberado pelo arroz irrigado.

Figura 3 – Nitrogênio (N) remanescente nos resíduos culturais das plantas de cobertura em avaliações realizadas até 154 dias durante o cultivo do arroz irrigado e da soja. A seta para cima indica o momento do alagamento do solo no cultivo do arroz irrigado nas parcelas com trevo persa e consórcio e a seta para baixo nas parcelas com azevém. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).



Aos 154 dias após o manejo, as menores porcentagens de N remanescentes foram observadas nos tratamentos trevo persa (7,6% do N inicial) e consórcio (14,0% do N inicial), no sistema com arroz irrigado, sem diferenças significativas entre ambos. Já os maiores valores de N remanescente foram observados para o azevém, sem diferenças significativas entre os sistemas com arroz irrigado e soja, com uma média de 35% de N remanescente. Assim como observado para a decomposição, a liberação de N dos resíduos também aumentou com o alagamento do solo. Esse resultado reforça a estreita relação entre os elementos C e N, em que

ambos são utilizados na biossíntese microbiana. Conforme comentado anteriormente, as condições de alagamento resultam em uma atividade microbiana menos eficiente em que menor quantidade de C é incorporada a biomassa microbiana, conduzindo também a uma menor demanda em N e com isso maior quantidade de N pode ser liberada durante a decomposição dos resíduos culturais.

### **2.3.4 Produtividade de grãos de arroz irrigado e soja**

Não houve interação entre plantas de cobertura e adubação nitrogenada sobre a produtividade de grãos de arroz irrigado. Houve efeito apenas da adubação nitrogenada, sendo que a produtividade do arroz irrigado na média dos quatro tratamentos com o uso de N superou em 50% aquela obtida sem o uso de N (Tabela 3). Em relação aos tratamentos com plantas de cobertura, houve uma tendência de maior produtividade de grãos no pousio do que nos tratamentos com plantas de cobertura (Tabela 3). Esse resultado pode estar relacionado com o maior número de plantas e de panículas no arroz irrigado cultivado no pousio do que após as plantas de cobertura. Essas diferenças podem ter ocorrido pela dificuldade de estabelecimento da cultura onde há presença de resíduos, resultando na diminuição do estande inicial de plantas, o que também foi observado por diversos autores (MENEZES et al., 2001; FERREIRA et al., 2015; CORREIA et al., 2018; GROHS, 2018). Além disso, outros fatores como a liberação de substâncias tóxicas pelas plantas (BOHNEN et al., 2005), imobilização de nutrientes (KNOBLAUCH et al., 2014), podem ter contribuído para estes resultados. Aliado a isso, o impedimento físico da própria palhada acaba dificultando o posicionamento da semente dentro do sulco na semeadura (GROHS, 2018).

Entre as plantas de cobertura observou-se uma tendência de maior produtividade de grãos de arroz irrigado após trevo persa do que após azevém, principalmente na condição sem o uso da adubação nitrogenada em que a produtividade de grãos após a leguminosa foi superior em 603 kg ha<sup>-1</sup> aquela obtida após a gramínea. Esse efeito do trevo persa possivelmente esteja relacionado a quantidade de N adicionada e liberada no solo durante a decomposição dos resíduos culturais, conforme comentado anteriormente. Esse efeito da leguminosa sobre a produtividade em comparação com o azevém reduz quando utilizada a adubação nitrogenada. Comportamento semelhante foi observado por Carlos (2017) com o cultivo de cornichão e azevém antecedendo o arroz irrigado em terras baixas. Outros estudos como os de Correia et al. (2018) e Grohs (2018) também obtiveram a incorporação de N por leguminosas ao sistema podendo assim incrementar os teores do mesmo ao solo e beneficiar cultivos em sucessão.

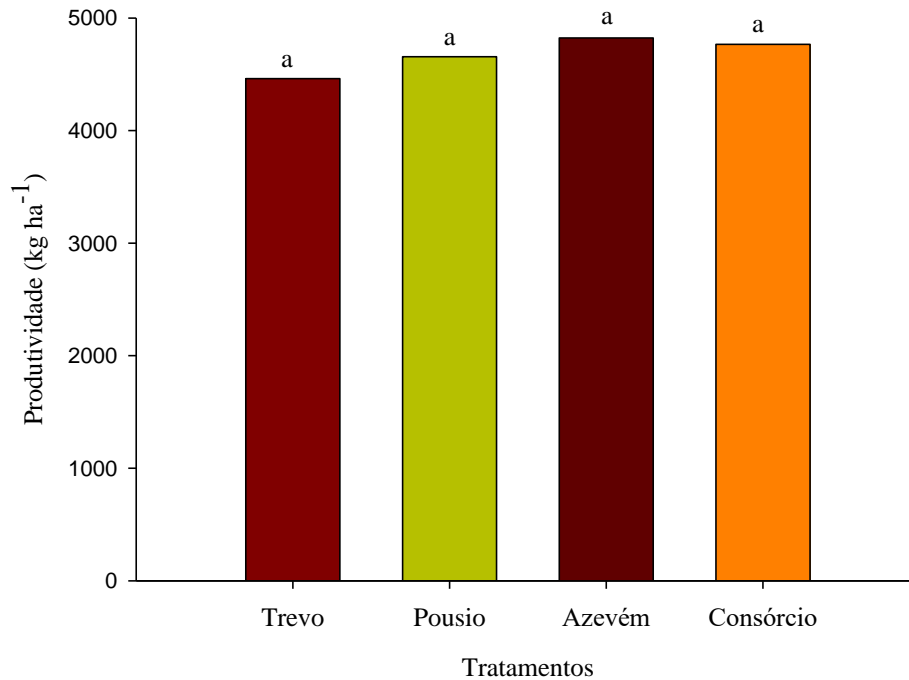
Tabela 3 – Produtividade de grãos de arroz após plantas de cobertura do solo e pousio com e sem adubação nitrogenada.

Tratamentos	Produtividade de grãos		
	Sem N	Com N	Média
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Trevo persa	8.364	12.239	10.302a
Azevém	7.761	12.601	10.181a
Consórcio	8.032	12.210	10.121a
Pousio	9.354	13.352	11.353a
Média	8.378B	12.601A	

\*Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produtividade de grãos de soja não diferiu estatisticamente entre os tratamentos avaliados e na média dos quatro tratamentos atingiu 4.677 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (Figura 4). Embora sem diferenças estatísticas, a produtividade da soja após azevém superou em 360 kg ha<sup>-1</sup> quando comparado a soja semeada em sucessão ao trevo persa. Esse resultado está de acordo com Verneti Junior et al. (2009), que indicam que a soja apresenta melhor desempenho quando cultivada em sucessão a gramíneas do que quando cultivada após leguminosas. O que pode estar relacionado com os benefícios proporcionados pelo sistema radicular das gramíneas, que é mais extenso e difuso (PAULINO et al., 2006). Todavia, Coelho et al. (2020) ressaltam que o cultivo de soja em terras baixas após o azevém, em anos de elevada precipitação pluvial durante a semeadura da soja, ocasiona redução na produtividade de grãos. Em estudo realizado por Cassol (2017), o momento de dessecação do azevém e a quantidade de palha na superfície do solo não afetam o rendimento da soja em rotação com o arroz irrigado, no entanto, quantidades de resíduos de azevém superior a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> aumentam significativamente o teor de água no solo, podendo dificultar a semeadura no período recomendado para a soja em terras baixas. No presente estudo, o azevém produziu 3.223kg ha<sup>-1</sup> de MS, o que não resultou em problemas na semeadura da leguminosa. É importante ressaltar que as condições climáticas no período de semeadura foram favoráveis, sem a ocorrência de precipitações intensas possibilitando realizar a semeadura da soja em período adequado.

Figura 4 – Produtividade de grãos de soja após plantas de cobertura do solo e pousio em área de terras baixas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).



A produtividade média de soja neste estudo é semelhante aquela obtida por Coelho (2017), de 4.093 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2016/17. Esses resultados elevados podem estar relacionados a ocorrência de baixos volumes de precipitações pluviométricas durante o período, e quando houve período de maior déficit hídrico foi realizada irrigação para suprir tal demanda. Os resultados de produtividade de grãos de soja obtidos no presente estudo em terras baixas reforçam que a leguminosa é uma alternativa viável para os produtores de arroz irrigado. Aliado a isso, a soja pode ser considerada uma importante opção para a rotação, visto seus benefícios para o sistema de produção em terras baixas. No entanto, deve-se observar condições indispensáveis para o bom estabelecimento da cultura como: tipo de solo, drenagem, número de drenos, cultivar, manejo fitossanitário adequado e adubação de forma adequada (SCHOENFELD, 2011).

## 2.4 CONCLUSÕES

O cultivo consorciado de azevém e trevo persa modificou a composição química dos resíduos, mas essa alteração não modificou a dinâmica de decomposição e liberação de N em

relação os resíduos da leguminosa cultivada em cultura pura.

O alagamento do solo não reduz a decomposição e a liberação de N dos resíduos culturais e no caso de resíduos com maior teor de N pode aumentar a perda de C e N dos resíduos na fase final do processo de decomposição.

O cultivo de plantas de cobertura na entressafra, em cultura pura (azevém e trevo persa) ou consorciadas, não afetou a produtividade de grãos de arroz irrigado e soja em terras terras baixas.

## 2.5 REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p.601-612, 2003.
- BOHNEN H.S. et al. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 475-480,2005.
- CARLOS F. S. **Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado**. 2017. 168p. Tese (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- CARMONA, F. C. et al. Effectiveness of current fertilizer recommendations for irrigated rice in integrated crop-livestock systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.
- CASSOL, G. V. **Sistemas de implantação, irrigação e alterações fisiológicas de plantas de soja sob cultivo em terras baixas**. 2017. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- COELHO, L. L. et al. Ryegrass management in lowland areas on the establishment and development of soybean in succession. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, 2020.
- COELHO, L. L. **Manejo de azevém e de mecanismos sulcadores na implantação e desenvolvimento de soja em terras baixas**. 2017. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- CORREIA, S. L. et al. Performance of Flooded Rice Grown in Succession to Winter Cover Crops. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**. v.42, 2018.
- COSTA, N. L. et al. **Trevo-persa – uma forrageira de duplo propósito**. Pelotas (RS): Embrapa Clima Temperado, 2005, 3p. (Comunicado Técnico, 116).
- COUËDEL, A. et al. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.254, p. 50-59, 2018.
- DE NOTARIS, C. et al. Input and mineralization of carbon and nitrogen in soil from legume-based cover crops. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.116, n.1, p. 1-18, 2020.
- DE NOTARIS, C. et al. Manipulating cover crop growth by adjusting sowing time and cereal inter-row spacing to enhance residual nitrogen effects. **Field Crops Research**, v. 234, p. 15-25, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa,353p. 2013.



- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p. 109-112, 2014.
- FERREIRA, R. B. et al. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p. 2143-2149, 2015.
- FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P. ;FONTANELI, R. S. Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. **Embrapa Trigo-Livro científico**, 2 ed. - Brasília, DF : Embrapa, 2012.
- GIACOMINI, S. J. et al . Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa ,v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- GIACOMINI, S. J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: II-Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, 2004.
- GROHS, M. **Emissão de gases de efeito estufa, ciclagem de nutrientes e produtividade de arroz irrigado em função de manejos pós colheita e plantas de cobertura**. 2018. 84 p.Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.
- IRGA, Instituto Rio Grandense do Arroz –. **Boletim de resultados da lavoura safra-2018/2019** - Arroz irrigado e soja em rotação. Disponível em: <<http://www.irga-admin.rs.gov.br>>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.
- JENSEN, P. I.; ISON, R. L. Hydration of seed and subsequent storage effects on seed of the self-regenerating annuals *Trifolium balansae* and *T. resupinatum*. **Seed Science and Technology**, v.22, n. 3, p. 435-447, 1994.
- KNOBLAUCH, R. et al. Rice straw incorporated just before soil flooding increases acetic acid formation and decreases available nitrogen. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.38, p.177- 184, 2014.
- MARCHESAN, E. **Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013. Santa Maria, RS. Palestras. Santa Maria: SOSBAI. p. 1628-1637, 2013.
- MASSONI, P. F. S. et al. Nutrientes do solo influenciados por diferentes manejos da palha após a colheita do arroz irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.2, p. 205-214, 2013.
- MENEZES, V. G. et al. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1107-1115, 2001.
- NETO, L. et al. Decomposição de resíduos vegetais em ambiente alagado e sequeiro sob diferentes manejos de solo. **Scientia Plena**, v. 13, n. 12, 2018.

- OLK, D. C. et al. Accumulation of lignin residues in organic matter fractions of lowland rice soils: a pyrolysis-GC-MS study. **Soil Science**, v. 167, p.590- 606, 2002.
- PAULINO, V. T. et al. Retrospectiva do uso de leguminosas forrageiras. **Uso de leguminosas forrageiras**, v. 1, p. 1-47, 2006.
- REDIN, M. et al. How the chemical composition and 43 heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.78 , p. 65- 75, 2014.
- SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SCHMATZ, R. et al. How the mass and quality of wheat and vetch mulches affect drivers of soil N<sub>2</sub>O emissions. **Geoderma**, v. 372, p. 114395, 2020.
- SCHOENFELD, R. **Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em planossolo haplico**. 2011. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- SGANZERLA, D. C. **Dinâmica do crescimento do consórcio trevo-persa e azevém anual sob diferentes intervalos de desfolhas**. 2013. 92 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.
- VAN SOEST, P. J. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v. 46, n. 5, p. 825-835, 1963.
- VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, 2009.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma Visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 743–755, 2009.

### **3. CAPÍTULO II - CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA ANTECEDENDO AS CULTURAS DO ARROZ IRRIGADO E SOJA EM TERRAS BAIXAS E SUA INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE OXIDO NITROSO E METANO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre devido à concentração de determinados gases na atmosfera. No entanto, a emissão de gases de efeito estufa (GEE) não ocorre apenas de forma natural, ocorrendo também de forma antrópica (IPCC, 2014; ALMEIDA et al., 2015). Dentre as atividades humanas geradoras de GEE, estima-se que a agricultura e a pecuária contribuam, mundialmente, com emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC, 2014). No Brasil, o setor agropecuário contabilizou 439.213 Gg  $\text{CO}_2\text{eq}$  em 2016, representando 33,6% do total de emissões brasileiras. Desse total, a lavoura de arroz irrigado contribuiu com 2,2 % das emissões (MCTI, 2020), principalmente devido a emissão do  $\text{CH}_4$  que ocorre em função do alagamento do solo. Nos últimos anos a soja vem sendo cultivada em rotação com o arroz irrigado em terras baixas e pode contribuir para a mitigação das emissões de  $\text{CH}_4$  nesse ambiente. No entanto, ainda são poucos os estudos no Rio Grande do Sul mostrando o efeito da rotação de cultura com soja em terras baixas sobre as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ .

Uma característica comum nos sistemas de produção de arroz irrigado, principalmente no ambiente de terras baixas, é que no período de entressafra grande parte das áreas permanecem em pousio. O cultivo de plantas de cobertura de inverno nessas áreas pode ser uma estratégia para proteger o solo dos agentes erosivos, aumentar a adição de carbono (C) e a ciclagem de nutrientes (FERREIRA et al, 2015). Enquanto os resíduos culturais de plantas de cobertura do tipo gramíneas, apresentam lenta decomposição e normalmente provocam imobilização de N no solo (AITA e GIACOMINI, 2003), os resíduos das leguminosas, se decompõe rapidamente e apresentam elevadas taxas de liberação de N (AITA e GIACOMINI, 2003). Já o consórcio entre plantas de cobertura (gramíneas e leguminosas), torna-se uma estratégia para controlar a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais e, assim, melhorar o sincronismo entre a liberação do N e a demanda da planta em sucessão.

Em sistemas com plantas de cobertura, quando o arroz irrigado é a cultura em sucessão, observa-se que, a presença dos resíduos culturais no momento do alagamento do solo pode aumentar a emissão de  $\text{CH}_4$ , devido ao aumento da disponibilidade de substrato às bactérias metanogênicas responsáveis pela produção deste gás em condições anaeróbicas (HWANG et

al., 2017). Embora as emissões de  $N_2O$  também podem ocorrer após o alagamento do solo, os maiores fluxos desse gás ocorrem no período de entressafra, devido aos ciclos de umedecimento e secagem do solo que estimulam a ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação, os principais processos responsáveis pela produção de  $N_2O$  no solo (BATEMAN e BAGGS, 2005). Quando a soja for cultivada em sucessão, a decomposição dos resíduos das plantas de cobertura vai ocorrer predominantemente em condições aeróbicas, podendo ainda estimular a produção de  $N_2O$  (ROSALINO, 2014). Desta forma, plantas de cobertura de gramíneas que apresentam resíduos com baixas taxas de decomposição e liberação de N podem contribuir mais para a emissão de  $CH_4$  do que as leguminosas em função de que podem deixar maior quantidade de resíduos no momento do alagamento do solo no cultivo do arroz. Por outro lado, plantas de cobertura de leguminosas que apresentam resíduos com elevadas taxas de decomposição e liberação de N do que os resíduos de gramíneas, podem contribuir para maiores emissões de  $N_2O$  durante o período que antecede o alagamento do solo no cultivo do arroz e em áreas com o cultivo da soja. O uso do consórcio entre plantas de cobertura gramíneas e leguminosas como estratégia de alterar a composição química dos resíduos e conseqüentemente a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos pode contribuir para reduzir a emissão de  $CH_4$  e  $N_2O$  no cultivo do arroz e soja em terras baixas comparado ao uso das culturas puras.

Em ambas as condições abordadas, a qualidade dos resíduos das plantas de cobertura deve promover impactos sobre a decomposição e a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$ . Ressalte-se que esse é um aspecto que precisa ser mais pesquisado no ambiente de terras baixas. Neste sentido, o objetivo deste estudo é avaliar a influência do manejo de plantas de cobertura de inverno (alteração na taxa de decomposição e liberação de N) modificam as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  no arroz irrigado e soja cultivados em terras baixas.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização e solo

O estudo foi conduzido no período de junho de 2019 a abril de 2020 na área didático-experimental de terras baixas do Departamento de Fitotecnia (latitude  $29^{\circ}43'13''S$ , longitude  $53^{\circ}43'27''W$  e altitude de 90 m) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. O clima da região é subtropical úmido (tipo Cfa2, na classificação de Köppen), com uma precipitação anual de 1660 mm e temperatura média do ar variando de 14 °C em junho a 25 °C em janeiro (média de 30 anos). A temperatura do ar e precipitação ao

longo do experimento foram obtidos a partir de uma estação meteorológica a 0,5 km de distância do local do experimento. O solo é classificado como Planossolo Háplico Alumínico gleissólico (SANTOS et al., 2018), pertencendo à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-10 cm: 290 g kg<sup>-1</sup> de areia, 490 g kg<sup>-1</sup> de silte, 220 g kg<sup>-1</sup>, pH<sub>água</sub> (1:1) = 5,8; argila 26,5 %; alumínio = 0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; fósforo = 7,15 mg dm<sup>-3</sup>; potássio = 0,195 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e matéria orgânica (MO) = 24 g kg<sup>-1</sup>. Anteriormente à instalação do experimento a área, foi cultivada com arroz irrigado e o preparo do solo com a incorporação da palha remanescente (resteva) e o nivelamento da área logo após a colheita do arroz irrigado (março de 2019).

### 3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos avaliados

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um com soja e outro com arroz irrigado como culturas principais. As plantas de cobertura de inverno avaliadas em cada experimento foram as seguintes: T1 - trevo persa (*Trifolium resupinatum*), T2 - azevém (*Lolium multiflorum*), T3 - consórcio (trevo persa + azevém) e T4 - pousio (sem a presença de plantas). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições em parcelas de 3 x 6 m (18 m<sup>2</sup>). As espécies foram semeadas manualmente a lanço no dia 20 de junho de 2019 com densidade de semeadura de 10 kg ha<sup>-1</sup> para o trevo persa, 25 kg ha<sup>-1</sup> para o azevém e de 5 kg ha<sup>-1</sup> de trevo persa + 15 kg ha<sup>-1</sup> de azevém no consórcio. As sementes de trevo persa foram inoculadas com três doses de inoculante recomendado para a cultura. As plantas de cobertura receberam apenas adubação de cobertura, a qual foi realizada 50 dias após a semeadura das espécies quando foram aplicados 34,7 kg ha<sup>-1</sup> de N, 36 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 22,5 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, sendo que o N-ureia foi aplicado somente no azevém.

Em 10 de outubro e 1 novembro de 2019 foi realizado o manejo químico do tratamento azevém e dos tratamentos consórcio e trevo persa, respectivamente. A dessecação mais tardia do trevo persa e do consórcio em relação ao azevém foi com o objetivo de minimizar as perdas de N, devido a rápida decomposição dos resíduos da leguminosa.

### 3.2.3 Avaliação da produção de matéria seca (MS) e composição química das plantas de cobertura

A avaliação da matéria seca (MS) ocorreu em 09 de outubro de 2019 para o azevem e

em 30 de outubro de 2019 para o consórcio e o trevo persa. Em cada parcela foram coletadas aleatoriamente duas subamostras de 0,36 m<sup>2</sup> que foram reunidas em uma amostra única e inicialmente secas em estufa a 45°C até peso constante. Após, a amostra foi pesada e retirada uma subamostra, a qual foi seca em estufa a 65°C até peso constante para determinação da MS. No tratamento consórcio as espécies azevém e trevo persa foram separadas a fim de determinar a contribuição de cada uma na MS total. O material seco a 45°C foi moído em moinho estacionário do tipo *Willey* (1mm) para análise dos teores de fração solúvel (FS), hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina (LIG) usando o método adaptado de Van Soest (1963) conforme Redin et al. (2014). Uma subamostra do material moído foi finamente moída em moinho de bolas para análise do teor de C e N total por combustão seca em analisador elementar (FlashEA 1112 Thermo Finnigan, Milão, Itália). Na tabela 1, estão apresentadas as características químicas iniciais dos resíduos. A quantidade média de N adicionada com os resíduos do azevém, trevo e consórcio nos sistemas com arroz e soja foram de 33, 55 e 45 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2, Capítulo 1).

Tabela 1 - Caracterização dos resíduos culturais utilizados no experimento

Resíduos	C	N	FS	CEL	HEM	LIG	C/N
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
Trevo persa	397,8	20,6	545,4	309,7	64,5	79,0	19,3
Azevém	415,6	10,4	374,8	303,7	286,0	36,9	40,2
Consórcio	404,6	16,8	400,7	318,3	204,6	54,4	25,5

C: carbono; N: nitrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; FS: fração solúvel; CEL: celulose; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.

### 3.2.4 Fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>

As coletas de GEE, foram realizadas após o manejo das plantas de cobertura na safra 2019/20, com maior intensidade quando havia precipitações pluviométricas. Com a diminuição dos fluxos de GEE, as coletas tornaram-se menos frequentes. As coletas foram realizadas manualmente entre 9 e 12 da manhã, período em que a concentração dos gases no ambiente representa a emissão média diária (GOMES et al., 2009). As coletas iniciaram no dia 10/10/2019 logo após o manejo do azevém e foram encerradas no momento da colheita do arroz irrigado 12/03/2020 e da colheita da soja 20/04/2020. As avaliações foram realizadas

com auxílio de um sistema composto por uma base e uma câmara, conforme método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989).

Após cada coleta, as amostras foram transferidas para frascos de vidro pré-evacuados de 12 mL (Labco, Lampeter, Reino Unido) e após analisadas quanto a concentração de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> através da cromatografia gasosa (GC-2014, Shimadzu Corp., Kyoto, Japão).

Após o manejo das plantas de cobertura até a semeadura das culturas de verão, as coletas de gases foram realizadas apenas na área onde seria semeado o arroz irrigado em sucessão, visto a uniformidade do ambiente. Após a semeadura das culturas de verão as coletas foram realizadas de forma individual.

Para as avaliações realizadas durante o período de cultivo do arroz irrigado foram utilizadas bases quadradas em aço galvanizado com 0,25 m de altura e 0,40 x 0,40 m de base, inseridas no solo a 0,10 m de profundidade. Na parte superior das bases ficava exposta uma calha, sobre a qual era encaixada a câmara e em seguida adicionado água na calha para impedir trocas gasosas entre o interior da câmara e o ambiente externo durante as coletas. As câmaras quadradas, também em aço galvanizado, apresentavam 0,20 m de altura e 0,40 x 0,40 m de base. Foram utilizados extensores em aço galvanizado com 0,30 m de altura e 0,40x 0,40 m de base para adequar a altura da câmara às plantas de arroz irrigado (SOUZA, 2013). Durante o período de avaliações na safra de arroz irrigado, as bases foram alocadas de modo que três linhas de semeadura do arroz irrigado passassem no interior de cada base. Cada câmara possuía um ventilador tipo “cooler” no seu interior, o qual foi conectado e ligado a uma bateria de 12V durante 30s para homogeneização da atmosfera interna imediatamente antes de cada coleta de ar. Na parte superior da câmara existia uma válvula de três vias, pela qual foram coletadas as amostras de ar. As amostras foram coletadas com seringas de polipropileno em quatro intervalos de tempo após a colocação da câmara sobre a base. Os intervalos de tempo utilizados foram de 0, 8, 16 e 24 minutos.

Para as avaliações realizadas durante o período de cultivo da soja foram utilizadas bases quadradas em aço galvanizado com 0,10 m de altura e 0,40 x 0,40 m de base, inseridas no solo a 0,05 m de profundidade, deixando exposta uma calha para encaixe da câmara, no momento das amostragens. As câmaras quadradas, também em aço galvanizado, apresentavam 0,20 m de altura e 0,40 x 0,40 m de base. Durante o período de avaliações, na cultura da soja, as bases foram alocadas de modo que ficassem na entrelinha da cultura. As coletas ocorreram com intervalos de 0, 15 e 30 minutos e os demais detalhes

seguidos conforme realizado nas coletas no arroz irrigado.

### **3.2.5 Coleta e análise de solo**

As amostras foram quantificadas em um colorímetro automatizado (SAN plus, Skalar, Breda, Holanda). A umidade gravimétrica do solo foi determinada por secagem em estufa de amostras de solo a 105° C por 24 h. A partir dos valores de umidade gravimétrica de cada coleta e da densidade do solo (1,53 Mg m<sup>-3</sup>) foram calculados os valores de espaço poroso saturado por água (EPSA) na camada de 0-10 cm do solo, assumindo uma densidade mineral de partícula de 2,65 g cm<sup>-3</sup>.

### **3.2.6 Biomassa foliar da soja**

A quantificação da produção de biomassa de folhas da soja foi realizada a partir do estágio reprodutivo R7.1. A quantificação da biomassa das folhas foi realizada através de quadros de madeira com 0,05 m de altura x 0,5 m de largura x 1,0 m de comprimento. Os mesmos, foram alocados entre as linhas de semeadura nas unidades experimentais. Os quadros foram cobertos com uma tela de sombreamento (2 × 2 mm) para evitar o contato das folhas com o solo. As folhas foram coletadas semanalmente durante o período de avaliação até colheita da soja. A biomassa foliar da soja foi seca a 65° C para determinar a MS.

### **3.2.7 Cálculos e análise estatística**

Os fluxos diários de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram calculados de acordo com Rochette e Bertrand (2008). As emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram obtidas pela interpolação linear dos fluxos entre datas de amostragem consecutivas. O fator de emissão de N<sub>2</sub>O-N (EF) foi calculado subtraindo as emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O-N das parcelas do pousio (controle) das emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O-N das parcelas de resíduos de cultivo, dividido pela quantidade de N total no resíduo presente nos tratamentos.

A partir dos resultados de emissão acumulada de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, foi realizado o cálculo para estimar o potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao CO<sub>2</sub> 28 vezes para o CH<sub>4</sub> e 265 vezes para o N<sub>2</sub>O, em um horizonte de 100 anos (IPCC, 2014), foram calculadas as emissões em quantidades de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). A soma desses equivalentes foi denominada de Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp),



calculado pela expressão:  $PAGp = (CH_4 \times 28) + (N_2O \times 265)$ , onde o PAGp é o potencial de aquecimento global parcial ( $kg\ CO_2eq\ ha^{-1}$ ) e  $CH_4$  e  $N_2O$  são as emissões no período avaliado ( $kg\ ha^{-1}$ ).

As quantidades de  $NH_4$  e  $NO_3^-$  ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) na camada de solo de 0-0,10 cm de profundidade foram calculadas como o produto da concentração de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  inorgânico ( $mg\ N\ kg^{-1}$ ) pela massa de solo determinada a partir da densidade do solo ( $1,53\ Mg\ m^{-3}$ ).

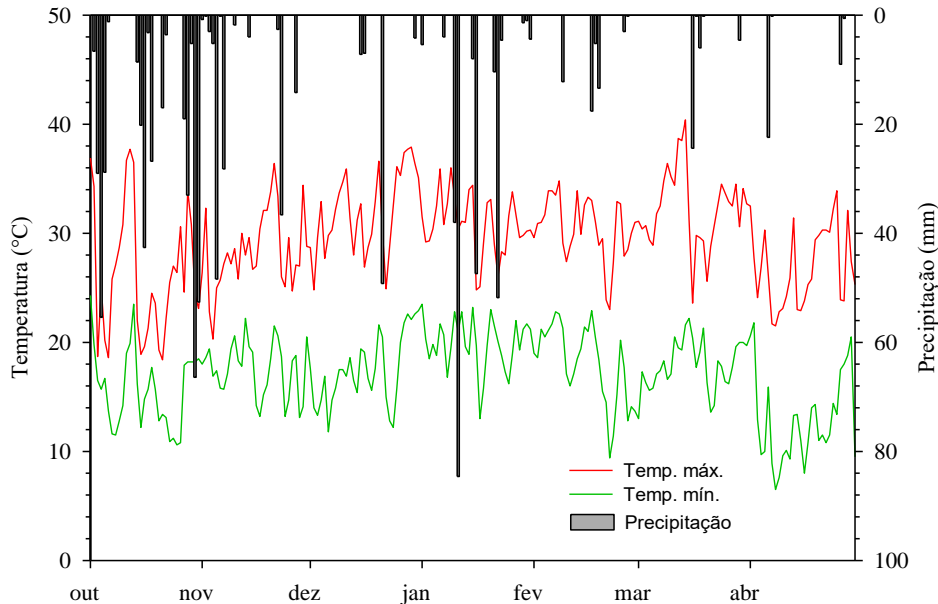
Os dados referentes à emissão diária e acumulada de  $N_2O$  e  $CH_4$ , PAGp, N-inorgânico, EPSA e biomassa foliar da soja foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando a ANOVA se mostrou significativa ( $P < 0,05$ ), as diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Todos os dados foram analisados com o Software SISVAR (5.6).

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Condições ambientais

Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 0,5 km do local do experimento. No período de cultivo das plantas de cobertura (112 dias), a precipitação pluvial acumulada foi de 460,20 mm, a temperatura mínima foi de  $-1,6\ ^\circ C$  e a máxima foi de  $35,7\ ^\circ C$ . Após a dessecação do azevém, nos primeiros 28 dias a precipitação pluvial acumulada foi aproximadamente 384,2 mm (Figura 1). Após 21 dias de dessecação do trevo persa e consórcio, o acumulado foi de 93,6 mm de chuva. A precipitação total durante os 154 dias do manejo do azevém no campo foi de 823,60 mm, diferindo em cerca de 31,90% do manejo realizado para o de consórcio e trevo persa que tiveram um acumulado de 560,8 mm durante os 154 dias. Neste período de 175 dias a temperatura mínima foi de  $6,5\ ^\circ C$  e a máxima diária foi de  $40,4\ ^\circ C$ . Somando o período do cultivo das plantas de cobertura, após o manejo das mesmas até a colheita da soja temos um total de 305 dias de acúmulo de precipitação com cerca de 1341,80 mm.

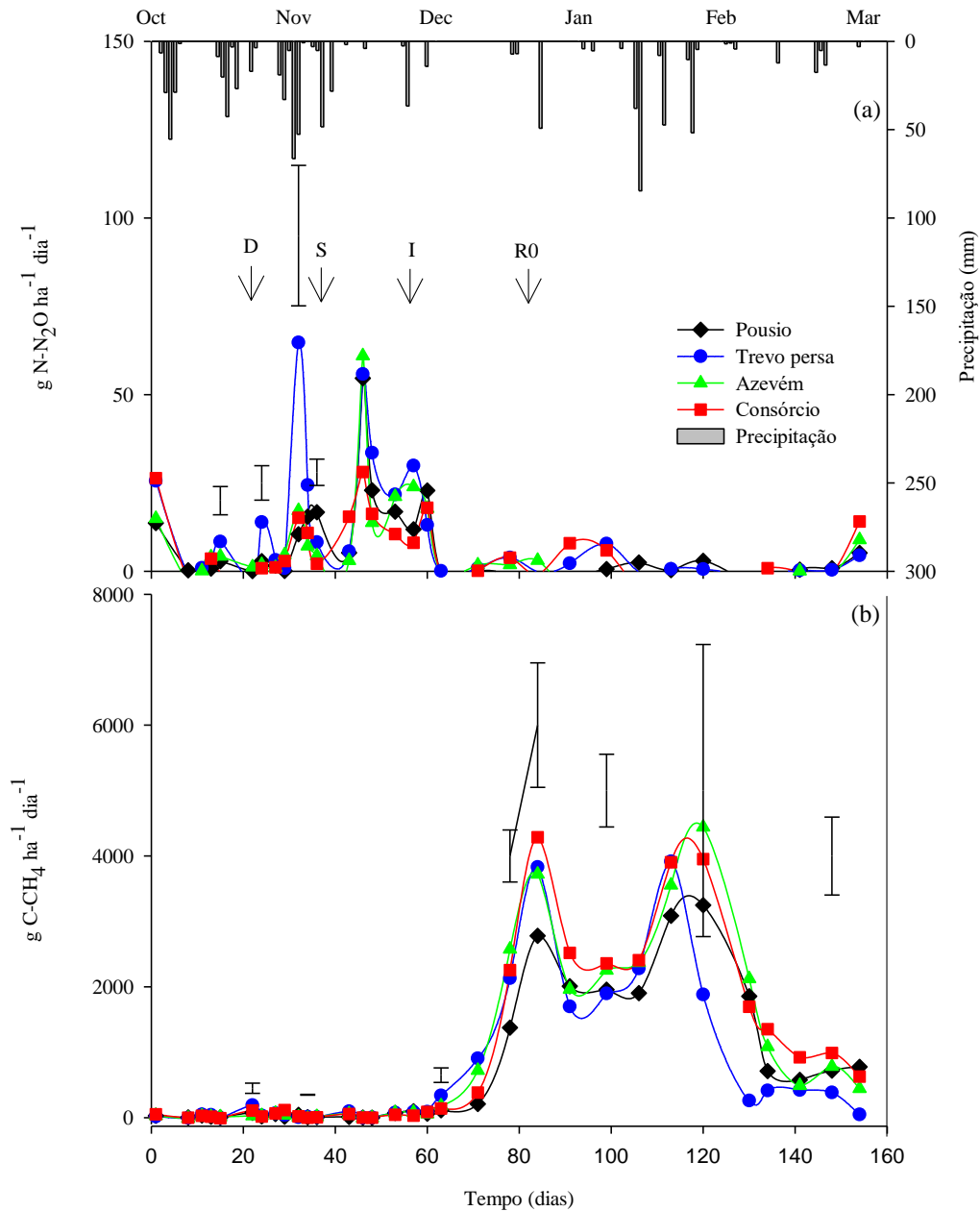
Figura 1 - Temperatura máxima, mínima e precipitação na safra 2019/20, registradas do dia da dessecação das espécies de cobertura até os 154 dias de cada planta de cobertura até a colheita da soja.



### 3.3.2 Fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> na cultura do arroz irrigado

Os fluxos de N<sub>2</sub>O variaram de -6,3 a 64,7 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Figura 2a), sendo que os picos de emissão em todos os tratamentos ocorreram no período anterior ao alagamento do solo. Os fluxos de N<sub>2</sub>O foram modificados em relação ao pousio apenas com a adição dos resíduos de trevo persa e aos 2 e 10 dias após o manejo desta leguminosa, quando as emissões atingiram 13,8 e 64,7 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Aos 46 dias após o manejo do azevém ocorreu o segundo maior pico de emissão de N<sub>2</sub>O, o qual também foi observado no pousio. Após o alagamento do solo os fluxos de N<sub>2</sub>O apresentaram valores próximos de zero (média de 2,8 g ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), alternando-se com valores positivos e negativos até o final do ciclo do arroz irrigado. A aplicação de N-ureia em cobertura, realizada 68 dias após a irrigação, não provocou aumento significativo nos fluxos de N<sub>2</sub>O.

Figura 2 – Fluxos de N-N<sub>2</sub>O (a) e C-CH<sub>4</sub> (b) após o manejo das culturas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento. Significado das letras: M: manejo do trevo persa e consórcio; S: semeadura do arroz irrigado; I: início do alagamento; R0: período reprodutivo do arroz irrigado. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em P <0,05).



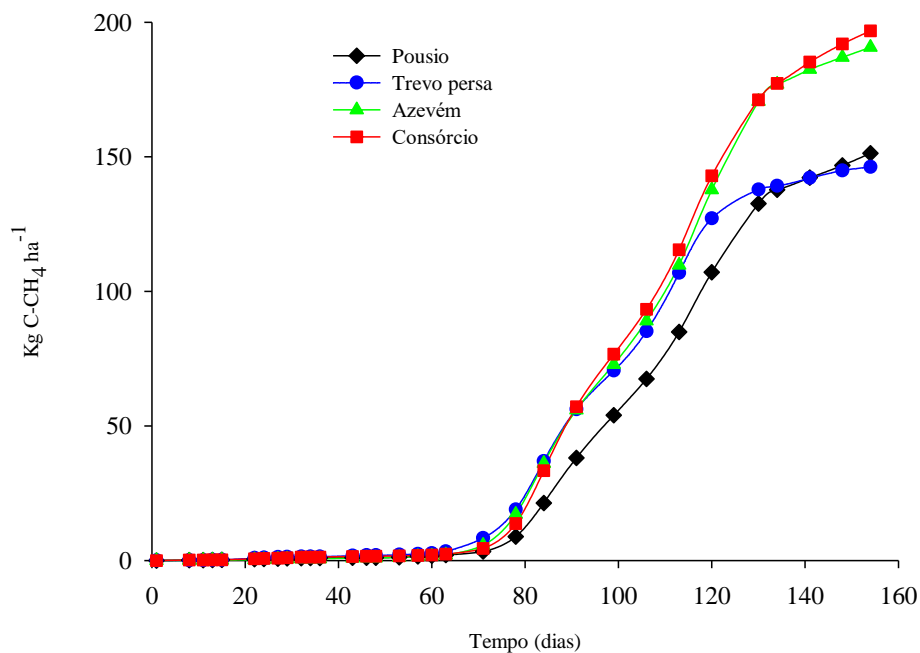
Os fluxos de CH<sub>4</sub> variaram de -12,68 a 188,67 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no período anterior ao alagamento e de 47,85 a 4.441 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> durante o alagamento do solo (Figura 2b). Nos dois períodos foram identificados fluxos de CH<sub>4</sub> significativamente maiores nos tratamentos com plantas de cobertura do que no pousio. Os maiores fluxos de CH<sub>4</sub> foram verificados no período reprodutivo do arroz irrigado, aos 84 dias no tratamento consórcio com

4.286 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, sendo cerca de 54% maior que o tratamento pousio (2.778 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e aos 120 dias no tratamento azevém (arroz irrigado em estágio R4), com 4.441 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, sendo 36% maior que as emissões no tratamento pousio (3.247 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). Após os 120 dias os fluxos decresceram rapidamente chegando aos 154 dias com fluxos médios de 474 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

### 3.3.3 Emissões acumuladas e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) na cultura do arroz irrigado

A emissão acumulada de N<sub>2</sub>O ao final do período de avaliação não diferiu entre tratamentos, mesmo o trevo persa tendo emitindo 1,8 vezes mais (1,05 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) do que os tratamentos pousio, consórcio e azevém (média de 0,59 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) (Figura 3). Na média dos quatro tratamentos a emissão acumulada de N<sub>2</sub>O medida até o alagamento do solo representa 87% da emissão total dos 154 dias. Enquanto os tratamentos azevém e consórcio apresentaram fator de emissão de N<sub>2</sub>O levemente negativos, o EF do trevo persa foi de 0,75% do N aplicado (Tabela 2).

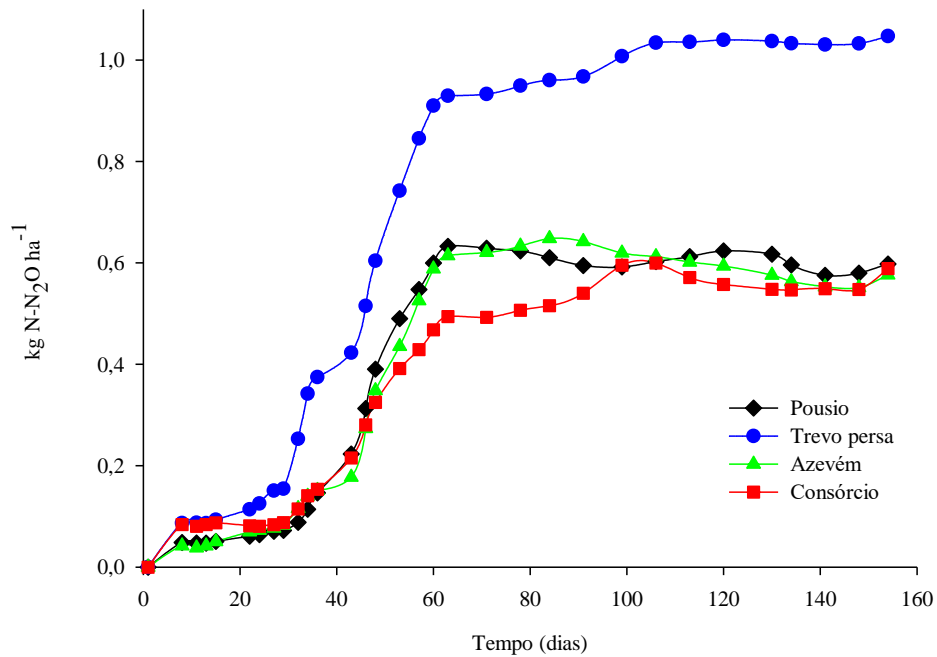
Figura 3 – Emissões cumulativas de N-N<sub>2</sub>O após o manejo das culturas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento.



A emissão acumulada de CH<sub>4</sub> diferiu entre tratamentos somente até 84 dias após o

manejo, sendo que o maior valor acumulado foi no trevo persa (36,8 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) e o menor no pousio (21,4 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) (Figura 4). Ao final do experimento as maiores quantidades de CH<sub>4</sub> emitidas foram observadas nos tratamentos consórcio e azevém, com 196,8 e 190,7 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratamentos trevo persa e pousio emitiram 146,2 e 151,3 kg C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Figura 4 – Emissões cumulativas de C-CH<sub>4</sub> após a dessecação das plantas de cobertura até a colheita do arroz irrigado ao longo dos 154 dias do experimento.



Em função dos resultados acumulados foi possível observar que o PAGp foi mais influenciado, em todos os tratamentos, pela emissão do CH<sub>4</sub> (Tabela 2). A contribuição desse gás variou de 93%, no tratamento com resíduos de trevo persa a 97 % no com azevém, demonstrando ser o CH<sub>4</sub> o gás com maior influência no sistema de cultivo do arroz.

Tabela 2 – Emissões cumulativas de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, fator de emissão de N<sub>2</sub>O (EF) e PAGp após a dessecação das plantas de cobertura (PC) até a colheita do arroz irrigado.

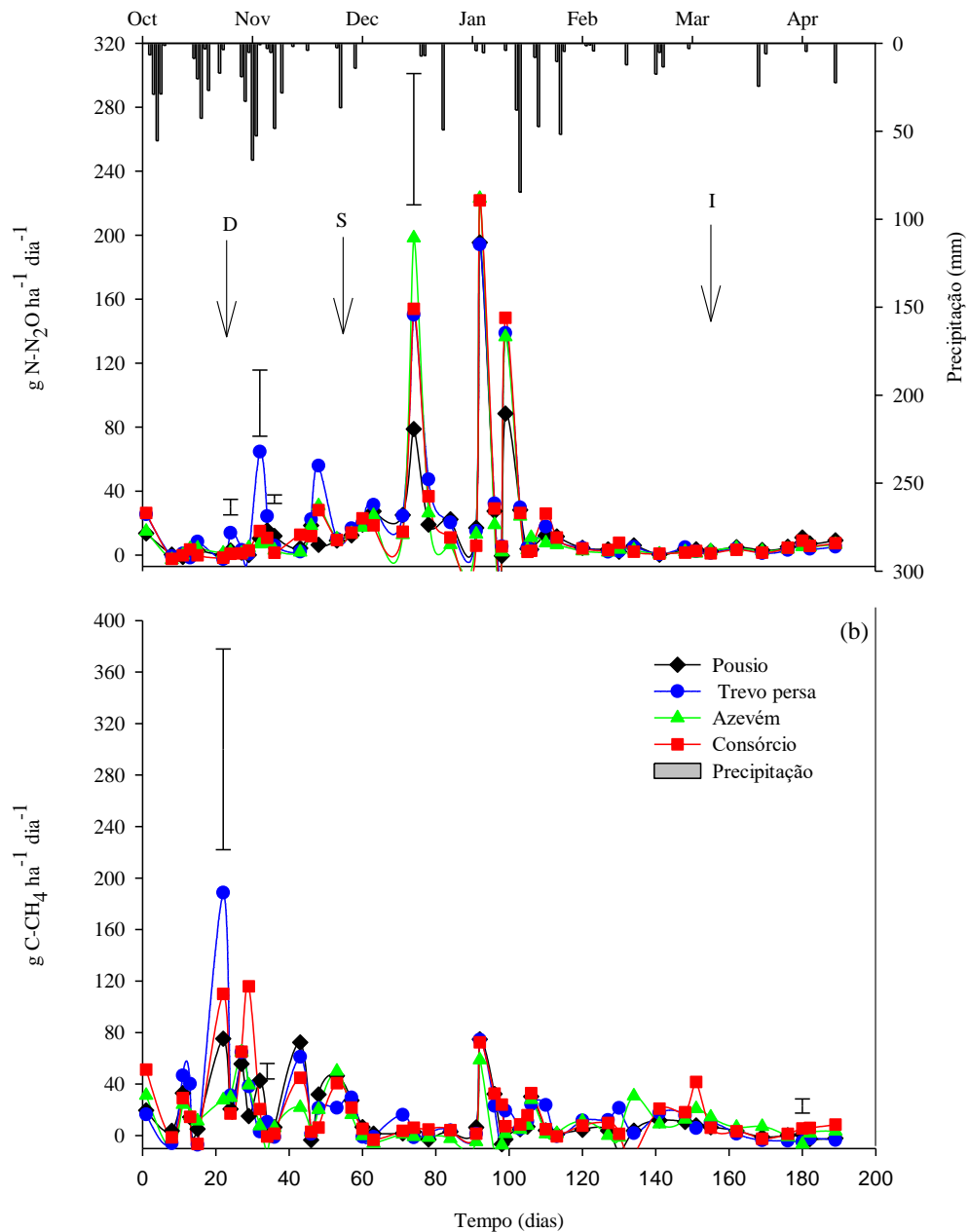
Tratamentos	Emissões acumuladas		EF	PAGp
	(kg ha <sup>-1</sup> )			
	C-CH <sub>4</sub>	N-N <sub>2</sub> O	(% de N aplicado)	
Trevo	146,2a	1,05a	0,75a	6,00a
Azevém	190,7a	0,58a	-0,06a	7,99a
Consórcio	196,8a	0,59a	-0,02a	7,90a
Pousio	151,3a	0,60a	-	5,93a
ANOVA	0,410	0,129	0,338	0,056

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (P <0,05).

### 3.3.4 Fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> na cultura da soja

O uso das plantas de cobertura aumentou os fluxos de N<sub>2</sub>O, especialmente nos primeiros 99 dias após a dessecação do azevém e 103 dias após a dessecação do trevo persa e consórcio (Figura 5a). Os fluxos de N<sub>2</sub>O variaram de -2,5 a 194,2 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no trevo persa, -2,9 a 223,0 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no azevém, -2,3 a 221,8 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no consórcio e no pousio de -1,1 a 195,4 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O foram observadas após as chuvas. Os primeiros picos foram observados após o manejo do trevo persa, sendo que 10 dias após o manejo da leguminosa o fluxo atingiu 64,7 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> contra apenas 10,9 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> nos demais tratamentos. Aos 74, 92 e 99 dias após a dessecação, houve altos fluxos de emissão, sendo que aos 74 dias o fluxo de N<sub>2</sub>O no azevém foi significativamente maior do que no pousio (198,3 vs 78,8 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). A partir dos 100 dias até o final do período de avaliações não houve variações nos fluxos de N<sub>2</sub>O, mesmo nesse período tendo sido realizada uma irrigação/banho e ocorrer a queda das folhas de soja.

Figura 5 – Fluxos de N-N<sub>2</sub>O (a) e C-CH<sub>4</sub> (b) após a dessecação das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento. Significado das letras: D: dessecação do trevo persa e consórcio; S: semeadura da soja; I: irrigação (banho) na soja. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em P <0,05).



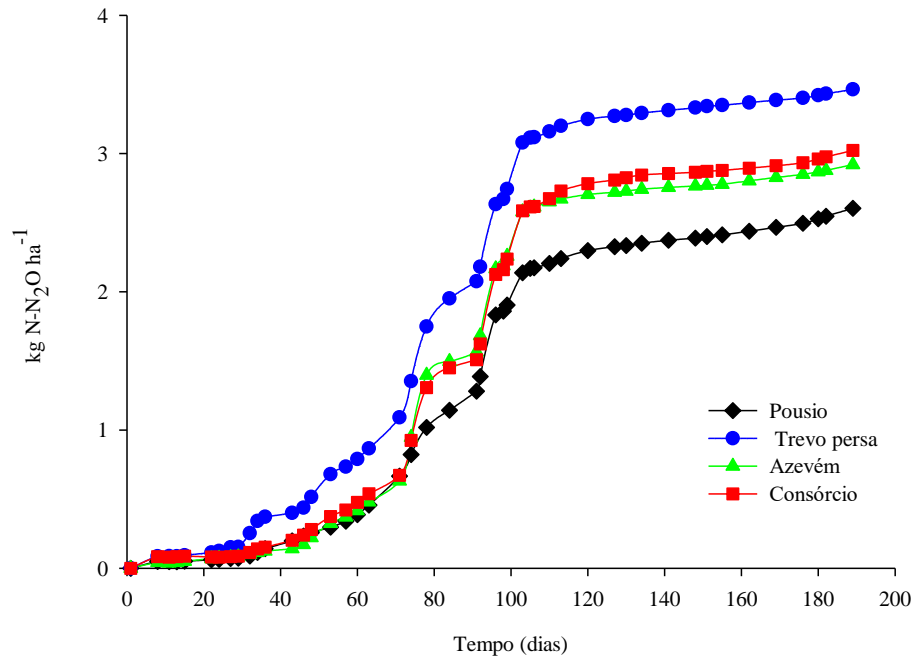
### 3.3.5 Emissões acumuladas e potencial de aquecimento global parcial (PAGp) na cultura da soja

As emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O calculadas ao longo dos 189 dias foram significativamente afetadas pelo uso das plantas de cobertura (Figura 6) e decresceram na

seguinte ordem: trevo persa ( $3,46 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) > consórcio ( $3,02 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) = azevém ( $2,92 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) > pousio com ( $2,60 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ). O fator de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (% do N adicionado) foi maior com trevo persa (1,57%) do que com o consórcio (0,93%) e azevém (0,97%) (Tabela 3).

Os fluxos de  $\text{C-CH}_4$  desde o manejo das plantas de cobertura até a colheita da soja variaram de  $-14,32$  a  $188,67 \text{ g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 5b). O maior fluxo de  $\text{CH}_4$  foi observado no trevo persa 22 dias após a dessecação da leguminosa. A partir dos 92 dias, os fluxos decresceram, mantendo-se baixos até o fim do experimento

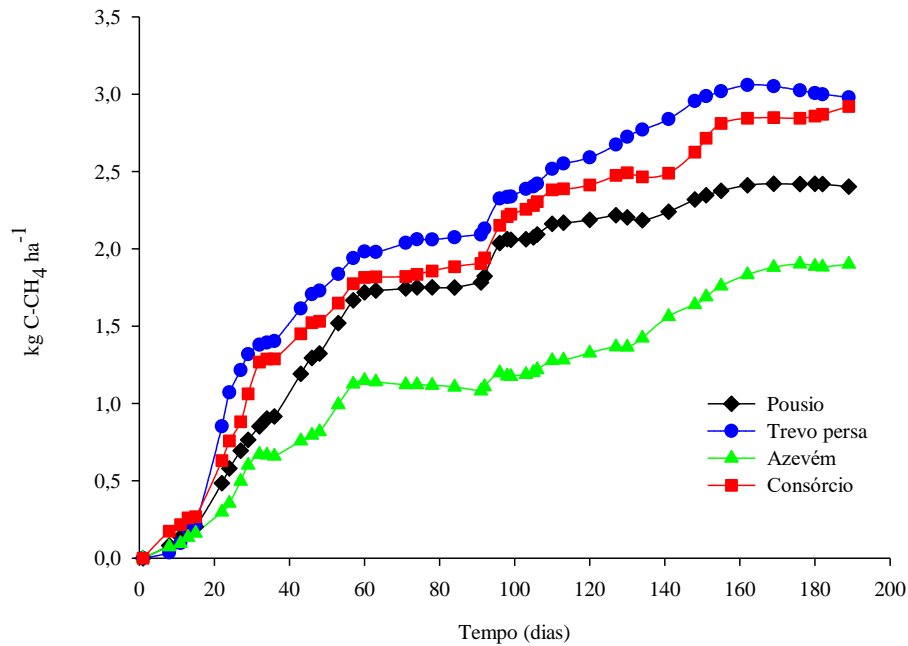
Figura 6 – Emissões cumulativas de  $\text{N}_2\text{O}$  após o manejo das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento.



As emissões acumuladas de  $\text{C-CH}_4$  (Figura 7), variaram de  $1,90$  a  $2,97 \text{ kg ha}^{-1}$ , no azevém e trevo persa, respectivamente. Já para o tratamento pousio e o consórcio foi observado valores intermediários de  $2,40$  e  $2,92 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente. As emissões acumuladas diferiram estatisticamente a partir dos 43 dias até os 155 dias.



Figura 7 – Emissões cumulativas de CH<sub>4</sub> após o manejo das culturas de cobertura até a colheita da soja ao longo dos 189 dias do experimento.



Em função dos resultados acumulados foi possível observar que o PAGp foi mais influenciado, em todos os tratamentos, pela emissão do N<sub>2</sub>O (Tabela 3). A contribuição desse gás variou de 91%, no tratamento com resíduos de consórcio a 93 % no com resíduos de trevo persa, demonstrando ser o N<sub>2</sub>O o gás com maior influência no sistema de cultivo de soja.

Tabela 3 – Emissões cumulativas de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, fator de emissão de N<sub>2</sub>O (EF) e PAGp após a dessecação das plantas de cobertura (PC) até a colheita da soja.

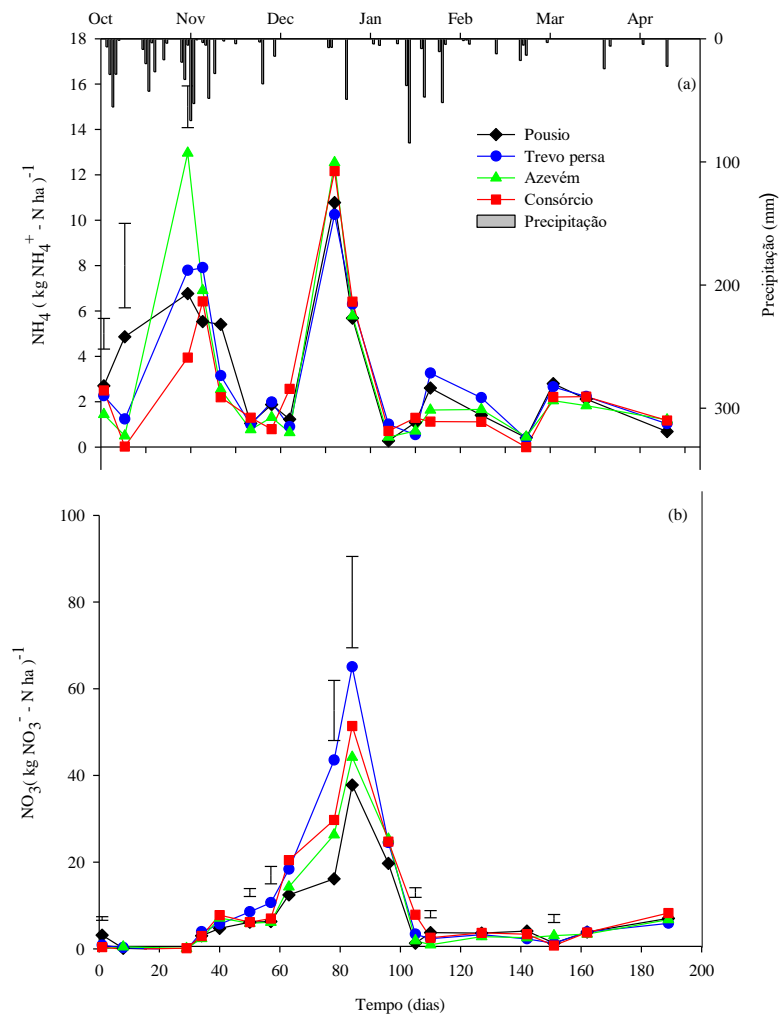
Tratamentos	Emissões acumuladas		EF (% de N aplicado)	PAGp (Mg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )
	(kg ha <sup>-1</sup> )			
	C-CH <sub>4</sub>	N-N <sub>2</sub> O		
Trevo	2,98 <sup>a</sup>	3,46a	1,57a	1,47a
Azevém	1,90 <sup>a</sup>	2,92a	0,97a	1,20a
Consórcio	2,92 <sup>a</sup>	3,02a	0,93a	1,15a
Pousio	2,40 <sup>a</sup>	2,60a	-	1,18a
ANOVA	0,198	0,769	0,489	0,400

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

### 3.3.6 N-mineral e EPSA na cultura da soja

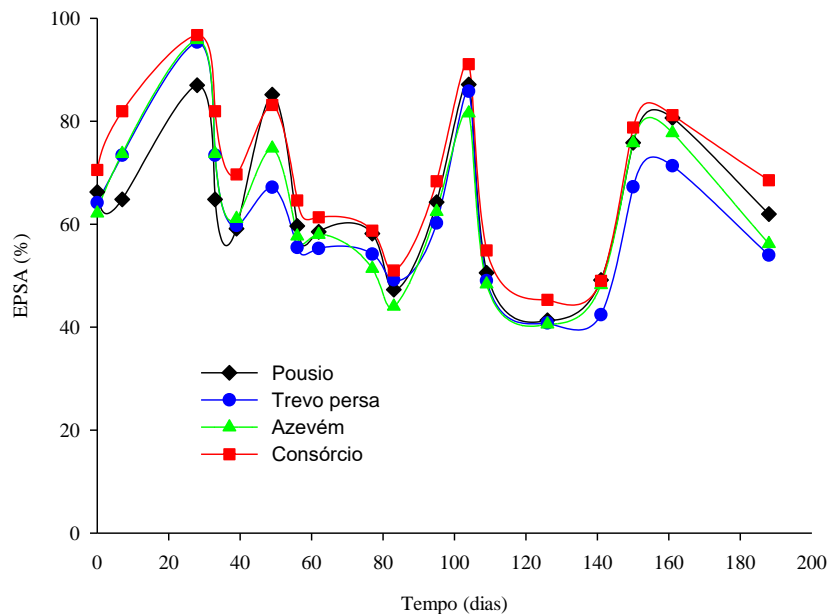
As quantidades de  $\text{NH}_4^+$  na camada de 0-10 cm diferiram entre os tratamentos apenas nos primeiros 30 dias (Figura 8a), sendo que a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  no pousio foi inferior apenas ao tratamento com azevém 22 dias após a dessecação. As quantidades de  $\text{NO}_3^-$  foram afetados pelas plantas de cobertura apenas entre 50 e 84 dias após o manejo (Figura 8b), período em que houve acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  no solo com os maiores valores observados no trevo persa. A quantidade de  $\text{NO}_3^-$  no trevo persa que era de  $8,56 \text{ kg N ha}^{-1}$  aos 50 dias, atingiu  $65,04 \text{ kg N ha}^{-1}$  aos 84 dias. Comportamento semelhante foi observado no consórcio, avezém e pousio. A partir de 105 dias, a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na camada 0-10 cm permaneceu abaixo de  $2,13$  e  $3,54 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente, em todos os tratamentos mantendo-se assim até o final do experimento (189 dias).

Figura 8 – Teores de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (a) e  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  ( no solo na camada de solo de 0-10cm durante a decomposição de trevo persa, azevém, consórcio e pousio. As barras de erro verticais indicam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (teste de Tukey em  $P < 0,05$ ).



O EPSA variou de 41 a 97%, sendo que os valores ficaram acima de 60% em 13 das 18 coletas realizadas durante o período de avaliação (Figura 9). No período entre 8 e 34 dias após do manejo os valores de EPSA foram estatisticamente superiores nos tratamentos com plantas de cobertura, com valor médio de 83%, do que no pousio com valor médio de 72%. Aos 50 dias após a dessecação do trevo persa o EPSA foi de 67,17% e no pousio foi observado o maior EPSA com 85,15%. Aos 96 e 151 dias o trevo persa diferiu estatisticamente dos demais tratamentos com os menores valores de EPSA (60 e 67%, respectivamente), e o consórcio atingiu os maiores valores EPSA (68 e 79%,).

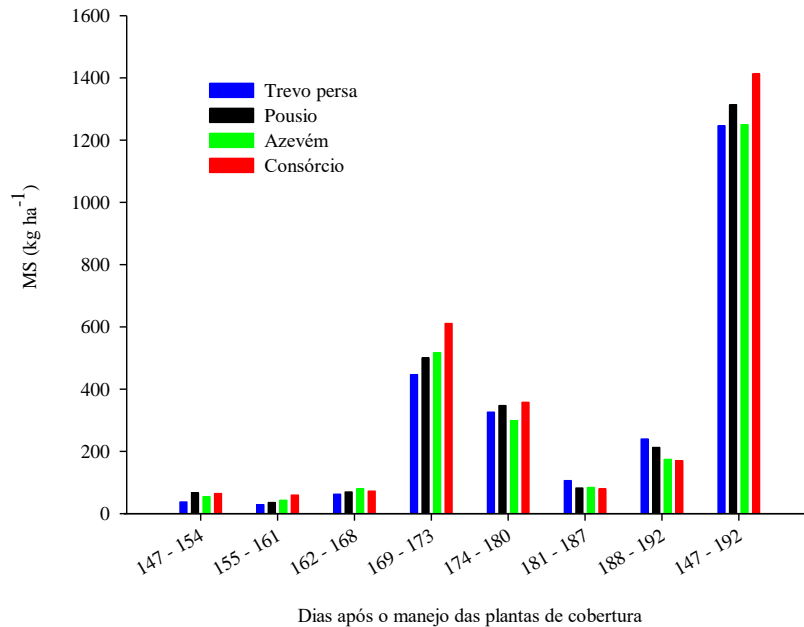
Figura 9 – Espaço poroso saturado por água (EPSA) na camada de solo de 0-0,10 m.



### 3.3.7 Biomassa foliar da soja

A avaliação da quantidade de MS de folhas senescentes da soja iniciou 147 dias após o manejo do azevém, sendo 90 dias após a semeadura da soja e foi finalizada na colheita da soja aos 192 dias após o manejo das plantas de cobertura. Não houve diferença na quantidade de MS de folhas que na média dos quatro tratamentos atingiu  $1.305 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Figura 10 – Biomassa das folhas senescentes da soja depositadas na superfície do solo durante o ciclo da cultura.



### 3.4 DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Efeito das plantas de cobertura nas emissões de N<sub>2</sub>O

Os resíduos das plantas de cobertura provocaram aumento nos fluxos de N<sub>2</sub>O conforme observado em outros estudos em terras baixas Hwang et al. (2017) e de sequeiro Schmatz (2019). Esse incremento na emissão de N<sub>2</sub>O é resultado do aumento da disponibilidade de C e N aos microrganismos envolvidos na produção de N<sub>2</sub>O nos processos de nitrificação e desnitrificação, combinado as condições de baixa disponibilidade de oxigênio no solo (WEIER et al., 1993). Geralmente, a desnitrificação é aceita como o principal processo responsável pela produção de N<sub>2</sub>O quando o EPSA é superior a 60-70%, enquanto a nitrificação torna-se predominante quando os valores de EPSA estão entre 35 e 60% (BATEMAN e BAGGS, 2005). No presente estudo, na cultura da soja, os valores de EPSA foram altos em grande parte do tempo, indicando que a desnitrificação deve ter sido o principal processo na produção de N<sub>2</sub>O.

Nos dois sistemas de cultivo o aumento dos fluxos de N<sub>2</sub>O devido aos resíduos do trevo persa ocorreu já nos primeiros dias após a dessecação da leguminosa. Estes resultados estão associados a composição química dos resíduos do trevo persa, como alto teor de N e fração solúvel, que proporcionam altas taxas de decomposição e mineralização de N (AITA e

GIACOMINI, 2003), podendo gerar maiores concentrações de carbono orgânico dissolvido no solo (HUANG et al., 2004).

Além de disponibilizar grandes quantidades de C e N aos processos produtores de  $N_2O$  os resíduos de trevo persa também podem promover um intenso aumento na atividade microbiana no solo e com isso provocar um aumento no consumo de  $O_2$ , gerando microsítios de anaerobiose no solo. Aliado a isso, as chuvas que ocorreram durante esse período aumentaram o EPSA (+80%) e possivelmente diminuíram a disponibilidade de  $O_2$  do solo, favorecendo a desnitrificação na presença de C, N e N-inorgânico disponíveis no solo (WEIER et al., 1993). Assim como observado neste estudo, diversos autores verificaram que o efeito dos resíduos das leguminosas sobre a emissão de  $N_2O$  ocorre nos primeiros meses após o manejo das espécies (ROSALINO, 2014; HWANG et al., 2017; SCHMATZ, 2019).

O efeito dos resíduos do consórcio e do cultivo isolado do azevém sobre as emissões de  $N_2O$  foram verificados somente no sistema com soja quando provocaram aumentos nos fluxos de  $N_2O$  a partir de 74 dias após o manejo do azevém e 52 dias após o manejo do consórcio. Esse aumento nos fluxos esteve relacionado ao aumento na disponibilidade de  $NO_3^-$  no solo a partir dos 48 dias em todos os tratamentos. Embora as maiores quantidades de  $NO_3^-$  tenham sido observadas no tratamento trevo persa, o maior fluxo de  $N_2O$  foi observado no tratamento com azevém, o qual foi o único que diferiu do tratamento em pousio. Elevados fluxos de  $N_2O$  com resíduos de gramíneas também foram observados por Kim et al. (2013) e Grohs (2020). No presente estudo, o maior fluxo de  $N_2O$  com a gramínea pode estar relacionado a maior quantidade de C remanescente no tratamento azevém devido a decomposição mais lenta quando comparado aos resíduos de trevo persa e consórcio (Capítulo I). A maior disponibilidade C no tratamento azevém aliada a disponibilidade de  $NO_3^-$  no solo deve ter potencializado a produção de  $N_2O$  via desnitrificação. No entanto, os valores de EPSA ao redor de 60% nesse período indicam que os fluxos de  $N_2O$  também podem ter origem na nitrificação do N mineralizado no período.

No consórcio entre plantas, aos 2 e 10 dias após a dessecação, observou-se as menores emissões resultando em um comportamento distinto aos demais resíduos. Isso pode estar relacionado com a dinâmica resultante da associação (gramínea e leguminosa), ou seja, a leguminosa vai decompor e liberar rapidamente o N, sendo que a gramínea provoca a imobilização deste N e as taxas de liberação serão mais lentas. Tais resultados diferem dos encontrados por Hwang et al. (2017) que ao utilizar plantas de cobertura consorciadas e em cultivo solteiro não identificaram diferença na liberação dos nutrientes entre o consórcio e a leguminosa.

O efeito dos resíduos nos fluxos de  $N_2O$  no sistema com soja após 74 dias não foram observados no sistema com arroz irrigado, indicando que os mesmos foram anulados pelas condições anaeróbicas estabelecidas pela irrigação por inundação que provavelmente suprimiram a nitrificação, limitando a disponibilidade de nitrato à desnitrificação com favorecimento da redução do  $NO_3^-$  a  $N_2$  (HWANG et al., 2017). No arroz irrigado, os fluxos de  $N_2O$  apresentaram valores próximos a zero após o alagamento do solo, alternando-se com valores positivos e negativos, comportamento também observado em outros estudos (HOU et al., 2000; LIDA et al., 2007; LIU et al., 2010; SOUZA, 2013). Durante o alagamento do solo também não foi verificado aumento nas emissões de  $N_2O$  após a realização das adubações nitrogenadas de cobertura (N-ureia). A aplicação do N na presença de lâmina de água inibe a ocorrência da nitrificação e assim resulta em baixa disponibilidade de  $NO_3^-$  para a ocorrência da desnitrificação (AHMAD et al., 2009). Segundo Souza (2013), a altura da lâmina de água pode ser um fator que condiciona a ocorrência de fluxos de  $N_2O$  após a aplicação do N, sendo que lâminas mais baixas podem favorecer a difusão de  $O_2$ , possibilitando a ocorrência do processo de nitrificação do  $NH_4^+$  até  $NO_3^-$  e posterior desnitrificação até  $N_2O$ .

Após o período de fluxos intensos de  $N_2O$  no sistema com soja (primeiros 100 dias), houve um decréscimo nos fluxos, havendo pequenas variações entre os tratamentos. Esperava-se um aumento no fluxos de  $N_2O$  após o início da queda das folhas senescentes da soja no período reprodutivo, já que esses resíduos são ricos em C lábil e N. No entanto, a baixa precipitação ocorrida no período, principalmente entre 169-192 dias quando a maior parte das folhas senesceu, resultou em baixos valores de EPSA o que não favoreceu o estabelecimento de condições para produção de  $N_2O$ . Aumento no fluxo de  $N_2O$  provocados pela queda das folhas de soja foi relatado por Pilecco et al. (2019) em condições de sequeiro quando no período reprodutivo da soja a queda das folhas aliada as precipitações regulares aumentaram as emissões de  $N_2O$ .

A quantidade acumulada de  $N_2O$  foi maior no sistema com soja do que com arroz irrigado. Da mesma forma a proporção do N adicionado com os resíduos que foi emitido como  $N_2O$  também foi maior na leguminosa. Conforme comentado anteriormente o alagamento do solo no sistema com arroz irrigado limita a produção de  $N_2O$  via os processos de nitrificação e desnitrificação. Por outro lado, no sistema com soja o solo permanece drenado e sujeito aos ciclos de umedecimento e secagem que ocorrem em função da precipitação. Durante esses ciclos, o N mineralizado é oxidado a  $NO_3^-$  e dependendo das condições de disponibilidade de  $O_2$  pode ser desnitrificado. Em ambos os sistemas as maiores quantidades emitidas foram medidas com o trevo persa e foram semelhantes entre o azevém e consórcio, os quais superaram

o pousio apenas no sistema com soja. Hwang et al. (2017) também observaram em solo de terras baixas maior emissão de  $N_2O$  no tratamento com o uso da ervilhaca do que no de cevada. Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos em outros estudos (HUANG et al., 2004; DAVIS et al., 2019; SCHMATZ, 2019) em que resíduos com maior conteúdo de N no tecido vegetal resultam em maior produção de  $N_2O$ , principalmente no período inicial da decomposição. Na cultura da soja as maiores contribuições para o PAGp entre os tratamentos foi referente as emissões de  $N_2O$  (92,5%) (ROSALINO, 2014). Já no cultivo de arroz irrigado as emissões de  $N_2O$  resultaram nas menores contribuições para o PAGp (4,5%) (KIM et al., 2013; ZSCHORNACK et al., 2016).

### 3.4.2 Efeito das plantas de cobertura nas emissões de $CH_4$

Os resíduos das plantas de cobertura aumentaram os fluxos de  $CH_4$  tanto no sistema com soja como no sistema com arroz irrigado. No entanto, o impacto dos resíduos na emissão de  $CH_4$  foi significativamente maior no sistema com arroz irrigado e principalmente no período de alagamento do solo. A contribuição do  $CH_4$  no PAGp foi de 95,5%, na média entre os tratamentos. De forma geral, tais resultados, corroboram com encontrados em estudos citados na literatura, em que a maior contribuição para o PAGp parte das emissões de  $CH_4$  (ZSCHORNACK et al., 2011; ZSCHORNACK et al., 2016).

No sistema com soja na média dos quatro tratamentos a emissão de  $CH_4$  representou apenas 1,5% da emissão medida no sistema com arroz irrigado (2,5 vs 171 kg C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup>). Ao contrário do arroz irrigado, na cultura da soja, as contribuições do  $CH_4$  para o PAGp apresentaram um baixo percentual de contribuição (7,5%), entre os tratamentos cultivados com soja. Apesar do solo do presente estudo possuir deficiência natural de drenagem, as parcelas do experimento apresentaram drenagem relativamente eficiente, não havendo acúmulo de água sobre a superfície do solo por um período prolongado após a ocorrência das chuvas. Nessas condições, o processo de redução do solo não atinge valores de potencial redox negativos suficientes para que ocorra a metanogênese, processo responsável pela produção de  $CH_4$ . Assim, a produção de  $CH_4$  quando ocorre se limita a microsítios no interior do solo. A ocorrência de fluxos negativos de  $CH_4$  é comum nessas condições, já que a presença de  $O_2$  permite a atividade das bactérias metanotróficas que oxidam o  $CH_4$  (BAYER et al., 2012).

No sistema com arroz irrigado os fluxos de  $CH_4$  foram baixos até os 60 dias após o manejo do azevém, porém aos 22 e 34 dias houve emissões com diferenças significativas entre

o trevo persa e o azevém que estão relacionadas as precipitações ocorridas no período. Essas precipitações elevaram os valores de EPSA ocasionando uma diminuição na disponibilidade de  $O_2$ . Nesse período também foi observado um aumento na disponibilidade de  $NH_4^+$  no solo o que pode ter provocado uma diminuição na oxidação do  $CH_4$  pelas metanotróficas já que a enzima envolvida na oxidação deste gás também pode reconhecer o  $NH_4^+$  como substrato (DUNFIELD e KNOWLES, 1995; HANSON e HANSON, 1996). , é possível afirmar que devido a semelhança enzimática, os microrganismos metanotróficos podem mudar substratos de  $CH_4$  para amônio, resultando na mitigação de emissão de  $CH_4$  no solo. Tal condição pode explicar as maiores emissões de  $CH_4$  nos tratamentos com resíduos de maior concentração de N (trevo persa e consórcio) comparado as emissões no azevém e pousio que apresentavam baixa concentração de N no solo. Tais resultados corroboram com Hwang et al. (2017), que obtiveram uma pequena quantidade de  $CH_4$  no tratamento controle e no da gramínea antes do alagamento. Em contrapartida, onde ocorreu o cultivo da leguminosa observaram-se as maiores emissões de  $CH_4$ .

Após o alagamento do solo no cultivo de arroz irrigado, as emissões de  $CH_4$  foram influenciadas pela presença de resíduos vegetais. Esse processo ocorre devido ao estímulo da atividade dos microrganismos metanogênicos pela adição de C lábil e das reduções ocorridas no solo devido ao consumo de  $O_2$  durante o processo de decomposição (DALAL et al., 2008; KIM et al., 2012; GAIHRE et al., 2013).

No presente estudo, na cultura do arroz irrigado os fluxos de  $CH_4$  observados variaram de  $-12,68$  a  $4.441$  g C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, sendo utilizado a cultivar IRGA 431 CL, considerada de ciclo precoce (120 dias). Em um estudo realizado por Zschornack (2011), verificou-se que os fluxos variaram de  $-2$  a  $15.108$  g C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na cultivar Puitá Inta CL também considerada de ciclo precoce. Souza (2013) verificou os fluxos de  $-10$  a  $18.768$  g C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na variedade Puitá Inta CL. Já Grohs (2018) verificou que os fluxos variaram de  $-17,43$  a  $7.135$  g C- $CH_4$  ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> utilizando a variedade IRGA 424 RI com ciclo médio de 130 dias. A partir dos estudos citados, pode-se observar variações nos fluxos de  $CH_4$  que podem estar relacionados a fatores edafoclimáticos, tipo de solo, manejo adotado, características fisiológicas e ciclo da cultivar escolhida.

A partir da fase reprodutiva do arroz irrigado, representada por R0 segundo a escala de Counce et al. (2000), as emissões foram potencializadas em comparação com a fase vegetativa, principalmente nos tratamentos com a presença de resíduos. Isso ocorre devido a maior produção e liberação de compostos orgânicos (exsudação) principalmente C das raízes e o maior desenvolvimento do aerênquima vegetal (DAS e BARUAH, 2008). Segundo Lu et al., (2000),



com o crescimento das plantas e perfilhamento, ocorre o aumento do carbono orgânico do solo, enquanto na rizosfera, ao longo do período de crescimento o C permanece baixo. Entretanto, com o aumento da entrada de matéria orgânica, através dos exsudatos radiculares e raízes em decomposição, as mesmas forneceram uma fonte de C lábil para as metanogênicas (LU et al., 2000) refletindo em um aumento exponencial dos fluxos de CH<sub>4</sub> (DAS E BARUAH, 2008). Após o período reprodutivo, houve um decréscimo nas emissões que estão ligadas a diminuição da disponibilidade de C, diminuição da capacidade de transporte pelas raízes (ZHAN et al., 2011; GAIHRE et al., 2013) e supressão da irrigação resultando no aumento gradativo das concentrações de O<sub>2</sub> no sistema.

As emissões acumuladas de CH<sub>4</sub> no sistema com arroz irrigado apresentaram diferenças até os 84 dias após o manejo das plantas de cobertura, 28 dias após o alagamento, onde os maiores acumulados foram observados no tratamento com resíduos de trevo persa e os menores no tratamento sem resíduos, ou seja a presença de resíduos de plantas de cobertura está relacionada diretamente as emissões de CH<sub>4</sub>, pois a adição dos resíduos aumenta a disponibilidade de substrato para metanogênese aliado às condições de anaerobiose pelo solo alagado (LU et al., 2000). Kim (2012) também verificou que nos tratamentos onde havia presença de resíduos vegetais ocorreram as maiores as emissões de CH<sub>4</sub>. No entanto, no presente estudo, ao final do experimento as maiores quantidades de CH<sub>4</sub> foram observadas no consórcio e no azevém. Possivelmente tal inversão esteja relacionada com as diferenças na velocidade de decomposição, que permitiram que a maior parte dos resíduos do trevo persa fossem decompostos na fase inicial do alagamento e assim sobrou menos substrato no solo ao final do período do alagamento. Condição inversa deve ter ocorrido com o azevém.

### 3.5 CONCLUSÕES

Na cultura do arroz irrigado devido ao alagamento, os fluxos de N<sub>2</sub>O apresentaram valores próximos a zero, resultando na mitigação desse gás quando comparado ao cultivo em sequeiro (soja). Já as emissões de CH<sub>4</sub> após o alagamento do solo, foram influenciadas pela composição química dos resíduos culturais com os maiores acumulados foram observados no tratamento com resíduos de azevém e consórcio e os menores no tratamento sem resíduos e trevo persa.

O cultivo de soja em terras baixas acarreta na mitigação das emissões de CH<sub>4</sub> quando comparado ao arroz irrigado. Entretanto ocorre o aumento das emissões de N<sub>2</sub>O, sendo que as maiores emissões são observadas nos tratamentos com a presença da leguminosa.

O PAGp dos sistemas com plantas de cobertura em terras baixas, indica que o trevo persa deve ser cultivado antecedendo o arroz irrigado e o azevém e o consórcio antecedendo a soja.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- AHMAD, S. et al. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil and Tillage Research Amsterdam**, v. 106, p. 54-61, 2009.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALMEIDA, R. F. et al. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: uma revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá. v. 8, n. 2, p. 441-461, 2015.
- BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and fertility of soils**, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.
- BAYER, C. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**. v.124, p. 1-7, 2012.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- DALAL, R. et al. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant Soil**, v. 309, p. 43-76, 2008.
- DAS, K.; BARUAH, K. K. A comparison of growth and photosynthetic characteristics of two improved rice cultivars on methane emission from rainfed agroecosystem of northeast India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 124, n. 1-2, p. 105-113, 2008.
- DAVIS, B. W. et al. Nitrous oxide emissions increase exponentially with organic N rate from cover crops and applied poultry litter. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 272, p. 165-174, 2019.
- DUNFIELD, P.; KNOWLES, R. Kinetics of inhibition of methane oxidation by nitrate, nitrite, and ammonium in a humisol. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 8, p. 3129-3135, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, p. 353, 2013.
- FERREIRA, R. B. et al. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p. 2143-2149, 2015.

GAIHRE, Y. K.; WASSMANN, R.; VILLEGAS-PANGGA, G. Impact of elevated temperatures on greenhouse gas emissions in rice systems: interaction with straw incorporation studied in a growth chamber experiment. **Plant Soil**, v. 373, n.1, p. 857–875, 2013.

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

GROHS, M. **Emissão de gases de efeito estufa, ciclagem de nutrientes e produtividade de arroz irrigado em função de manejos pós colheita e plantas de cobertura**. 2018. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

GROHS, M. et al. Greenhouse gas emissions during rice crop year affected by management of rice straw and ryegrass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 2020.

HANSON, R. S.; HANSON, T. E. Methanotrophic bacteria. **Microbiological reviews**, v. 60, n. 2, p. 439-471, 1996.

HOU, A. X. et al. Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 6, p. 2180-2186, 2000.

HUANG, Y. et al. Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 109, n. D8, 2004.

HWANG, H. Y. et al. Effect of cover cropping on the net global warming potential of rice paddy soil. **Geoderma**, v. 292, p. 49-58, 2017.

IPCC. Climate change 2014: contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Team CW, PachauriRK, Meyer LA (eds) Climate change 2014 synthesis report. IPCC, Geneva, Switzerland, Cambridge and New York, p 151, 2014.

KIM, S. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 161, p. 130-136, 2012.

KIM, S. Y. et al. Contribution of winter cover crop amendments on global warming potential in rice paddy soil during cultivation. **Plant and Soil**, v. 366, p. 273-286, 2013.

LIDA, T.; DEB, S. K.; KHARBUJA, R. G. Nitrous oxide emission measurement with acetylene inhibition method in paddy fields under flood conditions. **Paddy and Water Environmental**, v. 5, p. 83-91, 2007.

LIU, S. et al. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N<sub>2</sub>O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 906-913, 2010.

LU, Y. et al. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 64, p. 2011–2017, 2000.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro\\_digital\\_5ed\\_estimativas\\_anuais.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro_digital_5ed_estimativas_anuais.pdf)> Acesso em 10 de janeiro de 2021.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystem and the atmosphere**, p. 175-187, 1989.

PILECCO, G. E. et al. Ryegrass early sowing into soybean to mitigate nitrous oxide emissions in a subtropical integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 272, p. 276-284, 2019.

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil biology and biochemistry**. v. 78, p. 65-75, 2014.

ROCHETTE, P., BERTRAND, N. Soil-surface gas emissions. In: CARTER, M.R., GREGORICH, E.G. (Eds.), **Soil Sampling and Methods of Analysis**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 851–861. 2008.

ROSALINO, P. K. **Manejo do solo na entressafra do arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura da soja**. 2014. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SCHMATZ, R. **Decomposição e emissão de N<sub>2</sub>O em função da qualidade e quantidade de resíduos culturais na superfície do solo**. 2019. p. 94, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

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

VAN SOEST, P. J. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v. 46, n. 5, p. 825-835, 1963.

WEIER, K. L. et al. Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 66-72, 1993.

ZHAN, M. et al. Dynamics of methane emission, active soil organic carbon and their relationships in wetland integrated rice-duck systems in Southern China. **Nutrient Cycling in**

**Agroecosystems**, v. 89, n. 1, p. 1-13, 2011.

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. 90 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

ZSCHORNACK, T. et al. Impacto de plantas de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1163-1171, 2016.

#### 4. DISCUSSÃO GERAL

A produção de biomassa pelas plantas de cobertura no presente estudo pode ser considerada satisfatória para o ambiente de terras baixas e está dentro de uma variação de valores obtidos por Carlos (2017) e Hwang et al. (2017). O trevo persa e o consórcio azevém + trevo persa se destacaram pela maior adição de N ao solo, reforçando a importância do cultivo de espécies leguminosas para a incorporação de C e N via os processos de fotossíntese e fixação biológica de N, respectivamente. O cultivo consorciado de azevém e trevo persa provocou alteração na composição química dos resíduos comparado as culturas puras, mas tal modificação não alterou as taxas de perda de C e liberação de N dos resíduos na fase inicial da decomposição comparado ao trevo persa, que apresentou as maiores taxas de decomposição. No entanto, ao final de 154 dias o C e N remanescente nos resíduos do consórcio apresentou valores intermediários ao observado com o trevo persa e o azevém. Tais resultados indicam que o consórcio não foi eficiente em retardar a liberação de N dos resíduos na fase inicial de decomposição comparado ao trevo persa, contrariando a nossa hipótese. Possivelmente, isso tenha ocorrido pela predominância dos resíduos de trevo persa na MS total do consórcio. Em estudos futuros recomenda-se que sejam testadas diferentes proporções de densidade de semeadura para o consórcio entre azevém e trevo persa para determinar aquela que resulte em uma MS com taxas de liberação de N mais gradual na fase inicial de decomposição.

Apartir do alagamento do solo no sistema com arroz irrigado comparado ao sistema com soja, foi observado uma mudança no comportamento da decomposição principalmente para o resíduo de azevém. Isso se deve ao fato de ocorrer uma mudança na população microbiana, aumentando assim a decomposição quando comparado ao sistema de cultivo da soja que estava em solo drenado e com flutuação no teor de umidade. Já os resíduos de trevo persa, devido a sua maior decomposição, resultante da sua composição química, ligado diretamente a sua FS e quantidade de N (PRESCOTT, 2005; GAMA-RODRIGUES et al., 2007; SCHMATZ et al., 2020) não diferiu entre os dois sistemas mesmo após o alagamento. Isso se deve principalmente a menor quantidade de resíduo que estava presente no solo a partir do alagamento. O consórcio não diferiu estatisticamente entre os sistemas de cultivo, porém resultou em comportamento distinto, antes do alagamento, apresentou uma taxa elevada de decomposição e liberação de C e N e após o alagamento, devido a presença dos resíduos de azevém com maior relação C:N o comportamento da decomposição ficou semelhante ao do azevém.

No presente estudo, nos dois ambientes (soja e arroz irrigado), o fator mais relevante

foi a qualidade dos resíduos, ou seja, a relação C:N, fração solúvel, acelerando assim a decomposição e a disponibilidade de N ao solo, aliado a fatores ambientais favoráveis, como a presença de umidade resultando em emissões de  $N_2O$ . Já para o  $CH_4$ , que é produzido na metanogênese, depende do estabelecimento de condições anaeróbicas e está diretamente ligada a quantidade de resíduos presentes no solo no momento do alagamento do solo (DAS E BARUAH, 2008; ZSCHORNACK et al., 2011; KIM et al., 2012; HWANG et al., 2017).

Na cultura do arroz irrigado foi constatado que as quantidades acumuladas de  $CH_4$  e  $N_2O$  antes e durante o alagamento apresentaram comportamentos opostos, ou seja, quando ocorreu emissões de  $CH_4$  (período de alagamento), diminuíram ou anularam-se as emissões de  $N_2O$ . As emissões de  $N_2O$  foram maiores no tratamento trevo persa e as de  $CH_4$  nos tratamentos azevém e consórcio (gramínea + leguminosa). Na cultura da soja, as emissões mais expressivas foram de  $N_2O$ , sendo maior no tratamento com resíduos de trevo persa o que está ligado diretamente a baixa relação C:N e elevada fração solúvel, possibilitando a liberação imediata dos nutrientes. A umidade do solo variou devido as precipitações, aumentando o EPSA, mas também observou-se que na maior parte do tempo o EPSA foi maior nos tratamentos com resíduos do que no pousio, condição essa que favoreceu os ciclos de umedecimento e secagem resultando no aumento das emissões de  $N_2O$  no solo. Já as emissões de  $CH_4$  foram considerados baixas devido o solo ter sido mantido drenado, possibilitando a presença de oxigênio no solo (DALAL et al., 2008, GAIHRE et al., 2013).



## 5. CONCLUSÕES GERAIS

A decomposição dos resíduos culturais e liberação de nutrientes (C e N), foram maiores com os resíduos da trevo persa e consórcio (ricos em N e fração solúvel) do que com os de azevém (pobres em N e ricos em CEL e HEM). Tais resultados foram semelhantes nos dois sistemas de cultivo avaliados (arroz irrigado e soja) e indica que as modificações na composição química dos resíduos em função do consórcio entre azevem e trevo não modificaram a dinâmica de decomposição e liberação de N em relação a leguminosa cultivada em cultura pura.

A emissão de  $N_2O$ , independentemente do sistema de cultivo, foi duas vezes maior com os resíduos de trevo persa do que com os de azevém. No arroz irrigado a maior parte da emissão de  $N_2O$  emitida em um ano foi medida nos primeiros 60 dias, período que coincide com a intensa decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos culturais. Na cultura da soja o comportamento foi semelhante porém os acumulados foram maiores. Os maiores fluxos de  $N_2O$  foram dependentes da ocorrência de precipitações.

As emissões de  $CH_4$  tiveram comportamentos distintos, sendo que no arroz irrigado antes do alagamento as emissões foram baixas e/ou negativas e após o alagamento foram elevadas. Já na cultura da soja, devido a presença de aerobiose no sistema as emissões se mantiveram baixas e/ou negativas.

O cultivo de plantas de cobertura na entressafra não afetou a produtividade de grãos de arroz irrigado e soja em terras terras baixas.

## REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 27, p. 601-612, 2003.
- BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and fertility of soils**, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.
- CALEGARI, A. et al. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32-39, 2013.
- CAMPIGLIA, E. et al. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) Cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. *European Journal of Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 94-102, 2010.
- CARLOS F. S. **Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado**. 2017. 168p. Tese (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- CASSOL, G. V. **Sistemas de implantação, irrigação e alterações fisiológicas de plantas de soja sob cultivo em terras baixas**. 2017. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- CORREIA S. L et al. Performance of Flooded Rice Grown in Succession to Winter Cover Crops. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.42, 2018.
- DALAL, R. et al. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant Soil**. v. 309, p. 43-76, 2008.
- DAS, K.; BARUAH, K. K. A comparison of growth and photosynthetic characteristics of two improved rice cultivars on methane emission from rainfed agroecosystem of northeast India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 124, n. 1-2, p. 105-113, 2008.
- GAIHRE, Y. K.; WASSMANN, R.; VILLEGAS-PANGGA, G. Impact of elevated temperatures on greenhouse gas emissions in rice systems: interaction with straw incorporation studied in a growth chamber experiment. **Plant Soil**. v. 373, n.1, p. 857-875, 2013.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho Amarelo na região noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p. 1421-1428, 2007.
- GARCIA, J. L.; PATEL, B. K. C.; OLLIVIER, B. Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea. **Anaerobe**. v. 6, n. 4, p. 205-226, 2000.

- GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- GROHS, M. et al. Greenhouse gas emissions during rice crop year affected by management of rice straw and ryegrass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 2020.
- HWANG, H. Y. et al. Effect of cover cropping on the net global warming potential of rice paddy soil. **Geoderma**, v. 292, p. 49-58, 2017.
- HWANG, H. Y. et al. Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. **Field Crops Research**, v. 183, p. 138-146, 2015.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC, UK, 2007. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11, p. 5-6, S.
- JENSEN, L. S. et al. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, v. 273, n. 1, p. 307-326, 2005.
- KIM, S. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 161, p. 130-136, 2012.
- KING, A. E. et al. Crop rotations differ in soil carbon stabilization efficiency, but the response to quality of structural plant inputs is ambiguous. **Plant and Soil**, v. 457, n. 1, p. 207-224, 2020.
- LEAL, O. A. et al. Linking Cover Crop Residue Quality and Tillage System to CO<sub>2</sub>-C Emission, Soil C and N Stocks and Crop Yield Based on a Long-Term Experiment. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1848, 2020.
- PRESCOTT, C. E. Decomposition and mineralization of nutrients from litter and humus. In: RAD, H. B., ed. **Nutrient acquisition by plants an ecological perspective: ecological studies**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 15-41, 2005.
- POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 200, p. 33-41, 2015.
- REDIN, M. et al. Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family. **Plant and soil**, v. 378, n. 1, p. 205-214, 2014.
- REDIN, M. et al. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. **Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**, 2016.
- ROSALINO, P. K. **Manejo do solo na entressafra do arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura da soja**. 2014. 66p. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

SAHRAWAT, K. L. Soil fertility in flooded and non-flooded irrigated rice systems. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 58, n. 4, p. 423-436, 2012.

SCHMATZ, R. et al. How the mass and quality of wheat and vetch mulches affect drivers of soil N<sub>2</sub>O emissions. **Geoderma**, v. 372, p. 114395, 2020.

SINGH, B. K. et al. Microorganisms and climate change: terrestrial feed backs and mitigation options. **Nature Reviews Microbiology**, v.8 p.779-790, 2010.

TIECHER, T. et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, v. 308, p. 78-85, 2017.

WEILER, D. A. et al. Trade-off between C and N recycling and N<sub>2</sub>O emissions of soils with summer cover crops in subtropical agrosystems. **Plant and soil**, v. 433, p. 213-225, 2018.

WEILER, D. A. et al. Summer cover crops shoot decomposition and nitrogen release in a no-tilled sandy soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

ZHENG, Y. et al. Carbon and nitrogen transfer from litter to soil is higher in slow than rapid decomposing plant litter: A synthesis of stable isotope studies. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 156, p. 108196, 2021.

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. 90 F. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 2011.