

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

**Carolina Schultz Pollet**

**NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE CULTURAS DE VERÃO EM FRAÇÕES FÍSICAS  
DA MATÉRIA ORGÂNICA DE DOIS SOLOS DE TERRAS BAIXAS**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2018**

**Carolina Schultz Pollet**

**NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE CULTURAS DE VERÃO EM FRAÇÕES FÍSICAS  
DA MATÉRIA ORGÂNICA DE DOIS SOLOS DE TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva**

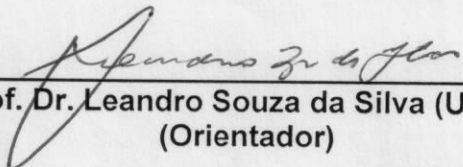
**Santa Maria, RS  
2018**

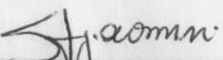
Carolina Schultz Pollet

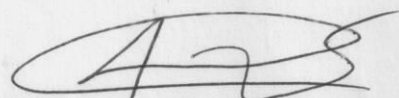
**NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE CULTURAS DE VERÃO EM FRAÇÕES FÍSICAS  
DA MATÉRIA ORGÂNICA DE DOIS SOLOS DE TERRAS BAIXAS**

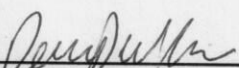
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva-UFSM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leandro Souza da Silva (UFSM)  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sandro José Giacomini (UFSM)  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Amanda Posselt Martins (UFRGS)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Douglas Adams Weiler (UFSM)

Santa Maria, RS  
2018

Pollet, Carolina Schultz  
NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE CULTURAS DE VERÃO EM FRAÇÕES  
FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE DOIS SOLOS DE TERRAS  
BAIXAS / Carolina Schultz Pollet.- 2018.  
55 p.; 30 cm

Orientador: Leandro Souza da Silva  
Coorientador: Sandro José Giacomini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2018

1. Dinâmica da MOS 2. Solos hidromórficos 3. Isótopo 15N  
4. Decomposição I. Silva, Leandro Souza da II. Giacomini  
, Sandro José III. Título.

## **Agradecimentos**

A Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, ao Departamento de Solos e os seus professores, pelo conhecimento adquirido e oportunidades.

A CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor Leandro pelos ensinamentos, conselhos e apoio na execução deste trabalho.

A banca examinadora composta pela professora Dra. Amanda Posselt Martins e pelo Dr. Douglas Adams Weiler pelas contribuições neste trabalho.

Aos meus pais, Sandra e Paulo, que sempre me apoiaram e estimularam meu estudo.

A minha irmã Camila pelo incentivo e meu ombro amigo durante esta caminhada.

Ao André pela paciência, pelas dicas e pelo incentivo para a conclusão desta etapa.

As minhas amigas: Daniela, Maria Victória, Eduarda e Ana Paula, por tantos momentos de apoio.

A todos colegas e amigos da graduação e da pós-graduação tanto do grupo LABCEN tanto aos do grupo NUTRITIVA que ajudaram de alguma forma a elaboração deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

**Meus sinceros agradecimentos!**

## RESUMO

### NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE CULTURAS DE VERÃO EM FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE DOIS SOLOS DE TERRAS BAIXAS

AUTOR: Carolina Schultz Pollet

ORIENTADOR: Leandro Souza da Silva

O Rio Grande do Sul possui cerca de 20% de sua área total com solos de características hidromórficas, denominados de terras baixas, propícias para o cultivo do arroz (*Oryza sativa*) irrigado por alagamento. Buscando mitigar danos ocasionados com o monocultivo de arroz novas culturas como o sorgo (*Sorghum bicolor*) e a soja (*Glycine max*), têm sido cultivadas nestas áreas. Tendo em vista diferentes qualidades de resíduos culturais, espera-se uma alteração na disponibilidade de nitrogênio (N) presente na matéria orgânica do solo (MOS). O objetivo deste estudo foi compreender a influência de resíduos culturais de arroz, soja e sorgo na dinâmica do N em diferentes frações físicas da MOS em dois solos de terras baixas com diferentes texturas, utilizando a técnica de marcação isotópica de  $^{15}\text{N}$ . Simulando um ano agrícola, foi conduzida uma incubação dos resíduos culturais de arroz, soja e sorgo enriquecidos com o isótopo  $^{15}\text{N}$  nos solos Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico e Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico durante 360 dias, sendo que aos 180 dias em diante o solo foi mantido alagado. O N remanescente dos resíduos vegetais foi quantificado aos 30, 180 e 360 dias após o início da incubação. O destino do N proveniente dos resíduos nos solos foi avaliado no solo inteiro e após o fracionamento físico da MOS com base no tamanho de partícula ( $>250\ \mu\text{m}$ ,  $250\text{-}53\ \mu\text{m}$  e  $<53\ \mu\text{m}$ ). Maiores quantidades de  $^{15}\text{N}$  no solo nas frações  $<53\ \mu\text{m}$  para todos os períodos de incubação foram quantificadas. Nos tratamentos com resíduos culturais de arroz e ao final do período de incubação, foram observados os maiores acréscimos de  $^{15}\text{N}$  ao solo. Os resultados indicam que os resíduos culturais de arroz contribuem mais efetivamente na adição de N na MOS de solos hidromórficos do que os resíduos de soja e sorgo, após um ciclo de um ano da adição de resíduos. O solo com maior quantidade de argila foi quantificado maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  nas frações físicas em razão da maior proteção da MOS pelo silte e argila. O alagamento do solo após a decomposição dos resíduos de soja e sorgo ocasiona uma perda do N adicionado ao solo pelos resíduos. Essas perdas de N devem ser consideradas na adubação nitrogenada para as culturas seguintes.

**Palavras-chave:** Dinâmica da MOS, solos hidromórficos, isótopo  $^{15}\text{N}$ .

## ABSTRACT

### NITROGEN OF SUMMER CULTURE RESIDUES IN PHYSICAL FRACTIONS OF ORGANIC MATTER OF TWO LOWLAND SOILS

AUTHOR: Carolina Schultz Pollet

ADVISOR: Leandro Souza da Silva

Rio Grande do Sul has about 20% of its total area of soils with hydromorphic characteristics, denominated lowlands suitable for rice cultivation (*Oryza sativa*) irrigated by flooding. In order to mitigate damage caused by rice monoculture, new crops such as sorghum (*Sorghum bicolor*) and soybean (*Glycine max*) have been cultivated in these areas. Considering different qualities of cultural residues, a change in the availability of nitrogen (N) present in soil organic matter (SOM) is expected. The aim of this study was to understand the influence of cultural residues of rice, soybean and sorghum on the dynamics of N in different physical fractions of the MOS in two soils of lowlands with different textures, using the technique of isotopic marking of  $^{15}\text{N}$ . Simulating an agricultural year, an incubation of the cultural residues of rice, soybean and sorghum enriched with  $^{15}\text{N}$  isotope in the soils Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico and Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico during 360 days, and at 180 days thereafter the soil was flooded. The remaining N of the plant residues was quantified at 30, 180 and 360 days after the beginning of the incubation. The N destination from the residues in the soils was evaluated in the whole soil and after the physical fractionation of the MOS based on the particle size ( $> 250\mu\text{m}$ ,  $250\text{-}53\mu\text{m}$  and  $<53\mu\text{m}$ ). Higher amounts of  $^{15}\text{N}$  in the soil in fractions  $<53\mu\text{m}$  for all incubation periods were quantified. In the treatments with cultural residues of rice and at the end of the incubation period, the largest additions of  $^{15}\text{N}$  to the soil were observed. The results indicate that rice cultural residues contribute more effectively to the addition of N in the SOM of hydromorphic soils than soybean and sorghum residues after a one year cycle of the addition of residues. The soil with greater amount of clay was quantified a greater quantity of  $^{15}\text{N}$  in the physical fractions due to the greater protection of the SOM by silt and clay. Soil flooding after the decomposition of soybean and sorghum residues causes a loss of N added to the soil by the residues. These losses of N should be considered in nitrogen fertilization for the following crops.

**Keywords:** SOM dynamics, hydromorphic soils, isotope  $^{15}\text{N}$ .

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de solo de terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul. ....	13
Figura 2 - $^{15}\text{N}$ proveniente dos resíduos culturais de arroz, sorgo e soja nas frações da MOS: fração areia grossa (a), fração areia fina (b) e fração silte+argila (c) Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico ao longo dos 360 dias de incubação. ....	37
Figura 3- $^{15}\text{N}$ proveniente dos resíduos culturais de arroz, sorgo e soja nas frações da MOS: fração areia grossa (a), fração areia fina (b) e fração silte+argila (c) Planossolo Háplico Eutrófico gleissólico ao longo dos 360 dias de incubação. ....	38
Figura 4 -- Proporção relativa do $^{15}\text{N}$ que foi para o solo nas frações: fração areia grossa, fração areia fina e fração silte+argila nos dois solos ao longo dos 360 dias de incubação. ....	39
Figura 5 - Adição de $^{15}\text{N}$ (%) ao solo proveniente dos resíduos de arroz, sorgo e soja nos dois solos ao longo de 360 dias de incubação utilizando o solo íntegro. ....	46
Figura 6 - Adição de $^{15}\text{N}$ (%) ao solo proveniente dos resíduos de arroz, sorgo e soja nos dois solos ao longo de 360 dias de incubação através da soma das frações. ...	46



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas e químicas dos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e um Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico (PlaGI) utilizados no experimento.....	23
Tabela 2 - Características química da parte aérea e das raízes de arroz, sorgo e soja. ....	24
Tabela 3- Tratamentos utilizados no experimento de incubação .....	25
Tabela 4 - Resultados da análise de variância para os fatores resíduos culturais (RC) e Solos (S) para o <sup>15</sup> N remanescente e o <sup>15</sup> N adicionado ao solo sem passar pelo fracionamento.....	29
Tabela 5 - <sup>15</sup> N remanescente na palha do arroz, sorgo e soja nos solos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico e Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico durante 360 dias de incubação. ....	30
Tabela 6 - Percentagem de <sup>15</sup> N total adicionado aos dois solos oriundos de cada resíduo cultural aos 30, 180 e 360 dias de incubação. ....	32
Tabela 7- Resultados da análise de variância para os fatores resíduos culturais (RC), Solos (S), Fração (F) para o <sup>15</sup> N adicionado ao solo fracionado. ....	35
Tabela 8- <sup>15</sup> N oriundo de diferentes resíduos culturais e nos dois solos nas frações areia grossa (FAG), areia fina (FAF) e silte+argila (FSA) aos 30 dias após a incubação. ....	41
Tabela 9- <sup>15</sup> N oriundo de diferentes resíduos culturais nas frações areia grossa (FAG), areia fina (FAF) e silte+argila (FSA) aos 180 e 360 dias de incubação em dois solos. ....	42
Tabela 10- Recuperação do <sup>15</sup> N total, proveniente da soma do <sup>15</sup> N remanescente nos resíduos com o <sup>15</sup> N do solo nos solos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico (PlaGI). ....	44
Tabela 11 - Percentual do <sup>15</sup> N recuperado no solo fracionado após aplicação de diferentes resíduos culturais aos 30, 180 e 360 dias de incubação nos dois solos...	45

## LISTA DE ANEXOS

Anexo I - Fração Areia Grossa ( $> 250 \mu\text{m}$ ) (a); Fração Areia Fina ( $250- 53 \mu\text{m}$ ) (b) e Fração Silte+Argila ( $< 53 \mu\text{m}$ ) (c) .....	54
---	----

## SUMÁRIO:

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
<b>3.1 Solos</b> .....	22
<b>3.2 Resíduos vegetais e enriquecimento em <sup>15</sup>N</b> .....	22
<b>3.3 Incubação</b> .....	24
<b>3.4 Tratamentos</b> .....	25
<b>3.5 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica e análise de <sup>15</sup>N</b> .....	25
<b>3.6 <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos culturais e no solo</b> .....	26
<b>3.7 Cálculos</b> .....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1 <sup>15</sup> N remanescente nos resíduos culturais.....	29
4.2 <sup>15</sup> N total adicionado ao solo com os resíduos culturais .....	32
4.3 <sup>15</sup> N incorporado nas frações granulométricas do solo .....	34
4.4 Recuperação do <sup>15</sup> N pelas frações granulométricas.....	43
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	49
<b>8. ANEXOS</b> .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul (RS) possui cerca de 5,4 milhões de hectares de terras baixas, o que representa 20% da área total do Estado. Essas áreas apresentam, como característica principal, relevo variando de plano a suave ondulado, com deficiência de drenagem, propriedade que propicia o cultivo do arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado por alagamento (SOSBAI, 2016). Nestas áreas de terras baixas, prevalece a monocultura do arroz, sendo o RS o maior produtor deste cereal no Brasil (cerca de 71% da produção do grão) em uma área de, aproximadamente, 1,1 milhão de hectares (CONAB, 2017).

A utilização apenas a monocultura do arroz por longos períodos de tempo favorece a degradação do solo, aumentando a população de patógenos, como a brusone (*Pyricularia grisea*), e a infestação de plantas daninhas, como o arroz vermelho (MARCHESAN et al., 2004). Como estratégia para mitigar os efeitos negativos da monocultura do arroz, aliado a produção de outros grãos economicamente rentáveis, houve um aumento nos últimos 10 anos do cultivo de outras culturas em solos de terras baixas do RS. Com isso, a produção de sorgo (*Sorghum bicolor*) e de soja (*Glycine max*) em cultivo de sequeiro têm se mostrado como as melhores opções de rotação com a cultura do arroz irrigado (SILVA e PARFITT, 2004). Atualmente, cultivam-se em torno de 300 mil hectares de terras baixas do RS com outras culturas em rotação, principalmente com a soja (SOSBAI, 2016).

Com a introdução da soja e do sorgo em áreas de terras baixas, há a adição de resíduos vegetais com composição química variada, que apresentam uma dinâmica de decomposição no solo diferente dos resíduos culturais do arroz. Espera-se, portanto, modificar a dinâmica do nitrogênio (N) neste solo. A qualidade dos resíduos culturais (por exemplo, a relação C/N e o teor de fração orgânica solúvel) pode influenciar na decomposição do material orgânico e alterar a mineralização do N e, conseqüentemente, a disponibilidade do nutriente no solo (CHIVENGE et al., 2011; AITA e GIACOMINI, 2003). Aliado à qualidade dos resíduos, o fator solo também possui influência na dinâmica do N. Solos argilosos contêm maiores quantidades de matéria orgânica do solo (MOS) e biomassa microbiana (SIX et al., 2006); entretanto, tendem a ter menores taxas de transformação do N do que solos arenosos devido a

uma maior proteção física dos resíduos culturais e maior complexação organomineral (CHIVENGE et al., 2011).

A mineralização do N contido na MOS do solo tem contribuição importante para o N necessário às culturas agrícolas (STEVENS et al., 2005). Tendo em vista que o N é um elemento amplamente utilizado na agricultura e a forma de recomendação deste nutriente está baseada nos teores de MOS e na influência dos resíduos dos cultivos antecessores (CQFS, 2016), surge a necessidade de se compreender a distribuição do N nas diferentes frações da MOS em função da decomposição de diferentes resíduos culturais adicionados nestes solos.

Para testar os efeitos da qualidade do resíduo em solos de terras baixas, este trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição do N em frações físicas da MOS com a adição de resíduos de arroz, sorgo e soja, utilizando o marcador isotópico  $^{15}\text{N}$ , em dois solos com classe textural diferente.



A produção de soja é uma alternativa viável de cultivo nos solos de terras baixas. Reyna et al. (2003) concluíram que alguns genótipos de soja são mais tolerantes ao excesso de água e que é possível a implantação desta cultura neste ambiente. Uma vantagem em cultivar a soja em rotação com o arroz é a produção de resíduos culturais de melhor qualidade, possibilitando a adição do N fixado biologicamente pela espécie ao solo (KLUTHCOUSKI, 2000). Os autores Verneti Junior et al. (2009) encontraram melhor desempenho para a cultura da soja cultivada em sucessão com gramíneas comparativamente a sucessão com leguminosas, evidenciando a importância de sucessão/rotação de culturas nos solos de terras baixas.

Outra alternativa para as terras baixas é a cultura do sorgo granífero, que se mostra menos sensível ao excesso de água no solo do que a da soja, depois de um bom estabelecimento do estande inicial de plantas na área (GOMES et al., 2002). Além de ter boa adaptabilidade nestes solos, Montealegre e Vargas (1989) verificaram que a rotação de arroz com sorgo reduz sensivelmente a população de arroz vermelho da área. Ainda, Gomes et al. (2002) relatam que, além de diminuir o banco de sementes viáveis de plantas daninhas, o cultivo do sorgo proporciona um aumento de produtividade dos grãos de arroz em sucessão.

Com a introdução da soja e/ou do sorgo em áreas de terras baixas, há a adição de resíduos vegetais com composição química variada, que apresentam uma dinâmica de decomposição no solo diferente dos resíduos culturais do arroz. A adição de resíduos e a ciclagem de nutrientes originadas pelo aporte de diferentes resíduos vegetais e seu manejo podem manter e/ou aumentar a fertilidade do solo (EMYGDIO et al., 2017). O impacto de se introduzir uma ou outra destas culturas também deve levar em consideração os diferentes aspectos morfofisiológicos da planta. Redin (2010) verificou que as gramíneas produzem aproximadamente três vezes mais fitomassa radicular do que as leguminosas evidenciando a importância das gramíneas entre as culturas de sequeiro, como o exemplo do sorgo, na incorporação de material orgânico ao solo, através do seu sistema radicular. Entretanto, podem haver diferenças na quantidade de material orgânico se o sorgo for granífero ou forrageiro, tanto pela diferença entre os materiais vegetais quanto pela influência do pastejo pelos animais.

Avaliando as características bioquímicas destas culturas, Redin et al. (2014) evidenciou que os resíduos vegetais apresentam ampla variação na sua composição

bioquímica, que maiores quantidades de celulose, hemicelulose e de lignina foram quantificados para sorgo do que para resíduos de soja. Os conteúdos de C total nos tecidos apresentam pouca variação, entretanto o N total é bastante variável entre as culturas, sendo que a leguminosa apresenta maior quantidade de N do que a gramínea. Estas características demonstram diferenças entre os materiais vegetais que podem afetar a decomposição destes resíduos no solo.

## **2.1 – Dinâmica dos resíduos culturais e da matéria orgânica no solo**

A matéria orgânica do solo é constituída por vários compostos de carbono (C), sendo a maioria em um complexo de agregados organominerais cuja gênese e estrutura não são totalmente conhecidas (SCHIMIDT et al., 2011). Entretanto, sua importância é notória, visto que a MOS afeta a qualidade física, química e biológica do solo e, por este motivo, tem sido utilizada como indicador da qualidade de manejo do solo (MIELNICZUCK et al., 2008). Em solos agrícolas, a principal fonte de matéria orgânica são os resíduos vegetais (parte aérea e raízes). O processo de decomposição de resíduos vegetais no solo é complexo e controlado principalmente por microrganismos, cuja atividade depende de diversos fatores bióticos e, principalmente, abióticos, como temperatura e umidade (REDIN, 2010).

A manutenção ou acúmulo da MOS, segundo Christensen (1996) e Sollins et al. (1996), é resultante de três mecanismos básicos de proteção: a recalcitrância molecular, referente a organização molecular de difícil ataque microbiano; a proteção coloidal devido a força de adsorção dos compostos orgânicos na matriz mineral do solo; e a proteção física, por oclusão da matéria orgânica dentro dos agregados do solo.

Em relação a recalcitrância, Cotrufo et al. (2013) postulam que a qualidade química dos resíduos é o controlador primário das taxas de decomposição dos resíduos culturais, afetando a eficiência do uso do substrato pela população microbiana, nos quais resíduos de maior qualidade (alto teor de N e de fração orgânica solúvel) se decompõem mais rapidamente do que resíduos de menor qualidade (baixo teor de N e de fração orgânica solúvel), resultando em maiores quantidades de compostos microbianos com maior potencial de estabilização no solo. No entanto, cabe ressaltar que, além da relação C/N, diversos outros aspectos como tamanho das partículas dos resíduos e seus teores de lignina, polifenóis, relações lignina/N e lignina



+ N/polifenóis; presença de elementos tóxicos, bem como as condições do solo e o tipo de microrganismo presente no solo, também terá influência na decomposição dos resíduos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Em relação a proteção feita pelo solo, existem diversas teorias que buscam elucidar a ligação da MOS com os minerais no solo. Stevenson (1985) defende uma visão tradicional de interações organominerais no qual a matéria orgânica faz associações de grandes polímeros multifuncionais com superfícies minerais através de uma ampla gama de mecanismos de ligação. Entretanto, Wershaw e Pinckney (1980) postulam que a decomposição dos materiais orgânicos é muitas vezes induzida a fazer ligações com as superfícies de argila por aminoácidos ou proteínas, com base na observação de que ocorre liberação do grupo amina do complexo organomineral e são liberadas substâncias contendo ácido nitroso. Mais recentemente, Kleber et al. (2007) propôs que há correlação de fases minerais pouco cristalinas com quantidades de MOS resistente à oxidação.

Desta forma, a retenção de matéria orgânica no solo também é dependente da textura do solo. Solos de textura mais argilosa sofrem menor perda de matéria orgânica do que solos de textura mais grosseira, como é o caso dos solos arenosos (LAL, 2008). A quantidade de argila desempenha um papel importante na decomposição da MOS, através dos mecanismos de proteção proporcionando menores taxas de decomposição em solos argilosos em comparação a solos arenosos (BAYER et al., 2011). Segundo Conceição (2006), a proteção coloidal da MOS é o mecanismo mais importante de proteção da MO em solo argiloso, sendo responsável por quase 80% da retenção de C no solo.

Conforme abordado anteriormente, a proteção física da MOS no interior de agregados é um importante fator para a manutenção no solo, no qual parte da MOS se torna protegida fisicamente e a sua decomposição é dificultada pelo acesso limitado dos microrganismos e suas enzimas e pela menor difusão de O<sub>2</sub> e água (CHRISTENSEN, 1996). Entretanto, em solos com cultivo de arroz irrigado, os mecanismos de manutenção e decomposição da MOS são modificados. O alagamento transforma o solo em um ambiente anaeróbico, alterando características físicas, químicas, biológicas e eletroquímicas da solução do solo (SILVA et al., 2011; REDIN et al. 2014). Com a inundação, ocorre rápido consumo de oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) e uma transição da população microbiana aeróbia para anaeróbia (SOUZA, 2013). Com isso, a decomposição da MOS é mais lenta neste ambiente, devido a uma

parcela menor e menos eficiente de bactérias que realizam tal função, havendo uma menor decomposição e, conseqüentemente, uma menor liberação de nutrientes no solo (SILVA et al., 2011).

Em adição ao exposto, o trabalho de Nascimento et al. (2009) verificou que a proteção física da matéria orgânica no interior de agregados foi pouco expressiva na estabilização da MO em um ambiente de drenagem restrita. Isso se deve, provavelmente, à efêmera agregação e, ou, à facilidade de acesso dos microrganismos e de suas enzimas à decomposição da matéria orgânica nos intra-agregados devido à saturação por água, sendo este mecanismo de proteção menos eficiente nestes solos.

## **2.2 – Dinâmica do N no solo**

A fonte primária de N do solo é a MOS, no qual o nutriente se encontra essencialmente em formas orgânicas, enquanto outra pequena parte encontra-se nas formas minerais de amônio, nitrato e nitrito. Em sua forma orgânica, o N do solo se encontra na composição de proteínas, quitinas, peptídeos, bases nitrogenadas, quitobioses, açúcares aminados, nucleotídeos entre outros; entretanto, apenas uma parte deste N é mineralizável no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Camargo et al. (2008) indicam que cerca de 2 a 5 % apenas do reservatório de N-orgânico do solo é mineralizado a cada ano. A mineralização de N é influenciada pelos fatores que controlam o crescimento e atividade microbiana no solo, como pela qualidade ou taxa de aplicação de resíduos. A imobilização é o contrário da mineralização e depende basicamente dos mesmos fatores (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O N orgânico do solo está distribuído em diferentes frações da MOS sob diferentes forças de ligações químicas, podendo estar em frações rapidamente disponíveis às plantas ou em frações mais recalcitrantes, cuja liberação é bastante variável (algumas semanas até 1000 anos de resistência no solo) (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Tendo em vista que a recomendação do N está baseada nos teores de MOS (CQFS, 2016), existe a necessidade de se compreender a dinâmica do N em função da decomposição de diferentes resíduos culturais adicionados nestes solos.

A qualidade química do resíduo é um fator importante a ser levado em consideração para formação e acúmulo de MOS. Aita e Giacomini (2003), ao realizarem um experimento a campo utilizando resíduos de coberturas vegetais de

inverno, obtiveram maiores teores de N liberado ao solo quando adicionaram resíduos vegetais de menor relação C/N e menor quantidade de N nos resíduos vegetais remanescentes, demonstrando a importância da qualidade do resíduo para a dinâmica no N no solo.

Em consonância com outros autores e enfatizando a diferença em solos com granulometrias distintas, Luce et al. (2014) encontraram resultados significativos em quantidades superiores de N mineral para tratamento com resíduos culturais de leguminosa do que para gramínea em solo de textura mais argilosa do que em solo mais arenoso, denotando a importância da proteção que os argilominerais tem no solo.

Em áreas de terras baixas também existe a influência do alagamento do solo, o qual acarreta mudanças na dinâmica do N. Quando o solo é alagado ocorre o processo de redução provocado pelos microrganismos anaeróbios, que utilizam outros compostos para oxidar a matéria orgânica, dentre eles o N, provocando uma série de alterações químicas no mesmo (GOMES et al., 2006). Dentre estas reações, pode ocorrer perdas do N proveniente dos resíduos culturais, resultando em menor adição do elemento ao solo. Com isto, de acordo com a qualidade química dos resíduos e de texturas distintas de solos, podem haver maiores ou menores perdas do N. Estudos relacionando o N com qualidade de resíduo em diferentes solos de terras baixas são escassos.

### **2.3 – Estudos sobre fracionamento da MOS**

Existe ampla quantidade de estudos sobre a MOS os quais buscam compreender sua dinâmica no solo e, conseqüentemente, seus reflexos sobre a disponibilidade de N. Muitos destes trabalhos buscam segregar a MOS em compartimentos, para melhor compreendê-la, com destaque para os fracionamentos químico e o físico (CONCEIÇÃO, 2008; ROSCOE e MACHADO, 2002).

O fracionamento químico da MOS se baseia na solubilidade das substâncias orgânicas em soluções ácidas e alcalinas com a obtenção dos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e a humina (CONCEIÇÃO, 2008). Entretanto, esta forma de fracionamento considera as propriedades químicas das substâncias orgânicas e muitos autores apontam uma baixa relação entre o que é obtido em laboratório pelo fracionamento químico com o que de fato ocorre na MOS. Assim, outros procedimentos que

consideram a interação entre as substâncias orgânicas e a fração mineral do solo são propostos na forma de métodos físicos de fracionamento (CHRISTENSEN, 1996; SCHNITZER e KHAN, 1978).

Os métodos físicos para o fracionamento de solo em estudos da MOS (ROSCOE e MACHADO, 2002) são mais relacionados com a função e estrutura da MOS (CHRISTENSEN et al., 1996). O fracionamento físico pode ser: densimétrico, granulométrico (CONCEIÇÃO, 2008; ROSCOE e MACHADO, 2002; BALESANT et al., 2000) ou adaptação dos dois, pois não existe uma metodologia padrão para sua segregação, o qual tem a finalidade de isolar frações funcionais da MOS bem como sua associação aos complexos organominerais do solo.

Entretanto, estes estudos citados no parágrafo anterior, na sua maioria, têm a finalidade de compreender a dinâmica da MOS atrelado ao carbono do solo (CHAVES, 2017; DIOCHON et al., 2016; CONCEIÇÃO, 2008; CHRISTENSEN et al., 1985). O fracionamento da MOS também pode ser utilizado como estratégia para entender a dinâmica do N no solo. O procedimento usado por Balesdent et al. (1991) com adaptações de Diochon et al. (2016) permite isolar três frações: > 250  $\mu\text{m}$ , denominada de areia grossa (FAG), com maior tamanho de partícula. Esta primeira fração é constituída principalmente por resíduos orgânicos em estágios iniciais de decomposição, sendo possível a identificação de fragmentos de material vegetal (CHRISTENSEN, 2001); a fração intermediária 53 – 250  $\mu\text{m}$ , denominada de areia fina (FAF) referente ao material vegetal que já está em intermediário estado de decomposição; e a terceira consiste em materiais com <53  $\mu\text{m}$ , chamada de fração silte+argila (FSA), na qual contempla a fração de menor tamanho de partícula no fracionamento, consiste na fração mais estável da MOS que contém materiais mais humificados sendo constituintes fundamentais dos complexos organominerais primários no solo, ou seja, associado às partículas de silte e argila (CHRISTENSEN, 1996), entretanto devido a metodologia ser por meio aquoso, nesta última fração também estaria o N mineral, mas não necessariamente estaria estável no solo.

Considerando todas as transformações que podem ocorrer com o N, sua avaliação a partir da decomposição de resíduos orgânicos é uma tarefa complexa. Seria muito difícil determinar se o N presente nas frações físicas da MOS consiste realmente no N orgânico adicionado pelos restos culturais. Com isso, uma possibilidade consiste em avaliar por meio do isótopo de  $^{15}\text{N}$ .

## 2.4 – Isótopos de $^{15}\text{N}$

Isótopos são átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número atômico, ou seja, o mesmo número de prótons ( $Z$ ), mas que contém diferentes números de massas atômicas ( $A$ ). Como tal, a diferença nas massas atômicas resulta de diferenças no número de nêutrons nos núcleos e não no número de prótons (RUSSEL, 1994). O N é um elemento que possui um isótopo estável (0,366% de átomos de  $^{15}\text{N}$  em relação ao total de N, que em sua maioria é composto do isótopo  $^{14}\text{N}$ ).

O  $^{15}\text{N}$  tem tido ampla aplicação na pesquisa científica por ser estável e também por não oferecer riscos no manuseio (ALVES et al., 2005). O enriquecimento das fontes de N se faz com a adição de fertilizantes enriquecidos com  $^{15}\text{N}$ , normalmente como sulfato de amônio  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (ALVES et al., 2005). Com o uso da técnica isotópica é possível acompanhar o  $^{15}\text{N}$  da planta, em diferentes compartimentos do sistema, como por exemplo, o N-mineral, o N acumulado na cultura subsequente e estimar as perdas do nutriente (AMBROSANO et al., 1997).

Uma outra possibilidade para o uso de  $^{15}\text{N}$  como traçador é o emprego da marcação direta de resíduos orgânicos. Nesse caso, o resíduo de interesse deve ser marcado pela adição de um fertilizante marcado com  $^{15}\text{N}$  durante o crescimento da planta (ALVES et al., 2005). O  $^{15}\text{N}$  adicionado com os resíduos culturais passa gradualmente para o solo durante a sua decomposição na forma de compostos orgânicos os quais poderão ser posteriormente mineralizados e quantificados, bem como foi feito no presente trabalho.

## **Hipóteses**

Os resíduos de soja devem apresentar maior quantidade de transferência de N para o solo maior do que sorgo e arroz. A maior quantidade de N proveniente dos resíduos culturais deverá ser obtida nas frações físicas da MOS de menor tamanho de partícula pela associação aos argilominerais em condição de solo drenado e por esta fração reter também o N mineral liberado. A partir do momento em que o solo se tornar anaeróbio, ocorrerão perdas significativas de N mineral principalmente para o resíduo que sofrer maior mineralização inicial (soja), que estará retido na fração de menor tamanho de partícula juntamente com o N orgânico estabilizado nesta fração.

## **Objetivo geral**

Compreender a contribuição de resíduos culturais de arroz, soja e sorgo na distribuição do N nas diferentes frações físicas granulométricas da matéria orgânica em dois solos de terras baixas com diferentes texturas.

## **Objetivos específicos**

Quantificar o  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos das culturas: arroz, soja e sorgo em dois solos de terras baixas com textura distinta.

Determinar o  $^{15}\text{N}$  do solo proveniente das culturas em cada fração após fracionamento físico da matéria orgânica do solo pelo método granulométrico, em dois solos de terras baixas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu do fracionamento físico granulométrico da MOS em amostras provenientes de uma incubação com a adição de resíduos culturais de arroz, soja e sorgo em dois solos de terras baixas. O experimento de incubação foi realizado por Neto (2016) e Dossin (2016) e a seguir são descritos os solos utilizados, os resíduos culturais e os detalhes da incubação que originou as amostras para este estudo.

#### 3.1 Solos

Foram utilizados dois solos de áreas cultivadas com arroz irrigado: Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico (EMBRAPA, 2013), coletado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Santa Maria – RS; e Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (EMBRAPA, 2013), coletado em uma propriedade rural no município de Faxinal do Soturno – RS, ambos na camada de 0-20 cm de profundidade. Os solos foram destorroados, peneirados em malha de 4mm, homogeneizados e os resíduos culturais remanescentes visíveis a olho nu foram removidos. Posteriormente, os solos foram secos a temperatura ambiente por sete dias, peneirados em malha 2 mm e armazenados até o início da incubação.

As características físicas e químicas dos solos utilizados se encontram na Tabela 1. Embora apresentem a mesma classe textural, os solos se diferem quanto a distribuição do tamanho de partículas, sendo que o Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico apresenta 1,8 vezes mais argila+silte do que o Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico.

#### 3.2 Resíduos vegetais e enriquecimento em $^{15}\text{N}$

Foram utilizados resíduos culturais oriundos de plantas de arroz (*Oryza sativa* L. cv. Puitá), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. cv. DOW50A10) e soja (*Glycine max* L. cv. N55959 19 IPRO) cultivadas em casa de vegetação com e sem enriquecimento de  $^{15}\text{N}$ . As plantas das três espécies foram cultivadas em vasos de 8 L contendo 5 kg do solo Gleissolo Háptico Eutrófico típico (EMBRAPA, 2013). A marcação das plantas

enriquecidas com  $^{15}\text{N}$  foi realizada através da aplicação de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (10% de átomos de  $^{15}\text{N}$ ). A quantidade total de N utilizada em cada vaso foi equivalente a  $190 \text{ kg ha}^{-1}$ , totalizando  $4,12 \text{ g vaso}^{-1}$ , a qual foi dividida em quatro aplicações durante o cultivo das três espécies. Nas plantas não enriquecidas foi utilizada a mesma quantidade de N e épocas de aplicação, cuja fonte de N também foi o  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  sem átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso.

Tabela 1 - Características físicas e químicas dos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e um Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico (PlaGI) utilizados no experimento.

Solo	Textura	Argila	Silte	Areia	C total	N total	N mineral	pH <sub>H2O</sub>
----- g kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>		
	Franco							
PlaAr	arenosa	99	155	746	9,4	0,9	6	4,2
	Franco							
PlaGI	arenosa	173	287	540	9,7	0,9	14	4,5

Extraído de NETO (2016)

A coleta da parte aérea e das raízes foi realizada quando as culturas se encontravam no estágio de maturação fisiológica. As plantas foram colhidas e separadas em parte aérea (folhas e talos/colmos) e raízes, uma alíquota foi separada, seca em estufa de ar forçado a uma temperatura de  $45^\circ\text{C}$ , moída em moinho tipo Willey para posterior determinação da composição química dos resíduos culturais. A fração solúvel (FS) e os conteúdos de hemicelulose (Hem), celulose (Cel) e lignina (Lig) dos resíduos foram determinadas pelo método adaptado de Van Soest (1963), conforme descrito por Redin et al. (2014). Para a incubação, os materiais vegetais foram picados manualmente em pedaços de aproximadamente um centímetro e armazenados até a incubação.

Uma subamostra dos resíduos culturais foi seca a  $65^\circ\text{C}$  para determinação da matéria seca (MS) e uma alíquota foi finamente moída para determinação dos teores de C, N e abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ . O C e o N total foram determinados em analisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália). A abundância



isotópica de  $^{15}\text{N}$  foi determinada em um espectrômetro de massas de razão isotópica (DELTA V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemanha) acoplado a um analisador elementar (Flash 2000 IRMS, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemanha). Na Tabela 2 são apresentadas as características dos materiais vegetais.

Tabela 2 - Características química da parte aérea e das raízes de arroz, sorgo e soja.

Resíduos	C Total	N Total	FS	CEL	HEM	LIG	C/N	$^{15}\text{N}$
..... g kg <sup>-1</sup> .....								%átomos
.....Parte Aérea.....								
Arroz	376	9,1	282	369	309	36	41,3	5,34
Sorgo	412	7,3	265	351	336	47	56,4	4,36
Soja	420	13,1	281	431	155	135	32,0	3,34
.....Raízes.....								
Arroz	444	10,8	258	356	305	56	41,1	0,10
Sorgo	403	6,1	244	313	359	74	66,1	0,09
Soja	408	18,9	246	346	237	157	21,6	0,02

FS: fração solúvel; CEL: celulose; HEM: hemicelulose; LIG: lignina.  
Extraído de NETO (2016)

### 3.3 Incubação

As unidades experimentais foram montadas em tubos de PVC com 50 mm de diâmetro e 140 mm de altura. De forma individual, cada cilindro foi envolvido com tecido do tipo “voal” na extremidade inferior afim de permitir percolação de água. Em cada cilindro foram colocados 235,6 g de cada solo, com uma densidade média de 1,15 g cm<sup>3</sup>. A quantidade de resíduos utilizada em todos os tratamentos foi equivalente a 7 Mg ha<sup>-1</sup> de parte aérea (talos+folhas) e a 2 Mg ha<sup>-1</sup> de raízes, totalizando 1,38g de parte aérea e 0,39g de raízes. A proporção de folhas e talos utilizada foi determinada no momento da colheita (79% e 21% na cultura do arroz, 23% e 77% no sorgo e 58% e 42% na soja, respectivamente). Até os 180 dias o solo foi umedecido em intervalos de aproximadamente duas semanas com a adição de 50 mL de água, simulando precipitações equivalentes a 25 mm. As coletas de solo foram realizadas aos 30, 180

e 360 dias após a instalação do experimento, sendo o solo mantido sob regime de drenagem até os 180 dias. Após este período, as bases das unidades experimentais foram lacradas com uma tampa de PVC e o solo permaneceu alagado continuamente, mantendo-se uma lâmina de cerca de 2 cm até os 360 dias. Em cada data de avaliação, foram removidas as raízes do interior do solo e os resíduos da superfície do solo que eram visíveis, esse material foi limpo, seco e levado para análise de N total e  $^{15}\text{N}$  isotópico,

### 3.4 Tratamentos

Os tratamentos utilizados estão apresentados na Tabela 3. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições.

Tabela 3- Tratamentos utilizados no experimento de incubação

Tratamentos:	Descrição:
T1	Planossolo Háplico Eutrófico gleissólico (PlaGI)
T2	Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr)
T3	Arroz $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaGI
T4	Sorgo $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaGI
T5	Soja $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaGI
T6	Arroz $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaAr
T7	Sorgo $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaAr
T8	Soja $^{15}\text{N}$ (parte aérea e raízes) + PlaAr

Extraído de Neto (2016).

### 3.5 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica e análise de $^{15}\text{N}$

As amostras de solo coletadas da incubação descrita anteriormente foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. O fracionamento físico granulométrico adotado neste estudo foi descrito por Balesdent et al. (1991) e efetuado com adaptações de acordo com Diochon et al. (2016).

Para isso, 10 g de solo foram adicionados em frasco de vidro do tipo snap cap de 150 ml com 10 pérolas de vidro de 3 mm de diâmetro e 50 ml de água destilada. As amostras de solo foram agitadas mecanicamente em mesa agitadora horizontal

(120 oscilações por minuto) por um período de 16 horas com a finalidade de destruir os agregados e dispersar os minerais de silte e argila. Após a agitação, o solo foi passado em um conjunto de peneiras de malha 250 e 53  $\mu\text{m}$ , com a finalidade de isolar a matéria orgânica associada aos minerais de diferentes granulometrias. As frações isoladas em cada conjunto de peneiras e o material que foi transpassado por estas foram acondicionadas em recipientes previamente pesados para secagem em estufa a 60°C. Em seguida, as amostras foram pesadas, homogeneizadas e moídas em gral para a determinação dos teores de N total e abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$  conforme o descrito no item 3.2.

### 3.6 $^{15}\text{N}$ remanescente nos resíduos culturais e no solo

Em cada data de avaliação, as raízes e a parte aérea dos resíduos culturais foram removidos do solo, secos em estufa a 65°C e pesados para a determinação da massa remanescente. Na sequência, os resíduos foram moídos finamente em gral para posterior determinação dos teores de N total e abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ . Em seguida, o solo foi homogeneizado, seco ao ar e moído em gral.

A quantidade de  $^{15}\text{N}$  remanescente se refere a quantidade em porcentagem de  $^{15}\text{N}$  nos resíduos culturais (parte aérea e raízes) que ainda restavam nos tecidos vegetais ao decorrer do período de incubação. Até a segunda data do experimento (180 dias) estes dados foram relatados por Neto (2016), entretanto com outro enfoque, sem o fracionamento da MOS. As amostras foram novamente analisadas e serão apresentadas independentemente do trabalho já realizado. A determinação dos teores de N total e da abundância isotópica nos resíduos remanescentes e no solo foram realizadas de acordo com o descrito no item 3.2.

### 3.7 Cálculos

#### a) $^{15}\text{N}$ adicionado e remanescente nos resíduos culturais

A quantidade de  $^{15}\text{N}$  adicionada ao solo com os resíduos culturais foi calculada através da seguinte equação:

$$^{15}\text{Nad} = \% \text{Nad} \times \text{MS} \times ^{15}\text{Ns}$$

Onde:

$^{15}\text{Nad}$  = é a quantidade de  $^{15}\text{N}$  adicionado com os resíduos culturais ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

$\%N_{ad}$  = é a quantidade de N adicionado com os resíduos culturais ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

MS = massa seca do solo;

$^{15}N_s$  = é o excesso isotópico (átomo%) do solo.

A quantificação do  $^{15}N$  remanescente nos resíduos foi realizada aos 0, 30, 180 e 360 dias após a instalação da incubação. Os cálculos do  $^{15}N$  remanescente nos resíduos foram obtidos utilizando as seguintes equações:

$$QN = QMS_{rn} \times \%N$$

$$^{15}N_{ad} = QN (^{15}N_p - ^{15}N_{abundância\ natural})$$

Onde:

QN = quantidade de N adicionada com os resíduos (mg por vaso);

QMS<sub>rn</sub> = refere-se à quantidade de matéria seca (MS) dos resíduos culturais remanescentes (mg por vaso);

$\%N$  = é a concentração de N na MS dos resíduos remanescentes;

$^{15}N_p$  = é a abundância isotópica na amostra;

$^{15}N_{abundância\ natural}$  = O  $^{14}N$  na atmosfera tem uma abundância natural de 99,635% enquanto o  $^{15}N$  conta com 0,365%. Com isso, o padrão para o cálculo de valores isotópicos é a razão  $^{15}N:^{14}N$  de 0,0036765;

$^{15}N_{ad}$  = é a quantidade de  $^{15}N$  adicionado com os resíduos culturais (mg por vaso).

Para o início da incubação (Tempo 0) foi considerado 100% de  $^{15}N$  remanescente nos resíduos. Para as demais datas utilizando o tempo 1, 2 ou 3 (30, 180 ou 360 dias, respectivamente):

$$^{15}N_{rem\%} = (^{15}N_{rem\ tempo\ 1,\ 2\ ou\ 3} / ^{15}N_{ad}) \times 100$$

Onde:

$^{15}N_{rem\%}$  = representam a porcentagem de  $^{15}N$  remanescente nos resíduos;

$^{15}N_{ad}$  = é a quantidade de  $^{15}N$  adicionado com os resíduos culturais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

#### b) $^{15}N$ no solo e nas frações

As avaliações referentes aos teores de N total e a abundância isotópica de  $^{15}N$  foram feitas utilizando uma alíquota de solo proveniente de cada data de coleta da incubação aos 30, 180 e 360 dias após a instalação do experimento.

Assim, foi possível calcular os átomos de  $^{15}N$  em excesso na amostra:

$$^{15}N_{excesso\ (átomo\%)} = ^{15}N_{amostra\ (átomo\%)} - ^{15}N_{abundância\ natural\ (átomo\%)}$$

Onde:

$^{15}N_{excesso}$  = é o excesso isotópico de  $^{15}N$  da amostra;

$^{15}\text{N}$  amostra= é a abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$  da amostra em atom%;

$^{15}\text{N}$  abundância natural= é a abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$  em atom% do padrão do ar.

c)  $^{15}\text{N}$  adicionado nas frações

A porcentagem de  $^{15}\text{N}$  adicionada em cada fração foi obtida através da seguinte equação:

$$\%^{15}\text{N fr} = (\text{Nad solo} / \text{Nad resíduos}) \times 100$$

Onde:

$\%^{15}\text{N fr}$  = é a porcentagem de  $^{15}\text{N}$  calculada para cada fração;

$\text{Nad resíduos}$  = é a quantidade de  $^{15}\text{N}$  adicionado com os resíduos culturais ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

$\text{Nad solo}$  = é a quantidade de  $^{15}\text{N}$  que está no solo na fração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

d) Recuperação do  $^{15}\text{N}$

O cálculo da recuperação do  $^{15}\text{N}$  no solo foi feito da seguinte forma:

$$\text{Nrecup} = (\text{Nsf} \% \times 100) / \text{Nsolo}$$

O cálculo da recuperação do  $^{15}\text{N}$  total é feito da seguinte forma:

$$\text{Nrecup total} = \text{Nsolo} + \text{Nrem}$$

Onde:

$\text{Nsf}$  = porcentagem de  $^{15}\text{N}$  com a soma do elemento nas três frações;

$\text{Nsolo}$  = porcentagem de  $^{15}\text{N}$  no solo sem passar pelo processo de fracionamento;

$\text{Nrem}$  = porcentagem de  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos.

### 1.1.1 Análise estatística

Os resultados de  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos e  $^{15}\text{N}$  transferido para o solo foram submetidos a análise de variância considerando os tratamentos em arranjo fatorial 3 x 2 para resíduos culturais (RC) e tipo de solo (S), respectivamente. Os resultados de  $^{15}\text{N}$  distribuído nas frações granulométricas foram submetidos a análise de variância considerando os tratamentos em arranjo fatorial 3 x 2 x 3 para resíduos culturais (RC), tipo de solo (S) e as frações granulométricas (F), respectivamente. Quando a variância foi significativa, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Todos os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SISVAR.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos culturais

A quantidade de <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos culturais de soja, sorgo e arroz decresceu ao longo de todo o período de incubação (Tabela 5). A dinâmica do <sup>15</sup>N remanescente foi bastante semelhante entre os dois solos, sendo que, no primeiro período de avaliação (30 dias) ocorreu um rápido declínio na quantidade de <sup>15</sup>N. Ao longo de todo o período de incubação, o <sup>15</sup>N remanescente teve influência apenas do resíduo cultural, sem efeito do tipo de solo (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise de variância para os fatores resíduos culturais (RC) e Solos (S) para o <sup>15</sup>N remanescente e o <sup>15</sup>N adicionado ao solo sem passar pelo fracionamento.

	RC <sup>a</sup>	S <sup>b</sup>	S x RC	CV <sup>c</sup>
<b>30 Dias</b>				
<sup>15</sup> N remanescente	*	ns	ns	12.69
<sup>15</sup> N no solo	*	ns	ns	41.8
<b>180 Dias</b>				
<sup>15</sup> N remanescente	*	ns	ns	2.42
<sup>15</sup> N no solo	*	*	ns	20.55
<b>360 Dias</b>				
<sup>15</sup> N remanescente	*	ns	ns	28.37
<sup>15</sup> N no solo	*	*	ns	20.04

aArroz, sorgo e soja. bPlanossolo Arênico e Planossolo Gleissólico. cCoeficiente de variação (%). \* P < 0,05. ns = Não significativo

Tabela 5 -  $^{15}\text{N}$  remanescente na palha do arroz, sorgo e soja nos solos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico e Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico durante 360 dias de incubação.

Solo	Arroz	Sorgo	Soja
..... % do $^{15}\text{N}$ adicionado .....			
.....30 dias.....			
Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico	77,0	46,6	54,6
Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico	72,6	51,6	45,6
Média	74,8a	49,1b	50,1b
.....180 dias.....			
Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico	52,1	42,5	26,5
Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico	50,3	53,6	25,5
Média	51,2a	48,0a	25,5b
.....360 dias.....			
Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico	3,3	26,3	6,7
Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico	4,0	22,1	9,1
Média	3,6b	24,2a	7,9b

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma linha comparam as culturas na média dos solos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Aos 30 dias após a incubação, a quantidade de  $^{15}\text{N}$  remanescente foi maior nos resíduos de arroz do que de soja e de sorgo. Para os resíduos de soja e de sorgo praticamente metade do  $^{15}\text{N}$  já não se encontrava mais nos tecidos vegetais (Tabela 5). Esse resultado está relacionado a diferença na composição química (qualidade) dos resíduos culturais. Segundo Lian et al. (2016), a composição química dos resíduos culturais (N, lignina, hemicelulose) é um importante fator que influencia o processo microbiano e as taxas de decomposição. Esses compostos orgânicos sofrem ações diferenciadas no solo: alguns como celulose e hemicelulose são degradados rapidamente, diminuindo-se suas porcentagens em relação ao material depositado originalmente, enquanto que a lignina aumenta pela sua recalcitrância e as proteínas se acumulam em vista da formação de tecidos microbianos (biomassa) ricos nessas substâncias (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Coppens (2006) relaciona a rápida liberação de N após a adição da palha ao solo com a liberação de substâncias solúveis e facilmente degradáveis contendo N nas formas de aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas. Segundo Redin et al. (2014), os resíduos de soja, principalmente nas folhas

da leguminosa, apresentam maior conteúdo de fração solúvel, o que deve ter favorecido a atividade microbiana decompositora.

Aos 180 dias de incubação, menores valores de  $^{15}\text{N}$  remanescentes foram quantificados para soja, sendo, na média dos dois solos, aproximadamente duas vezes menor do que àquela observada nos resíduos do arroz e do sorgo (Tabela 5). A menor quantidade de  $^{15}\text{N}$  remanescente para os resíduos culturais de soja também pode estar relacionado aos maiores conteúdos de N presentes nos resíduos desta cultura, que facilitam o ataque microbiano inicial (LIAN et al., 2016). O trabalho de Aita e Giacomini (2003), utilizando coberturas de inverno, quantificaram maior velocidade de decomposição no período inicial do experimento para plantas com baixa relação C/N, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Aos 360 dias de incubação, após o solo ter permanecido por 180 dias sob alagamento, as menores quantidades de N remanescentes foram observadas nos resíduos do arroz e da soja (Tabela 5). Uma provável explicação para o resíduo de arroz ter menor quantidade de  $^{15}\text{N}$  ao final do período de incubação pode estar relacionada a característica morfológica da planta, que tem menor quantidade de talo comparado ao sorgo e a soja. Outra possível explicação estaria relacionada às características da população microbiana do solo, tendo em vista que foram utilizados solos com histórico de cultivos de arroz e a população microbiana poderia estar adaptada a decompor resíduos culturais de arroz e, por isso, menores quantidades do elemento permaneceram no tecido cultural, embora não tenha sido encontrado dados na literatura que possam embasar esta possibilidade.

As maiores quantidades de  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos de sorgo, possivelmente estão relacionadas a predominância nos resíduos dessa gramínea, principalmente nos talos, de frações mais recalcitrantes com altos teores de lignina e complexos insolúveis que permaneceram no resíduo, conforme Redin et al. (2014) identificou em seu trabalho, dificultando sua decomposição. O fato de o resíduo cultural do sorgo ter valores de  $^{15}\text{N}$  remanescente superiores na última data de amostragem, em ambos os solos, pode estar ligado ao esgotamento dos compostos mais lábeis, nos quais resulta em uma diminuição da velocidade da decomposição. Isso porque predominam frações mais recalcitrantes dos resíduos culturais com altos teores de lignina e complexos insolúveis que permaneceram no resíduo (LU et al., 2003). Ainda, Giacomini et al. (2003) citam que a liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de decomposição depende da localização e da forma em



que esse nutriente se encontra no tecido vegetal, podendo explicar diferenças encontradas entre os resíduos quanto ao  $^{15}\text{N}$  remanescente no final da incubação tendo em vista que os resíduos da parte aérea foram depositados na superfície do solo.

Neste contexto, não houve efeito do tipo de solo sobre o  $^{15}\text{N}$  remanescente, embora LUCE et al. (2014) tenham encontrado efeitos de dois solos com texturas distintas, e os resíduos sofreram maior mineralização no solo de textura mais arenosa. Para Carvalho et al. (2008), o efeito reduzido do tipo de solo sobre a liberação de N dos resíduos pode ser devido justamente ao fato que, neste trabalho, os resíduos foram depositados na superfície do solo, reduzindo o contato entre resíduo e solo e, conseqüentemente, a influência do tipo de solo na decomposição dos resíduos.

#### 4.2 $^{15}\text{N}$ total adicionado ao solo com os resíduos culturais

A quantidade de  $^{15}\text{N}$  transferida ao solo a partir dos resíduos não foi influenciada em nenhuma data de avaliação (30, 180 e 360 dias) pela interação entre solos e resíduos culturais. Houve efeito isolado dos resíduos culturais em todas as datas de avaliação e do tipo de solo aos 180 e 360 dias (Tabela 4). Ao decorrer do período de incubação, houve acréscimo de  $^{15}\text{N}$  ao solo para todos os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6 - Percentagem de  $^{15}\text{N}$  total adicionado aos dois solos oriundos de cada resíduo cultural aos 30, 180 e 360 dias de incubação.

		30 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
		..... % do $^{15}\text{N}$ adicionado .....		
Resíduos	Arroz	7,6 b	20,4 b	45,9 a
	Sorgo	13,6 ab	18,9 b	40,3 ab
	Soja	18,2 a	31,0 a	32,5 b
Solos	PlaAr	10,5	19,2 B	33,5 B
	PlaGI	15,7	27,7 A	48,8 A

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna compraram os diferentes resíduos culturais na mesma data de avaliação na média dos solos enquanto médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna compararam os solos na média dos resíduos, ambas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para os dois primeiros períodos de incubação, o tratamento com resíduos culturais de soja apresentou maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  adicionado ao solo (Tabela 6).

Esse comportamento era esperado devido a hipótese embasada no trabalho de Luce et al. (2014), no qual o autor utiliza dois resíduos culturais marcados isotopicamente com qualidades químicas distintas (trigo e feijão-fava) e propõe que o resíduo cultural de melhor qualidade química, ou seja, menor relação C/N, teria maior fluxo dos elementos de resíduo para o solo. Esta condição foi observada no presente estudo aos 180 dias de incubação para resíduos de soja, corroborando com a informação de que a qualidade química é um fator importante sobre a dinâmica de decomposição e liberação do N ao solo.

Os materiais orgânicos contendo N, ao serem depositados no solo, podem ser decompostos pelos microrganismos e/ou podem ser estabilizados na matriz do solo, fazendo diversas interações com os minerais do solo no qual irão fazer parte da matéria orgânica do solo (KLEBER et al., 2007). Com o passar dos dias de incubação houve avanço da decomposição dos resíduos culturais e, conseqüentemente, a adição de N no solo aumentou, tanto na forma de N orgânico como N mineral. A transferência de N para o solo pode ocorrer por meio de diversas maneiras: na forma de compostos orgânicos; na forma mineral liberado diretamente dos resíduos culturais; podendo estar também contido na biomassa microbiana e seus subprodutos, os quais não foram avaliados especificadamente neste trabalho.

Entre os 180 e 360 dias de incubação ocorreu uma mudança no ambiente de decomposição com o alagamento do solo. Após este ciclo de decomposição anaeróbica, os resíduos do arroz apresentam quantidade significativamente superior de  $^{15}\text{N}$  adicionado ao solo comparado com a soja, entretanto sem diferença significativa com o sorgo (Tabela 6). Uma explicação para esse comportamento pode ser devido ao fato que, na ausência de oxigênio, as bactérias utilizam compostos inorgânicos oxidados do N em lugar do  $\text{O}_2$  como aceptor final de elétrons (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). É possível que, no tratamento com soja, cuja decomposição foi mais intensa nos primeiros 180 dias de incubação, parte do N dos resíduos tenha sido convertido a nitrato e, portanto, perdido por desnitrificação durante o período de alagamento, mesmo que o resíduo tenha continuado a ser decomposto anaerobicamente neste período. Também é possível observar que, no tratamento com resíduos de arroz, que tinha sido menos decomposto nos primeiros 180 dias, seguiu decompondo e liberando N durante o alagamento; porém, neste ciclo anaeróbico, o N mineralizado pode ter se mantido na forma de amônio, sem que tenham ocorrido

perdas relevantes, o que pode explicar a maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  no solo em relação a soja ao final de um ano da incubação.

Mesmo com perdas de N no solo que estariam em forma mineral, foram observadas maiores quantidades de  $^{15}\text{N}$  adicionado ao solo aos 360 dias do que aos 180 dias, indicando que os resíduos culturais seguiram sofrendo processo de decomposição em anaerobiose e liberando mais  $^{15}\text{N}$  para o solo. Segundo Vahl (1999), as bactérias que realizam decomposição anaeróbia exigem menos N para suas funções vitais e acabam liberando este elemento no solo, podendo explicar os altos valores de  $^{15}\text{N}$  no solo mesmo com o alagamento.

Houve diferença estatística entre os dois solos apenas para as duas últimas datas de avaliação, no qual o solo com maior teor de argila apresentou maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  (Tabela 6), confirmando a hipótese do presente estudo. A menor quantidade de  $^{15}\text{N}$  no solo mais arenoso pode ser atribuída a perdas do elemento provenientes de menor proteção da MOS. É de grande complexidade a questão de quanto fortemente a MOS pode se ligar a superfícies minerais, como tais ligações eventualmente se quebram e como os mecanismos de fixação da MOS ao mineral as superfícies protegem seu tempo de residência nos solos (KLEBER et al., 2007). Segundo Christensen (2001), em solos temperados e cultivados, 50-75% da MOS está associada a organominerais do tamanho de partícula da argila e existem correlações positivas entre o conteúdo da argila com partículas de matéria orgânica nos solos.

Assim, infere-se nesse trabalho que o solo com menor quantidade de argila possui menor proteção física da MOS, sendo quantificado ao final da incubação menores quantidades de  $^{15}\text{N}$  adicionada ao solo, mesmo com maior decomposição e/ou mineralização para todos os resíduos culturais neste solo, além de perda do  $^{15}\text{N}$  com o período de alagamento. Esses dados vão ao encontro com os obtidos por Kleber et al., (2007) que o solo com maior quantidade de argila tem menor perda do elemento no solo devido as propriedades químicas de adsorção e retenção de elementos características da reatividade da argila.

#### 4.3 $^{15}\text{N}$ incorporado nas frações granulométricas do solo

De uma maneira geral, o  $^{15}\text{N}$  no solo aumentou ao decorrer da incubação para as frações granulométricas. Houve interação dupla entre solo e fração e entre resíduo

e fração para a primeira data de incubação e interação tripla entre solo, resíduo e fração para as duas últimas datas de incubação (Tabela 7).

Tabela 7- Resultados da análise de variância para os fatores resíduos culturais (RC), Solos (S), Fração (F) para o  $^{15}\text{N}$  adicionado ao solo fracionado.

	RC <sup>a</sup>	S <sup>b</sup>	F <sup>c</sup>	SxRC	SxF	RCxF	Sx RCxF	CV <sup>d</sup>
<b>30 Dias</b>								
<b><math>^{15}\text{N}</math> no solo</b>								
<b>(% do <math>^{15}\text{N}</math> adicionado)</b>	*	ns	*	ns	*	*	ns	37.92
<b>180 Dias</b>								
<b><math>^{15}\text{N}</math> no solo</b>								
<b>(% do <math>^{15}\text{N}</math> adicionado)</b>	*	ns	*	*	*	*	*	21.69
<b>360 Dias</b>								
<b><math>^{15}\text{N}</math> no solo</b>								
<b>(% do <math>^{15}\text{N}</math> adicionado)</b>	*	ns	*	ns	*	*	*	28.71

a=Arroz, sorgo e soja. b=Planossolo Arênico e Planossolo Gleissólico. c=Fração >250  $\mu\text{m}$ , fração 250-53  $\mu\text{m}$  e fração <54  $\mu\text{m}$ . d=Coeficiente de variação (%). \* P< 0,05. ns = Não significativa

A FAG demonstrou valores crescentes de  $^{15}\text{N}$  adicionado ao longo da incubação para os dois solos (Figura 2) (Figura 3). Maiores quantidades de FAG foram obtidas no solo mais arenoso. Os dados vão ao encontro dos dados obtidos por Luce et al. (2014), nos quais maiores quantidades da FAG foram quantificadas no solo mais arenoso do que no argiloso, onde ocorre maior ataque microbiano ao material orgânico e, conseqüentemente, maior quantidade desta fração é quantificada no solo mais arenoso nas fases iniciais da decomposição. A FAG é frequentemente associada à imobilização e não mineralização líquida de N (LUCE et al., 2014). Isso se deve porque a FAG inclui material particulado parcialmente decomposto de resíduos vegetais, juntamente com subprodutos microbianos que são grandes fontes de N para os microrganismos do solo (GREGORICH et al., 2006). Estas afirmações vão ao encontro de Roscoe e Machado (2002) no qual postularam que a FAG representa apenas uma pequena parte da massa total dos solos, mas pode armazenar parte significativa do C e N total do solo. De acordo com os autores citados, é possível

explicar o constante acréscimo de  $^{15}\text{N}$  com o passar do período de incubação, no qual o  $^{15}\text{N}$  passa do resíduo para estes materiais mais grosseiros da MOS.

Dentre as frações, a FAF foi a que se obteve menores proporções relativas de  $^{15}\text{N}$  para ambos os solos (Figura 4). Para a data de 180 dias não foram visualizadas quaisquer diferenças entre os solos nem entre os resíduos no mesmo solo; já para a data de 360 dias a diferença se evidencia para o resíduo de soja no solo mais arenoso no qual se obteve menores valores do que as demais culturas. Nesta fração e em ambos os solos, a contribuição de  $^{15}\text{N}$  está em constante aumento com o passar do período de incubação (Figura 4).

A FSA é a porção que mais se quantificou  $^{15}\text{N}$  para ambos os solos e maior proporção relativa dentre as frações (Figura 4). Dentre os solos, o PlaGI foi o que mais apresentou adição de  $^{15}\text{N}$ , estes dados estão conforme os encontrados pelos autores Luce et al. (2014) os quais postulam que o fracionamento da matéria orgânica permite elucidar o destino do N oriundo da decomposição dos resíduos vegetais e a associação do elemento com a matriz mineral do solo. Nesta fração, os resíduos de arroz tiveram maior porcentagem de contribuição e tiveram diferenças significativa para os dois solos (Tabela 9). Por isso, na data de avaliação aos 360 dias e em ambos os solos, o maior incremento de  $^{15}\text{N}$  foi quantificado para resíduo cultural de arroz (PlaAr = 29,6% e PlaGI = 44,5%).

Figura 2 -<sup>15</sup>N proveniente dos resíduos culturais de arroz, sorgo e soja nas frações da MOS: fração areia grossa (a), fração areia fina (b) e fração silte+argila (c) Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico ao longo dos 360 dias de incubação.

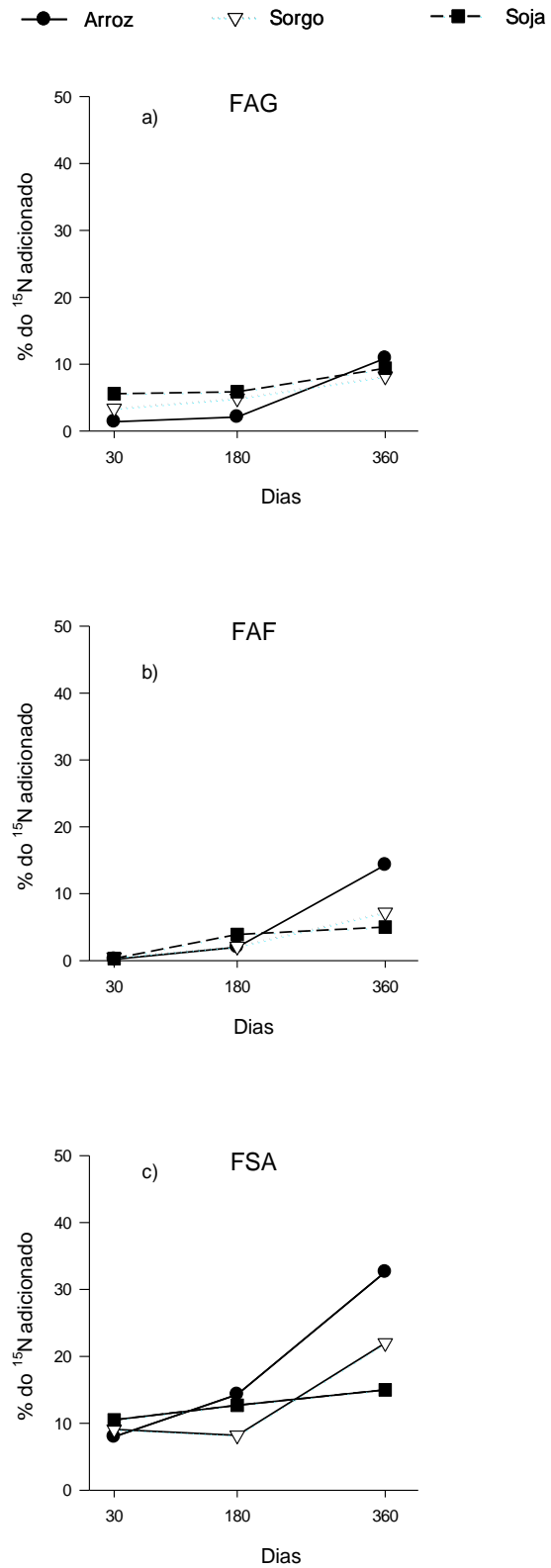


Figura 3-  $^{15}\text{N}$  proveniente dos resíduos culturais de arroz, sorgo e soja nas frações da MOS: fração areia grossa (a), fração areia fina (b) e fração silte+argila (c) Planossolo Háplico Eutrófico gleissólico ao longo dos 360 dias de incubação.

—●— Arroz      - - - ▽ - - - Sorgo      - - ■ - - Soja

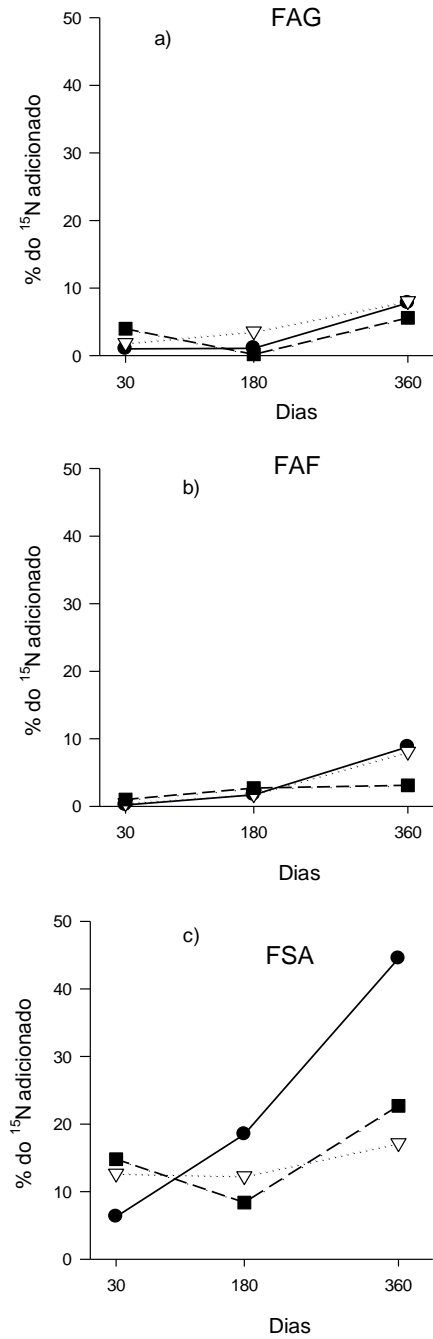
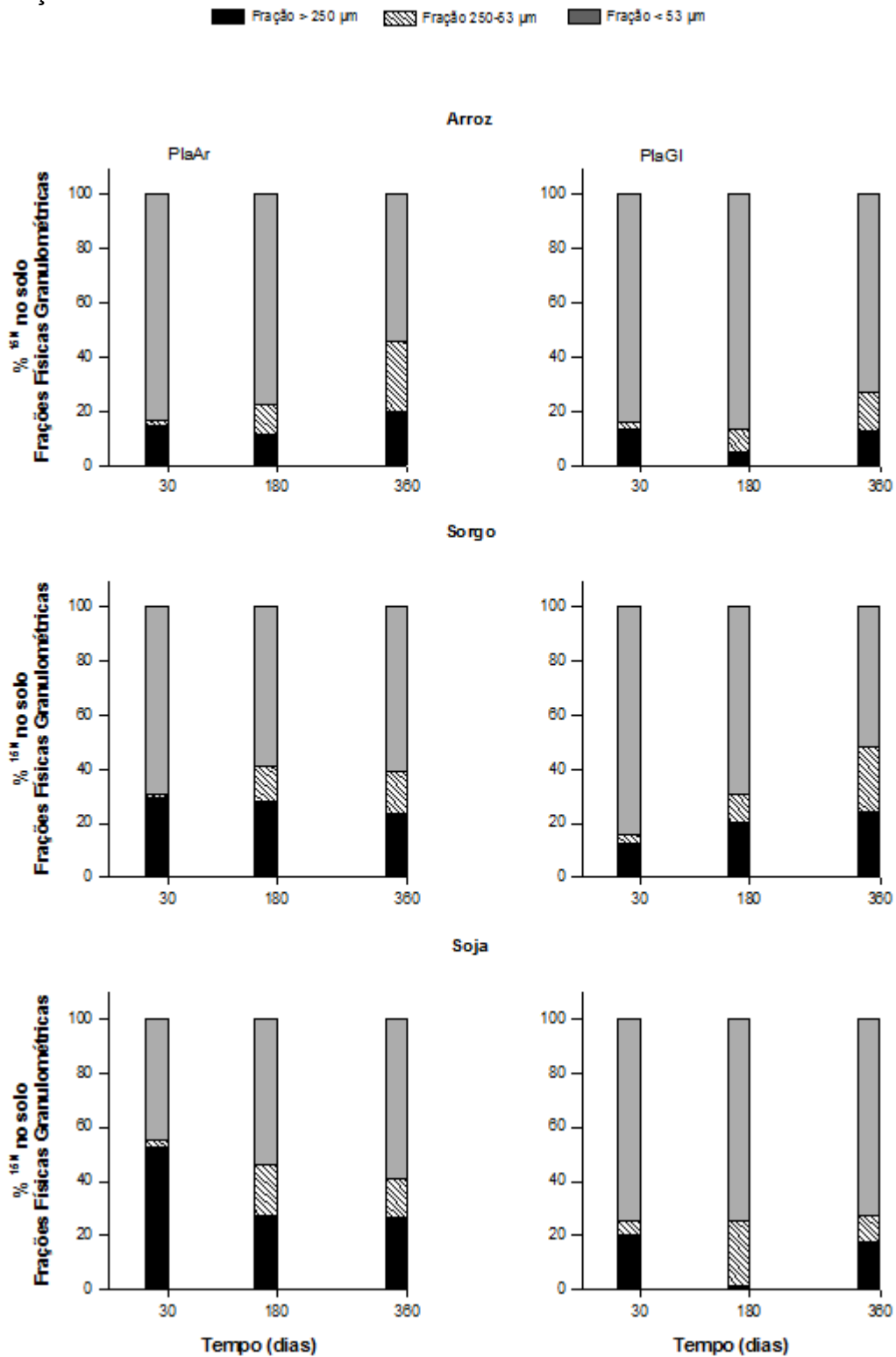


Figura 4 -- Proporção relativa do  $^{15}\text{N}$  que foi para o solo nas frações: fração areia grossa, fração areia fina e fração silte+argila nos dois solos ao longo dos 360 dias de incubação.





Aos 30 dias de avaliação, o resíduo cultural de soja foi o qual mais foi quantificado N no solo, entretanto com diferença estatística dos demais resíduos apenas na FAG (Tabela 8). Dentre os dois solos, maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  na FSA foi quantificada para o solo PlaGl. As maiores quantidades de  $^{15}\text{N}$  adicionados na FSA já para a primeira data do período de incubação podem estar associadas ao pequeno tamanho das partículas liberadas na fração solúvel do material vegetal. Para Reinertsen et al. (1984), Christensen (1985) e Aita e Giacomini (2003), a elevada taxa inicial de decomposição dos resíduos culturais se deve à facilidade com que os compostos orgânicos, especialmente os carboidratos da fração solúvel em água, são utilizados como fonte de energia pela população microbiana. Esta condição pode ser explicada devido as características químicas do resíduo cultural no qual libera compostos solúveis prontamente mineralizáveis pela microbiota do solo. A taxa de decomposição de resíduos culturais e a formação de frações do material orgânico é mediado por microrganismos, sendo controlada pela qualidade do resíduo de culturas (relação C/N do resíduo) e a textura do solo (CHIVENGE et al., 2011). Com isso, a adição de resíduos de culturas estimula a atividade microbiana (LUCE et al., 2014), o que pode resultar num aumento inicial de quantidades de  $^{15}\text{N}$  na biomassa microbiana e em formas minerais, as quais serão quantificadas na FSA (BALESDENT et al., 1991).

Aos 180 dias, a quantidade de  $^{15}\text{N}$  na FAG e na FSA da MOS no tratamento com resíduos culturais de soja foi significativamente superior no solo com menor quantidade de argila em comparação com o solo mais argiloso. Dentre os resíduos culturais para o solo PlaGl, a soja pouco contribuiu com  $^{15}\text{N}$  na FAG da MOS, já no solo PlaAr, a cultura do arroz contribuiu menos do que as demais culturas na FAG. A cultura do sorgo foi significativamente inferior que as demais na FSA no PlaAr, e a cultura de soja foi significativamente inferior na FSA para PlaGl (Tabela 9).

Para a última avaliação (360 dias), os resíduos culturais da soja apresentaram menores valores de  $^{15}\text{N}$  na FSA para o PlaAr. Nesta data, a FAG não apresentou diferenças entre os resíduos e dentro do solo e nem entre os solos. Para as duas últimas datas de amostragem, dentre as três frações em ambos os solos, a FSA foi superior significativamente nos três resíduos culturais (Tabela 9).

Tabela 8-  $^{15}\text{N}$  oriundo de diferentes resíduos culturais e nos dois solos nas frações areia grossa (FAG), areia fina (FAF) e silte+argila (FSA) aos 30 dias após a incubação.

Resíduo	FAG	FAF	FSA
	.....% do $^{15}\text{N}$ adicionado.....		
Arroz	1,2 Bb	0,2 Ab	7,1 Ba
Sorgo	2,6 ABb	0,5 Ab	10,9 Aa
Soja	4,8 Ab	0,7 Ac	12,6 Aa
PlaAr	3,5 Ab	0,3 Ac	9,2 Ba
PlaGI	2,3 Ab	0,6 Ab	11,3 Aa

As letras maiúsculas na mesma coluna comparam os resíduos dentro de cada fração da MOS enquanto letras minúsculas na linha comparam as frações da MOS dentro de cada resíduo. Para solo as letras maiúsculas na mesma coluna comparam os dois solos dentro de cada fração da MOS enquanto letras minúsculas na linha comparam as frações no mesmo solo, ambas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 9-  $^{15}\text{N}$  oriundo de diferentes resíduos culturais nas frações areia grossa (FAG), areia fina (FAF) e silte+argila (FSA) aos 180 e 360 dias de incubação em dois solos.

Resíduo	180 DIAS			360 DIAS			Total nas frações		
	FAG	FAF	FSA	FAG	FAF	FSA	30	180	360
.....% do $^{15}\text{N}$ adicionado.....									
PlaAr									
Arroz	2,1Bb	2,0Ab	14,3Aa	10,9Ab	14,3Ab	29,6Aa	9,6	18,4	54,7
Sorgo	5,0Ab	1,9Ac	8,4Ba	9,2Ab	7,1ABb	22,0ABa	13	15,2	38,3
Soja	5,9*Ab	3,9Ab	12,7*Aa	9,4Aab	5,0Bc	15Ba	16,4	22,5	29,4
PlaGI									
Arroz	1,1ABb	1,7Ab	18,5*Aa	7,8Ab	8,8Ab	44,5*Aa	7,5	21,3	61,1
Sorgo	3,6Ab	1,8Ab	12,2*Ba	8,1Ab	8,0Ab	17,2Ba	15,1	17,7	33,4
Soja	0,2Bb	2,7Ab	8,4Ca	5,6Ab	3,1Ab	22,7*Ba	19,8	11,3	31,4

Letras maiúsculas na coluna comparam as médias dos resíduos culturais dentro de cada solo. Letras minúsculas na linha comparam as médias das frações para o mesmo resíduo no mesmo solo em cada época de avaliação. Médias seguidas de \* para o mesmo resíduo na coluna são significativamente superiores na comparação entre os solos. Todas as diferenças são baseadas no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na hipótese do presente estudo, esperava-se maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  na fração da MOS associado aos minerais (FSA) e mais expressiva quantidade no solo que possui maior teor argila, o que foi aceita. Tendo em vista a expectativa de que grande parte desse N poderia estar na forma mineral, a segunda parte da hipótese seria que, após o alagamento, ocorreria uma perda significativa deste elemento oriundo dos resíduos culturais de soja por desnitrificação, o que não pode ser totalmente aceita. O tratamento com resíduo cultural de soja não foi o que mais se obteve incremento de  $^{15}\text{N}$  na FSA até os 180 dias. Essa expectativa estava embasada no trabalho de Luce et al. (2014), o qual relaciona qualidade de resíduo e retenção de N de acordo com o teor de argila presente no solo; entretanto o autor não aborda a condição de alagamento que está presente neste trabalho.

Ao final da incubação, as maiores quantidades de  $^{15}\text{N}$  foram quantificadas na FSA da MOS e foram oriundas de resíduos culturais de arroz. Parte deste fenômeno pode ser explicado pelo fato de que, com o alagamento do solo, ocorreriam perdas do nutriente no tratamento com resíduos culturais de melhor qualidade, como anteriormente explicado. Entretanto, houve acúmulo de  $^{15}\text{N}$  da segunda para a terceira data, onde esperava-se declínio de quantidades de  $^{15}\text{N}$  na FSA oriundo do tratamento com resíduos de soja ao se alagar o solo, o que não foi visualizado.

#### 4.4 Recuperação do $^{15}\text{N}$ pelas frações granulométricas

A recuperação total do isótopo proveniente da soma do  $^{15}\text{N}$  remanescente dos resíduos culturais com o solo sem fracionar permite verificar a recuperação total do elemento (Tabela 10). Esta recuperação apresentou valores decrescentes com o passar do período de incubação, onde nos primeiros 30 dias os valores chegaram a 84,1% para a cultura do arroz no solo mais arenoso. Para a terceira data de amostragem os valores são bastante inferiores, sendo que o resíduo cultural de soja se obteve menores valores de recuperação, em torno de 40%, demonstrando que o  $^{15}\text{N}$  já não estava mais no sistema, ou seja, nem no solo nem nos tecidos vegetais. O solo mais arenoso obteve menores resultados de recuperação, confirmando as hipóteses deste trabalho de que a argila possui um papel importante de reter este nutriente.

O percentual de recuperação do isótopo de  $^{15}\text{N}$  no solo sem fracionar (Figura 5) teve a mesma dinâmica do que quando a recuperação foi calculada pelo somatório

das frações (Figura 6). Entretanto, a quantidade de  $^{15}\text{N}$  detectado no solo não fracionado foi superior ao detectado no solo que passou pelo fracionamento, podendo inferir que o processo de fracionar o solo provocou perdas de  $^{15}\text{N}$ .

Tabela 10- Recuperação do  $^{15}\text{N}$  total, proveniente da soma do  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos com o  $^{15}\text{N}$  do solo nos solos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico (PlaGI).

		Solo	T0	T30	T180	T360
		.....% de $^{15}\text{N}$ .....				
Arroz	Resíduo	PlaAr	100	77,0	52,1	3,3
		PlaGI		72,6	50,3	4,0
	Solo	PlaAr	0	7,1	17,3	35,8
		PlaGI		8,1	23,4	56
	Recuperação	PlaAr		84,1	69,4	39,1
		PlaGI		80,7	73,7	60
Sorgo	Resíduo	PlaAr	100	46,6	42,5	26,3
		PlaGI		51,6	53,6	22,1
	Solo	PlaAr	0	10,4	15,8	31,2
		PlaGI		16,6	22,2	49,6
	Recuperação	PlaAr		57	58,3	57,5
		PlaGI		68,2	75,8	71,7
Soja	Resíduo	PlaAr	100	54,6	26,5	6,7
		PlaGI		45,6	25,5	9,1
	Solo	PlaAr	0	13	24,5	33,5
		PlaGI		23,3	37,6	31,6
	Recuperação	PlaAr		67,6	51	40,2
		PlaGI		68,9	63,1	40,7

A média de  $^{15}\text{N}$  recuperado no solo após o fracionamento para o solo PlaAr foi superior ao solo PlaGI. Para a avaliação aos 30 dias, os valores de  $^{15}\text{N}$  foram recuperados para ambos os solos foram elevados, atingindo até mais que 100% (Tabela 11). De uma maneira geral, o percentual de recuperação decresceu entre a primeira e a segunda data de amostragem (Tabela 11). Poucos dados foram encontrados na literatura para recuperação de  $^{15}\text{N}$  em fracionamento da MOS, sendo que a maioria dos trabalhos científicos encontrados abordam apenas a recuperação

do elemento carbono (CHAVES, 2017; CONCEIÇÃO, 2008; ROSCOE e MACHADO, 2002). Entretanto, alguns autores abordam a recuperação do  $^{15}\text{N}$  sem o processo de fracionamento, mostrando a ciclagem no elemento ao longo do tempo e com sucessivas culturas no sistema solo-planta. Um exemplo vem de Fernandes e Libardi (2012), no qual postulam que recuperação do N decresce com o passar do tempo, assim como ocorreu no presente trabalho. Os autores Luce et al. (2014), ao quantificar o  $^{15}\text{N}$  recuperado com as frações da MOS, verificaram que a recuperação de  $^{15}\text{N}$  no solo com maiores teores de argila foi menor do que no solo arenoso.

Tabela 11 - Percentual do  $^{15}\text{N}$  recuperado no solo fracionado após aplicação de diferentes resíduos culturais aos 30, 180 e 360 dias de incubação nos dois solos.

Resíduo	Solo		
	30	180	360
..... % do $^{15}\text{N}$ recuperado.....			
	PlaAr		
Arroz	99	88	127
Sorgo	84	73	87
Soja	103	79	102
	PlaGI		
Arroz	73	64	54
Sorgo	103	76	72
Soja	70	25	82

Figura 5 - Adição de <sup>15</sup>N (%) ao solo proveniente dos resíduos de arroz, sorgo e soja nos dois solos ao longo de 360 dias de incubação utilizando o solo íntegro.

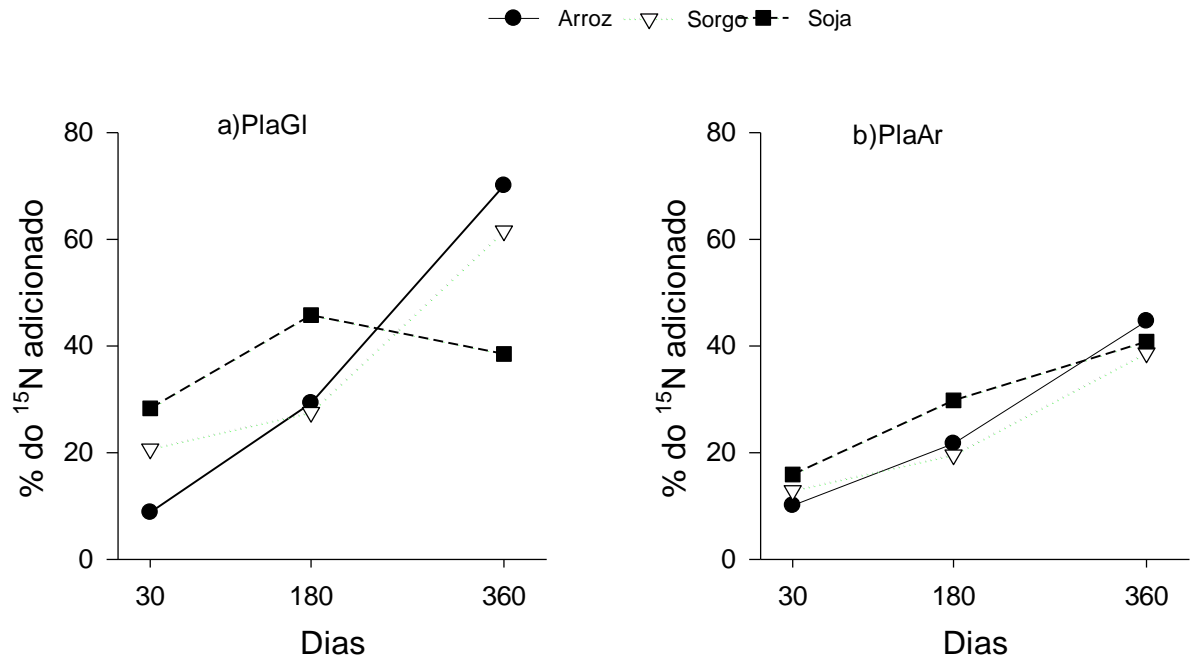
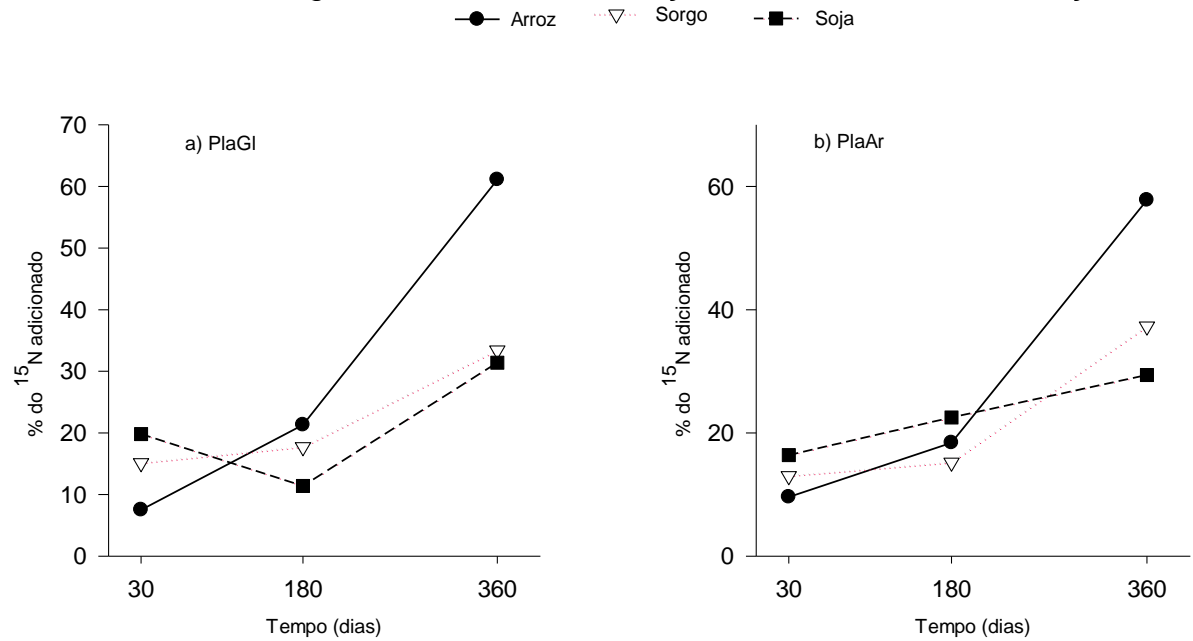


Figura 6 - Adição de <sup>15</sup>N (%) ao solo proveniente dos resíduos de arroz, sorgo e soja nos dois solos ao longo de 360 dias de incubação através da soma das frações.



## 5. CONCLUSÕES

Os resíduos de arroz, mesmo com menor teor de N (maior C/N), apresentaram maior quantidade de  $^{15}\text{N}$  adicionado ao solo no final de 360 dias de incubação nos dois solos.

A fração de menor tamanho de partícula foi o principal compartimento de adição de N ao solo após a adição de resíduos culturais, no qual permaneceu em crescente adição ao longo do período de incubação.

O solo com maior conteúdo de silte e argila demonstra maior capacidade de retenção de N.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados abordados neste trabalho, podemos verificar que a MOS é bastante variável de acordo com os materiais orgânicos adicionados ao solo, bem como a dinâmica do N também tem um comportamento bastante variável de acordo com o material vegetal que é depositado ao solo. Tendo em vista que a adubação nitrogenada no estado do Rio Grande do Sul é baseada em quantidade de matéria orgânica no solo, devem ser tomados cuidados quando se adicionam resíduos culturais com elevada qualidade química em solos de terras baixas na rotação do arroz com espécies de sequeiro, pois o N é mineralizado no período pós-colheita e poderá ser perdido para o meio após o novo ciclo de alagamento para o cultivo do arroz irrigado. Assim, o uso de espécies de inverno para aproveitar o N da soja antes do cultivo de arroz irrigado é fundamental para aproveitar o N da FBN.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALVES, B.J.R. et al. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L., eds. *Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília, Embrapa-SCT, p.343-350, 2005.
- AMBROSANO, E.J. et al. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalaria júncea e mucuna-preta com  $^{15}\text{N}$  para estudos da dinâmica do nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v.56, n.1, p.219-224, 1997.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till Res*, v.53, p.215-230, 2000.
- BALESDENT, J.; PÉTRAUD, J.P.; FELLER, C. Effets des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organique des sols. *Sci du Sol*, v.29, p.95–106, 1991.
- BAYER, C. et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. *Tópicos Ciência do Solo*. V.7, p. 55-118, 2011.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.87-100.
- CARVALHO, A.M. de. et al. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2831-2838, 2008.
- CHAVES, B. Carbono  $^{13}\text{C}$  de raízes e parte aérea de culturas de verão em frações físicas da matéria orgânica de dois solos de várzea. *Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo*, 2017.
- CHIVENGE, P. et al. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil. *Agric Ecosyst Environ*, v.140, p.361–371, 2011.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur J Soil Sci*, v.52, p.345–353, 2001.
- CHRISTENSEN, B.T.; SORENSEN, L.H. The distribution of native and labelled carbon between soil particle size fractions isolated from long-term incubation experiments. *J. Soil Sci*, v.36, p. 219-229, 1985.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *Adv Soil Sci*, v.26, p.97-165, 1996.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 376p. 2016.

CONAB – Acompanhamento Da Safra Brasileira De Grãos, v. 4 Safra 2016/17 - Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-144 Maio 2017.

CONCEIÇÃO, P. C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em solos tropicais e subtropicais. Tese Doutorado Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2006.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:541-549, 2008.

COPPENS, F. et al. Soil moisture, carbon and nitrogen dynamics following incorporation and surface application of labelled crop residues in soil columns. *European Journal of Soil Science*, v. 57, p.894-905, 2006.

COTRUFO, M.F. et al. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Glob Chang Biol*, v.19, p.988–995, 2013.

DOSSIN, M. F., 2010. Dinâmica do carbono- <sup>13</sup>C de raízes e parte aérea de culturas de verão em dois solos de várzea. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2016.

DIOCHON, A. et al. Recovery and dynamics of decomposing plant residue in soil: an evaluation of three fractionation methods. *European Journal of Soil Science*, v. 67, n. 2, p. 196-205, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 353 p., 2013.

EMYGDIO, B. M.; ROSA, A.P.S.A. da; OLIVEIRA, A.C.B. de. Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 336 p. 2017.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do Nitrogênio do Sulfato de Amônio (15N) no sistema solo planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 885-893, 2012.

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

GOMES, A. da S. et al. Caracterização de Indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 40p. 2006.

GOMES, A. da S. et al. Rotação de Culturas em Áreas de Várzea e Plantio Direto de Arroz, 2002.

GREGORICH, E.G. et al. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.70, p.975-985, 2006.

KLEBER, M.; SOLLINS, P.; SUTTON R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: Self-assembly of organic molecular fragments into multilayered structures on mineral surfaces. *Biogeochemistry*, v.85, p.9 -24, 2007.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 28 p.,2000.

LAL, R. Carbon sequestration. *Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.*, v.363, p.815-830, 2008.

LIAN, T. et al. Carbon input from <sup>13</sup>C-labelled soybean residues in particulate organic carbon fractions in a Mollisol. *Biol Fertil Soils.*, v.52, p.331–339, 2016.

LU, Y.; WATANABE, A.; KIMURA, M. Carbon dynamics of rhizodeposits, root- and shoot residues in a rice soil. *Soil Biol Biochem.*, v.35, p.1223–1230, 2003.

LUCE, M. et al. Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with <sup>15</sup>N- labelled faba bean and wheat residues. *Soil Biology & Biochemistry*, v.68, p.208-218, 2014.

MARCHESAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Eds.). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação, 2004. p. 547-577.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.1-5, 2008.

MONTEALEGRE, F.; VARGAS, J.P., Efecto de algunas practicas culturales sobre la población de arroz rojo y los rendimientos del arroz comercial. *Arroz*, Bogotá, v.38, n. 359, 1989.

MOREIRA, F.M de S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. atual.eampl. Lavras: Editora UFLA, 2006.

NASCIMENTO, P.C.do. et al. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p. 1821-1827, 2009.

NETO, L. Dinâmica do nitrogênio-15N de palha de arroz, soja e sorgo em dois solos de várzea. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2016.

REDIN, M. Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo. 141 f. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

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 Biol Biochem*. Elsevier Ltd, v.78, p.65–75, 2014.

REINERTSEN, S.A. et al. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, v.16, p.459-464, 1984.

REYNA, N. et al. Evaluation of QTL for Waterlogging Tolerance In southern Soybean *Germplasm*. *Crop Science*, Madison, v. 43, p. 2077-2082, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 86p, 2002.

RUSSEL, J. B. Química Geral. Traduzido por: Márcia Guekezian; Maria Cristina Ricci; Maria Elizabeth Brotto; Maria Olívia A. Mengod; Paulo César Pinheiro; Sonia Braunstein Faldini; Wagner José Saldanha. São Paulo: Makron, 1268p, 1994.

SCHMIDT, M.W. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* v. 478, p. 49-56, 2011.

SCHNITZER, M.; KLIAN, S.U. Humic substances in the environment. *Soil Organic Matter*. New York, Elsevier, 319p, 1978.

SILVA, C. A S. da; PARFITT, J. M.B. Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 10p, 2004.

SILVA, L. S.; POCOJESKI, E.; RHODEN, A. C. Dinâmica de nitrogênio mineral após alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul. *Semina: Ciências Agrárias*, v.32, p.583–590, 2011.

SIX, J. et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, v. 70, p. 555-569, 2006.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 199 p., 2016.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, v.74, p.65-105, 1996.

SOUZA, E. L. Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós colheita. Tese de Doutorado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2013.

STEVENS, W.B.; HOEFT, R.G.; MULVANEY, R.L. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. *Agron. J.*, v.97, p.1046-1053, 2005.

STEVENSON, F. J. Geochemistry of soil humic substances. In: *Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization*, ed. G. R. Aiken, D. M. McKnight, R. L. Wershaw and P. MacCarthy, p. 15-46, 1985.

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. (eds.) *Manejo do solo e da água em áreas de várzea*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.119-162, 1999.

VAN SOEST, P. J. Use of detergentes in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignina. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, v. 46, p. 829-835, 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. *Ci. Rural*, 39:1708-1714, 2009.

WERSHAW, R.L.; PINCKNEY D.J. Isolation and characterization of clay-humic complexes In: Baker RA (ed) *Contaminants and sediments*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, p 207–219, 1985.

