

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

Lethícia Rosa Neto

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO-¹⁵N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E
SORGO EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA**

Santa Maria, RS

2016

Lethícia Rosa Neto

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO-¹⁵N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO EM
DOIS SOLOS DE VÁRZEA**

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: Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS

2016

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

Rosa Neto, Lethícia

DINÂMICA DO NITROGÊNIO-15N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO EM DOIS SOLOS DE VÂRZEA / Lethícia Rosa Neto.- 2016.
54 p.; 30 cm

Orientador: Sandro Jose Giacomini

Coorientador: Marciel Redin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2016

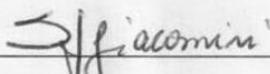
1. 15N 2. qualidade de resíduos 3. decomposição 4. mineralização I. Giacomini, Sandro Jose II. Redin, Marciel III. Título.

Lethícia Rosa Neto

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO-¹⁵N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO
EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA**

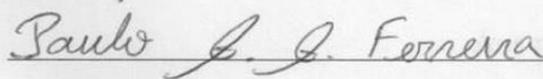
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em 29 de julho de 2016:

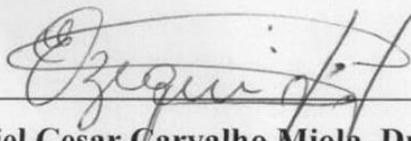


Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)



Paulo Ademar Avelar Ferreira, Dr. (UFSM)



Ezequiel Cesar Carvalho Miola, Dr. (FURG)

Santa Maria, RS

2016

Aos meus amados pais Napoleão e Leoni

Razões da minha vida

Dedico este trabalho!

Agradecimentos

À Deus pela saúde, por me conceder uma nova chance de viver e pela força para enfrentar os desafios.

Aos meus pais Napoleão e Leoni, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, incentivo e amparo nas horas difíceis. Vocês são a motivação para eu seguir em frente.

À minha irmã Elizane, ao meu cunhado Dirk e aos meus sobrinhos Kyra e Kevin pelo carinho e incentivo.

À minha segunda mãe Otacília Costa, pelo amor e amparo.

À minha família pela união em todos os momentos e apoio em todas as minhas escolhas.

Ao professor Sandro Jose Giacomini, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao Marciel Redin, pelas contribuições neste trabalho.

À 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.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Ao Curso de Tecnologia em Produção de Grãos do Instituto Federal Farroupilha campus Júlio de Castilhos e seus professores que me proporcionaram uma graduação de qualidade que me condicionou cursar uma pós-graduação.

Aos professores e amigos Cleudson José Michelin, Emanuele Junges, Carlos Alberto Casali pelos ensinamentos, motivação e amizade.

Ao professor e amigo Paulo Ivonir Gubiani, pelos ensinamentos e palavras de incentivo nos momentos difíceis.

À Mariana Ferneda Dossin amiga de todas as horas, pelo carinho, conhecimento compartilhado, incentivo e por melhorar meus dias.

Às minhas irmãs de coração Tuani Bergoli e Andressa Guterres pela amizade, união e palavras de apoio.

Aos componentes da família Labcen Guilherme Dietrich, Patrick Leal Pinheiro, Mariana Dossin, Getúlio Pileco, Bruno Chaves, Majid Thair, Raquel Schumatz, Adriane Schu, Heitor Basso, Cledir Garlet, Roberta Gioveli, Carolina Pollet os meus sinceros

agradecimentos pela amizade, ajuda durante a condução do experimento, e pelos momentos que compartilhamos durante essa caminhada.

Aos demais colegas e amigos do grupo de pesquisa do professor Celso Aita pela ajuda e pelos momentos de alegria e descontração.

Aos amigos Regis Stacke, Andrisa Balbinot, Ingrid Cabrera, e demais amigos conquistados durante essa caminhada pela amizade e ajuda durante as avaliações do experimento.

Aos amigos que mesmo distante compreenderam minha ausência e me apoiaram durante essa etapa.

Aos amigos e funcionários do Departamento de Solos Pozzobon, Paulinho, Medianeira, Fabiano Halmenschlager, Elci Gubiani e Finamor (in memoriam) pela ajuda durante a condução do experimento e aos momentos de descontração.

Meus sinceros agradecimentos!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

RESUMO

DINÂMICA DO NITROGÊNIO-¹⁵N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA

Autora: Lethícia Rosa Neto
Orientador: Sandro José Giacomini

RESUMO

O uso de culturas alternativas ao arroz (*Oryza sativa* L.), como a soja (*Glycine max* L.) e o sorgo (*Sorghum bicolor* L.), em áreas de várzea resultará na adição ao solo de diferentes palhas com características químicas distintas. A qualidade das palhas e o tipo de manejo adotado estão entre os principais fatores que controlam as taxas de decomposição e as transformações do N das palhas no solo. Os objetivos desses estudos foram: 1) avaliar a dinâmica do N durante a decomposição da palha de arroz incorporada ou na superfície de dois solos de várzea; e 2) avaliar o efeito da qualidade da palha de arroz, soja e sorgo e da textura do solo sobre a dinâmica do N durante a decomposição das palhas na superfície do solo. Foi realizada uma incubação com duração de 180 dias em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria, utilizando palha de arroz (*Oryza sativa* L.), soja (*Glycine max* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) enriquecidas com ¹⁵N em dois solos de várzea, um Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e um Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico (PlaGl). A palha de arroz foi avaliada na superfície e incorporada aos solos e as palhas de sorgo e soja foram avaliadas apenas na superfície dos solos. Aos 30, 90 e 180 dias foram avaliadas as quantidades de ¹⁵N remanescente nas palhas, ¹⁵N total e ¹⁵N mineral no solo e N mineral no solo. A incorporação da palha comparado a sua manutenção na superfície do solo promove maior liberação de N da palha, maior quantidade de N orgânico no solo e quantidade semelhante de N recuperado (palha + solo). Independente da modalidade de uso, o tipo de solo não influenciou na liberação de N e na quantidade de N recuperado da palha de arroz. Independente da modalidade de uso, o tipo de solo afetou apenas quantidade de N orgânico no solo, sendo os maiores valores encontrados no PlaGl comparado ao PlaAr. As palhas de gramíneas (arroz e sorgo) com menor teor de N (maior C:N) apresentaram menor quantidade de N liberada, mas promoveram quantidade semelhante de N orgânico nos dois solos em relação a palha da leguminosa (soja). Após 180 dias, a quantidade de N recuperado (palha + solo) foi afetada pela interação entre palha e solo, sendo os maiores valores recuperados no solo PlaGl com as palhas de gramíneas do que com a leguminosa. No solo PlaAr a quantidade de N recuperada não diferiu entre as três palhas.

Palavras chave: isótopo ¹⁵N; qualidade de resíduos; decomposição; mineralização.

ABSTRACT

DYNAMICS OF NITROGEN-¹⁵N RICE, SOYBEAN AND SORGHUM STRAWS IN TWO LOWLAND SOILS

AUTHOR: Lethícia Rosa Neto
ADVISOR: Sandro José Giacomini

ABSTRACT

The use of alternative crops to rice (*Oryza sativa* L.), such as soybean (*Glycine Max*l.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in lowland areas changes the chemical characteristics of the straw returned to soil. Straw quality and management type are among the main factors that control decomposition rates and straw-N transformations in soil. The objectives of this study were: 1) to compare N dynamics from rice straw decomposition incorporated in soil or on soil surface for two lowland soils; and 2) to assess the effects of straw quality (comparison of rice, soybean and sorghum straw decomposition) and of soil texture on N dynamics during straw decomposition on soil surface. A 180-days greenhouse incubation was carried out at the Federal University of Santa Maria, using rice (*Oryza sativa* L.), soybean (*Glycine max* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) ¹⁵N-enriched straws on two lowland soils, one PLANOSOIL (PlaAr) and one Albaqualf Eutrophic gleysoil (PlaGl). Rice straw decomposition was followed both on soil surface and incorporated in soil, while sorghum and soybean straw decomposition was only studied on soil surface. Remaining ¹⁵N-straw, ¹⁵N-total, soil mineral ¹⁵N and soil mineral N were measured after 30, 90 and 180 days of incubation. Rice straw incorporation compared to its maintenance on soil surface increased the release of N from the straw and the amount of soil organic N, yet did not affect the amount of N recovered (straw + soil). For both management modes, soil type did not influence the release of N and C in the rice straw recovered. Regardless of the management mode, soil type only affected the amount of organic N in the soil, with higher value in PlaGl soil than PlaAr soil. Grasses straw (rice and sorghum), with lower N content (higher C: N), led to lower amount of N released, but provided similar amount of organic N in both soils compared to legume straw (soybean). After 180 days, the amount of N recovered (straw + soil) was affected by the interactions between straw and soil types, with higher value in PlaGl soil with grasses straw than with legume straw. For PlaAr soil, the amount of N recovered did not differ between the three straws.

Key-words: isotope ¹⁵N; crop residues quality; decomposition; mineralization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas e químicas dos Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico (PlaAr) e um Planossolo Hidromórfico Eutrófico gleissólico (PlaGl) utilizados no experimento.	43
Tabela 2. Características químicas das palhas e raízes de arroz, sorgo e soja.....	44
Tabela 3. Resultado da análise de variância mostrando o efeito da modalidade de uso da palha (M), do tipo de resíduo cultura (RC) e do tipo de solo (S) e a interação entre M x S e RC x S sobre o ¹⁵ N na palha e no solo (% do ¹⁵ N adicionado) e o N mineral no solo.....	45
Tabela 4. ¹⁵ N recuperado em diferentes compartimentos nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha de arroz, sorgo e soja durante 180 dias de experimento.....	52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** ^{15}N recuperado em diferentes compartimentos nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha de arroz, sorgo e soja durante 180 dias de experimento..... 46
- Figura 2.** ^{15}N remanescente na palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) durante 180 dias de experimento..... 47
- Figura 3.** ^{15}N total (a, b) e ^{15}N orgânico (c, d) nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha do arroz incorporada ou na superfície dos solos durante 180 dias de experimento..... 48
- Figura 4.** ^{15}N total (a, b) e ^{15}N orgânico (c, d) nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos durante 180 dias de experimento..... 49
- Figura 5.** N mineral nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) com a palha do arroz incorporada (PI) ou na superfície (PS) dos solos durante 180 dias de experimento..... 50
- Figura 6.** N mineral nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) com a palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos durante 180 dias de experimento. 51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1 Hipóteses	15
1.2 Objetivo geral.....	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
2 DINÂMICA DO NITROGÊNIO- ¹⁵ N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA	17
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.2.1 Solos	19
2.2.2 Resíduos culturais utilizados nos experimentos	19
2.2.3 Desenho experimental e condições de incubação	21
2.2.4 Avaliações das transformações do N.....	22
2.2.5 Temperatura e umidade do solo	24
2.2.6 Cálculos e análise estatística	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
2.3.1 ¹⁵ N remanescente.....	25
2.3.2 ¹⁵ N no solo.....	28
2.3.3 N mineral no solo	31
2.3.4 ¹⁵ N recuperado.....	33
2.4 CONCLUSÕES	35
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS.....	53

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Rio Grande do Sul (RS) é o principal produtor nacional de arroz (*Oryza sativa* L.) com predomínio do cultivo por alagamento em uma área de aproximadamente 1,1 milhões de hectares (IRGA, 2014). Nas áreas de várzea, que representam 20% (5,4 milhões de hectares) da área total do Estado (GOMES et al., 2006), o cultivo do arroz ocorre predominantemente em solos hidromórficos que apresentam como principal característica a deficiência de drenagem. O uso intensivo dessas áreas com a monocultura do arroz irrigado causa a sua degradação (MARTINEZ et al., 2003) promovendo a queda do rendimento da cultura, pois propicia a infestação dessas áreas por plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho (*Oryza sativa*) (MARCHESAN et al., 2004). Entre as estratégias indicadas para reduzir os efeitos negativos do monocultivo do arroz sobre as áreas de várzea, está o uso da rotação de culturas. Entre as espécies produtoras de grãos a soja (*Glycine max*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) surgem como opções de cultivo, sendo que a área de várzea cultivada nesse sistema já ultrapassa 300 e 86 mil hectares, respectivamente (IRGA, 2013; PARFITT, 2002).

Com a adoção da rotação de culturas em áreas de várzea uma diversidade de resíduos culturais é depositada nos solos, o que pode afetar a dinâmica do C e do N nesses ambientes. A dinâmica do N é conhecida por interagir durante o processo de decomposição dos resíduos devido a assimilação de nutrientes pelos microrganismos decompositores (SALL et al., 2007). Tal processo é controlado por diversos fatores, dos quais a composição química dos resíduos é considerada um dos fatores abiótico mais importante (SILVER e MIYA, 2001). Alguns estudos indicam que a velocidade de decomposição e de liberação de N de resíduos culturais é inversamente proporcional à concentração de celulose, relações C:N e lignina/N e, diretamente proporcional às concentrações de N total e de N solúvel em água do tecido vegetal das plantas (JAMALUDHEEN & KUMAR, 1999; CONSTANTINIDES & FOWES, 1994). Até o momento poucos estudos têm sido conduzidos no Brasil com o objetivo de relacionar a composição química dos resíduos vegetais com as transformações de N em solos hidromórficos. Um melhor entendimento das transformações do N nesses solos é importante para maximizar a ciclagem do N nesses ambientes.

Nas áreas de várzea com a monocultura do arroz, quando não utilizada a rotação de culturas, os resíduos culturais do arroz são incorporados logo após a colheita ou são mantidos na superfície do solo e incorporados ao solo próximo ao período de implantação de um novo cultivo. A antecipação do manejo da palha do arroz é recomendada para acelerar a

decomposição da palha e com isso possibilitar o preparo do solo para que a semeadura do arroz ocorra na época recomendada evitando perda de produtividade da cultura (SOUZA, 2013). Essas duas formas de manejo dos resíduos culturais podem ter implicações diferentes sobre a dinâmica do C e do N no solo e principalmente sobre as emissões GEE. Os resíduos culturais mantidos em superfície possuem menores taxas de decomposição em relação aos resíduos incorporados, onde a área de contato e a umidade do solo são os principais fatores que influenciam nesse processo (HENRIKSEN & BRELAND, 2002).

A maioria dos estudos de transformação do N no solo leva em consideração o efeito da composição química dos resíduos. No entanto, a medida que a qualidade do resíduo afeta a formação da matéria orgânica do solo (MOS), é dependente de propriedades como a textura do solo e concentração de N (LUCE et al., 2013). Minerais filossilicatos desempenham um importante papel na retenção de MOS e são frequentemente associados aos elevados níveis de retenção de N (GRANDY et al., 2009). A presença de argila em solos é importante para o armazenamento de N, embora pesquisas recentes demonstrem variações nas taxas de retenção de N (BINGHAM & COTRUFO, 2016). Por outro lado, solos com maior fração de areia tendem a apresentar menor acúmulo de MOS, em função da menor proteção física e química da MOS (PUTASSO, 2011).

Atualmente, são escassos os resultados de pesquisa do efeito do manejo da palha do arroz e da qualidade química de resíduos culturais em diferentes solos de várzea sobre a dinâmica do N no solo. Portanto, conhecer a influência da composição química dos resíduos de parte aérea de diferentes espécies de plantas e a textura do solo é fundamental para entender a dinâmica do N em solos de várzea e quantificar os potenciais benefícios do manejo adequado desses resíduos.

1.1 Hipóteses

- As palhas com maiores concentrações de fração solúvel (FS) e de N (baixa C:N) liberam maior quantidade de N da palha e contribuem com maior acúmulo de N no solo comparado com palhas pobres em FS e N (alta C:N).
- A manutenção da palha de arroz na superfície do solo reduz a liberação de N da palha, mas contribui com maior acúmulo de N no solo comparado com a incorporação da palha ao solo.
- Solos com maior teor de argila+ silte favorecem o acúmulo de N no solo por apresentar maior matriz de estabilização.

1.2 Objetivo geral

Avaliar a dinâmica do nitrogênio de palhas enriquecidas com ^{15}N de arroz sob duas modalidades de uso e de sorgo e soja em dois solos de várzea.

1.3 Objetivos específicos

Avaliar os seguintes aspectos durante a decomposição de palha de arroz incorporada ou mantida na superfície e de palha de sorgo e soja mantidas na superfície de dois solos de várzea com texturas distintas:

- ^{15}N remanescente na palha.
- ^{15}N total, mineral e orgânico no solo.
- N mineral no solo.

2 DINÂMICA DO NITROGÊNIO-¹⁵N DE PALHA DE ARROZ, SOJA E SORGO EM DOIS SOLOS DE VÁRZEA

2.1 INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul (RS) o arroz irrigado por inundação é cultivado em mais de 1,1 milhões de hectares (IRGA, 2014), sendo comum o uso da monocultura em áreas de várzea. Nessas áreas, os resíduos culturais do arroz são incorporados logo após a colheita ou mantidos na superfície do solo e incorporados ao solo próximo ao período de implantação de um novo cultivo. A antecipação do manejo da palha do arroz é recomendada para acelerar a decomposição da palha e com isso possibilitar o preparo do solo para que a semeadura do arroz ocorra na época recomendada evitando perda de produtividade da cultura (SOUZA, 2013). No entanto, pouco se sabe sobre o efeito dessa prática sobre as transformações e destino do N da palha no solo.

Os resíduos deixados na superfície são decompostos mais lentamente do que os resíduos incorporados (COPPENS et al., 2006) devido ao menor contato entre a palha e o solo (ANGERS & RECOUS, 1997). Esse tipo de manejo minimiza a perturbação do solo e contribui com o acúmulo de MOS na camada superior do mesmo (BALESDENT, et al., 2000). Embora a adoção dessa prática possa reduzir temporariamente o N disponível às plantas através da imobilização (DORAN, 1987), melhora a disponibilidade do N para as plantas a longo prazo (RICE, et al., 1986), aumentando os teores de N no solo nas camadas superiores (FRANZLUEBBERS et al., 1994). Por outro lado, a incorporação dos resíduos possibilita maior taxa de decomposição, pois os resíduos estão em maior contato com o solo (CORBEELS et al., 2003). Quando resíduos com baixo teor de N são incorporados, como a palha de arroz, o processo de imobilização de N pode ser intensificado.

Considerando que a incorporação da palha ocorre no período de entressafra, essa maior imobilização deve contribuir para diminuir as perdas de N por lixiviação. No entanto, perdas de N pelo processo de desnitrificação podem ser intensificadas (GOLLANY et al., 2004). Neste sentido, uma melhor compreensão sobre a dinâmica e equilíbrio do N são essenciais para aumentar o uso e eficiência do N através da minimização de suas perdas e desenvolver práticas de manejo adequada para a cultura do arroz (DEVKOTA, 2013).

O cultivo continuado do arroz em uma mesma área leva a autolimitação da cultura, devido ao aumento da infestação da área por plantas daninhas, em especial o arroz vermelho (PEDROTTI et al., 2001). Desta forma, surge a necessidade de uso de sistemas alternativos

como a rotação de culturas, a qual visa diminuir os níveis de infestação por plantas daninhas, romper o ciclo de pragas e doenças e aumentar a rentabilidade da área (VERNETTI JÚNIOR et al., 2009). No Brasil, entre as espécies produtoras de grãos, a soja (*Glycine max*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) surgem como opção de cultivo em rotação com o arroz, sendo que as áreas cultivadas nesse sistema ultrapassam 300 e 86 mil hectares, respectivamente (IRGA, 2013; PARFITT, 2002).

O uso da rotação de culturas no sistema várzea irá gerar quantidades e qualidades diferenciadas de resíduos que conseqüentemente influenciam no ciclo do N no solo (JENSEN et al., 2005; ABIVEN, 2005). A decomposição dos resíduos é controlada por diversos fatores que afetam a atividade dos microrganismos, tais como características físico-químicas do solo, tamanho do resíduo e sua localização e a qualidade química (TRINSOUTROT et al., 2000; KAEWPRADIT et al., 2008; REDIN et al., 2014). A qualidade dos resíduos é definida com base nos teores de N (relação C:N), fração solúvel e as concentrações de celulose + hemicelulose, lignina, lipídios e polifenóis. Os resíduos culturais são compostos basicamente dos mesmos componentes, porém em diferentes proporções (HADAS et al., 2004) e a sua concentração de N desempenha um importante papel nos processos de decomposição dos resíduos e mineralização do N (REDIN et al., 2014). Resíduos com alto teor de N (baixa C:N) e ricos em fração solúvel (FS) são classificados como de alta qualidade, os quais são rapidamente decompostos (PRESCOTT et al., 2010), aumentando a mineralização do N (GALICIA e PHILIP, 2011; PUTTASO et al., 2011). Logo, resíduos culturais de baixa qualidade são caracterizados por baixos teores de N (alta C:N) e pobres em FS e são decompostos mais lentamente (CARVALHO et al., 2009; PRESTON et al., 2006), reduzindo as taxas de liberação de N (POTTHAST et al., 2010).

A maioria dos estudos de transformação do N no solo leva em consideração a qualidade dos resíduos. No entanto, a medida que a qualidade do resíduo afeta a formação da MOS do solo, é dependente de propriedades como a textura do solo, concentração de N (LUCE et al., 2014). Solos com altos teores de argila costumam apresentar maiores valores de C e N orgânico (CHIVENGE et al., 2011). Por outro lado, solos arenosos, por proporcionarem menor proteção física da MOS tendem a apresentar menores valores (PUTASSO, 2011). Amato e Ladd (1992), a partir de um estudo de 23 tipos de solos, sugeriram que em solos com pH neutro a alcalino a decomposição dos resíduos é positivamente correlacionada com o teor de argila do solo e a capacidade de troca catiônica, porém não estando significativamente correlacionada com os teores de C e N orgânicos. Hammermeister et al. (1993) constataram que solos com maior teor de argila resultam em

maiores taxas de N orgânico e menor decomposição. No entanto, em estudos realizados por Thompsen et al. (2001), não relataram efeito da textura do solo sobre a mineralização do N a curto prazo. Neste sentido, muitos estudos estão sendo realizados avaliando a interferência da qualidade do resíduo e da textura do solo na dinâmica das transformações do N.

Diante disso, o uso de marcadores ^{15}N tem sido amplamente aplicados em estudos relacionados a avaliação do comportamento do N no solo. A realização do enriquecimento das plantas através da aplicação de ^{15}N via adubação nitrogenada já foi utilizada em alguns trabalhos (BIRD et al., 2007; LUCE et al., 2014; SCHMATZ et al., 2015) e apresentou-se eficiente para a avaliação da dinâmica do N. A partir dos resíduos marcados nestes trabalhos, foi possível a realização de novos estudos a fim de avaliar a contribuição das palhas para o acúmulo de N no solo. No Brasil, poucos estudos têm sido realizados com o objetivo de relacionar a influência da modalidade de uso da palha e a qualidade química da palha na retenção de N em solos de várzea.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Solos

Os solos foram coletados na camada de 0 – 20 cm de duas áreas de várzea com histórico de cultivo de arroz no estado do Rio Grande do Sul. O Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (Embrapa, 2012) foi coletado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (29°41'S, 53° 48' W; cerca de 90 m de altitude) e o Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (Embrapa,2012) foi coletado em uma propriedade rural no município de Faxinal do Soturno (29° 34' S, 53° 27' W; cerca de 125 m de altitude).No momento da coleta os resíduos culturais presentes na superfície do solo foram removidos. Após a coleta, os solos foram secos ao ar, peneirados em malha de 2 mm, homogeneizados e armazenados em sacos plásticos em temperatura ambiente até o momento da instalação do experimento. As principais características físicas e químicas dos dois solos estão apresentadas na Tabela 1.

2.2.2 Resíduos culturais utilizados nos experimentos

Os resíduos culturais foram oriundos de plantas de arroz (*Oryza sativa* L. cv. Puitá), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. cv. DOW50A10) e soja (*Glycine max* L. cv. N55959

IPRO) cultivadas em casa de vegetação com e sem enriquecimento de ^{15}N . As plantas das três espécies foram cultivadas em vasos de 8 L contendo 5 kg do solo Gleissolo Háplico Eutrófico típico (Embrapa, 2012). Em cada vaso foram utilizadas 10 sementes de cada cultura e após a emergência das mesmas (cerca de sete dias após a semeadura) realizou-se o raleio, deixando três plântulas para o arroz e duas para o sorgo e a soja. Após o raleio, os vasos com as plantas de arroz receberam uma lâmina de água de 6 cm de altura, a qual foi mantida até o fim do ciclo da cultura. A umidade do solo nos vasos das culturas da soja e sorgo foi mantida na umidade correspondente a 80% da capacidade de campo, sendo o controle da reposição de água por meio de pesagens dos vasos. A marcação das plantas enriquecidas com ^{15}N foi realizada através da aplicação de $(\text{N}^{15}\text{H}_4)_2\text{SO}_4$ (10 atom % ^{15}N). A quantidade total de N utilizada em cada vaso foi equivalente a 190 kg ha^{-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 e a fonte de N foi o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

A coleta dos resíduos culturais da parte aérea e das raízes foi realizada quando as culturas se encontravam no estágio de maturação fisiológica. A parte aérea foi obtida cortando-se as plantas rente ao solo e após a coleta o material vegetal foi separado em talos (soja), colmos (sorgo e arroz), folhas, grãos e vagens. Em seguida, procedeu-se a coleta das raízes separando-as manualmente do solo. Após, as raízes coletadas foram lavadas com água corrente sob peneira de 1-mm. Os resíduos da parte aérea e as raízes foram secos a 45°C em estufa com ar forçado até peso constante. Para o presente estudo foram separados e preparados os talos (soja), colmos (sorgo e arroz) e folhas das plantas enriquecidas com ^{15}N e as raízes das plantas não enriquecidas. O material vegetal foi picado manualmente com auxílio de tesoura em pedaços de aproximadamente 1-cm e armazenadas em sacos plásticos até o início da incubação. O material picado foi subamostrado duas vezes. Uma subamostra foi moída em moinho de facas tipo Wiley e separada em duas partes, uma usada para a análise química através do método de Van Soest conforme descrito por Redin et al. (2014) e a outra usada para determinar a matéria seca (MS) a 105°C . A segunda subamostra foi usada na determinação da MS a 65°C . Após pesada a subamostra foi finamente moída em moinho de bolas para a análise do teor de C e N total e da abundância isotópica de ^{15}N . O teor de C e N total foi determinado em analisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Electron Corporation, Milan, Italy). A abundância isotópica de ^{15}N foi determinada em espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS) (Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) acoplado a um analisador elementar (Flash EA 2000, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) do Laboratório de Análise Elementar e Isótopos Estáveis do Departamento de

Solos da UFSM. As características químicas da palha e das raízes utilizadas no experimento estão apresentadas na tabela 2.

2.2.3 Desenho experimental e condições de incubação

Os tratamentos consistiram na combinação dos dois solos, modalidades de uso da palha do arroz e tipos de resíduos culturais, resultando em dez tratamentos: T1- Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr); T2- Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl); T3- PlaAr + palha de arroz incorporada (PArI); T4- PlaAr + palha de arroz em superfície (PArS); T5- PlaAr + palha de sorgo superfície (PSrS); T6-PlaAr + palha de soja superfície (PSaS); T7-PlaGl + PArI; T8- PlaGl + ParS; T9-PlaGl + PSrS; e T10- PlaGl + PSaS. Para a avaliação da modalidade de uso da palha foram utilizados os tratamentos com palha de arroz incorporada e palha de arroz em superfície. Para avaliação da qualidade dos resíduos culturais foram utilizados apenas os tratamentos com palhas de arroz, sorgo e soja em que a palha foi mantida em superfície. Os solos de todos os tratamentos com palha receberam raízes não enriquecidas com ^{15}N , as quais foram incorporadas ao solo.

As unidades experimentais de cada tratamento foram montadas em tubos de policloreto de vinil (PVC) com 14 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Na parte inferior de cada cilindro recebeu um tecido do tipo voal, cujo objetivo foi permitir a passagem da água que percolava pela coluna de solo sem que ocorressem perdas de solo e resíduos. Cada cilindro recebeu 235,6 g de solo seco, que após levemente compactado permaneceu com uma altura média interna de 10,4 cm e densidade média de $1,15 \text{ g cm}^3$. Cada solo permaneceu com a umidade equivalente a 80% da capacidade de campo. Durante a montagem das unidades experimentais, o solo foi colocado em uma barquete onde recebia apenas os resíduos das raízes nos tratamentos com a palha em superfície e as raízes e a palha de arroz nos tratamentos com resíduos incorporados. Em seguida, o solo e os resíduos foram misturados manualmente com auxílio de uma espátula e colocados nos PVCs.

Os PVCs com os tratamentos foram colocados sobre uma camada de 2,5 cm do mesmo solo presente em bandejas. Logo após, foi realizado o umedecimento do solo de todos os PVCs através da adição de 50mL de água destilada no PlaGl e 70 mL de água destilada no PlaAr. A quantidade de água adicionada foi definida a fim de garantir todo o umedecimento da coluna de solo dentro dos PVCs. O excesso de água percolou através da tela de voil e atingiu o solo sob os PVCs. A presença do solo abaixo dos PVCs tinha por objetivo de manter

o fluxo de água do solo do interior do PVC para o exterior impedindo a saturação do solo na parte inferior interna do PVC. Nos PVCs dos tratamentos com os resíduos em superfície, a palha foi adicionada na superfície do solo após o umedecimento do solo. Os resíduos adicionados na superfície foram previamente umedecidos pela adição 2,5 mL de água destilada. A quantidade de resíduos utilizada em todos os tratamentos foi equivalente a 7 Mg ha⁻¹ palha (colmos + folhas) e a 2 Mg ha⁻¹ raízes, ou seja, 1,08g de palha e 0,36g de raízes.

A umidade do solo durante a incubação foi variável, sendo o solo dos PVCs re-umedecido em intervalos de aproximadamente duas semanas. A definição do momento da reposição da água era baseada pela umidade do solo, a qual era determinada por meio da pesagem das unidades experimentais. Em cada reposição de água foram adicionados 50 mL de H₂O destilada de forma lenta simulando uma precipitação de 25 mm com o auxílio de uma seringa acoplada a torneira com vasão do tipo “chuveirinho”, permitindo a distribuição da água em toda a superfície dos PVCs reduzindo a ocorrência de fluxo preferencial da água na coluna de solo. Foram realizadas dez irrigações durante o período do experimento. Ao final de cada irrigação parte da água aplicada na parte superior do solo nos PVCs atingia o solo sob os PVCs acondicionados nas bandejas. A quantidade de água que percolou em cada irrigação não foi medida.

2.2.4 Avaliações das transformações do N

As avaliações de N e ¹⁵N total na palha e de N mineral, ¹⁵N mineral, N e ¹⁵N total e ¹⁵N orgânico no solo foram realizadas aos 30, 90 e 180 dias após a instalação do experimento. Em cada data, foi realizada a avaliação destrutiva de três repetições de cada tratamento, o que totalizava 30 cilindros por data. Inicialmente foi realizada a coleta da palha nos tratamentos com a palha em superfície. Em seguida, foi realizada a retirada da coluna de solo dos PVCs, a qual era medida, pesada e separada em duas camadas, 0-5 e 5-10 cm. Por fim, cada camada era pesada e realizada a coleta dos resíduos incorporados no solo, separando as raízes da palha. A palha e as raízes foram secas a 65°C para a determinação da MS e posterior análise de N e ¹⁵N total. Os valores de ¹⁵N orgânico foram obtidos através da subtração dos valores de ¹⁵N total no solo sobre os valores de ¹⁵N mineral no solo. O solo úmido foi subamostrado para as avaliações de N e ¹⁵N mineral e umidade. O restante do solo foi peneirado em peneira de 2-mm e seco ao ar para posterior análise do N e ¹⁵N total.

2.2.4.1 N e ^{15}N total nos resíduos e no solo

Em cada avaliação, a palha seca em estufa a 65°C foi pesada para determinar a quantidade de MS remanescente. As amostras secas de palha e de solo foram finamente moídas em moinho do tipo bolas. O conteúdo de N total nos resíduos e no solo foi analisado em analisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Electron Corporation, Milan, Italy). A abundância isotópica de ^{15}N nos resíduos e no solo foi analisada com um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS) (Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) acoplado a um analisador elementar (Flash EA 2000, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) no Laboratório de Análise Elementar e Isótopos Estáveis do Departamento de Solos da UFSM.

2.2.4.2 N e ^{15}N mineral

Em cada avaliação o N-mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) foi extraído de 20g de solo úmido com 80 mL de $\text{KCl } 1\text{mol L}^{-1}$. A mistura solo + solução extratora foi agitada em agitador mecânico horizontal por 30 minutos e em seguida foi deixada em repouso por 30 minutos. Após, retirou-se uma alíquota de 20 mL do sobrenadante, na qual foi adicionado simultaneamente 0,2g de Oxido de Magnésio (MgO) e 0,2g de Liga Devarda para destilação em destilador de arraste de vapores do tipo semimicro Kjeldhal (Tedesco et al., 1995). A titulação da solução receptora na destilação foi realizada com ácido sulfúrico (H_2SO_4).

O ^{15}N -mineral no solo foi determinado de acordo com o método de microdifusão (Brooks et al., 1989). A quantidade de sobrenadante de extrato de solo com KCl usada para difusão foi calculada para conter no mínimo $70 \mu\text{g N}$. Em cada frasco com o sobrenadante foi adicionado 0,4 g de oxido de magnésio e 0,4 gramas de liga devarda. No gancho fixado na parte interna da tampa do frasco foi colocado um filtro e aplicado $10 \mu\text{l}$ de sulfato ácido de potássio (KHSO_4), na concentração de 2M, com o objetivo de captar o N que estava sendo volatilizado. Os frascos foram armazenados por sete dias em incubadora na temperatura média de 24°C , sendo que a cada dois dias os frascos foram movimentados levemente e no sétimo dia os filtros foram retirados e colocados para secar por 30 minutos na temperatura de 50°C . Após a secagem dos filtros estes foram colocados em cápsulas de estanho para a análise da abundância de ^{15}N no IRMS conforme indicado para os resíduos e o solo.

2.2.5 Temperatura e umidade do solo

A temperatura do solo dos cilindros foi medida diariamente através de sensores construídos com fios termopares do tipo T- cobre – constantan, soldados com estanho e envolvidos por resina epóxi para evitar sua oxidação. Foram instalados 20 sensores (dois para cada tratamento) de medição de temperatura, os quais foram conectados ao Multiplexer AM 16/32, ligado ao registrador de dados (Modelo: CS 1000, Campbell Equipment Inc., EUA) que coletava os dados a cada dez minutos. A partir dos dados coletados, foram calculadas as médias diárias apresentadas no anexo 3.

A umidade do solo foi determinada duas vezes por semana por meio de pesagens de três unidades experimentais de cada tratamento (18 cilindros). Em cada unidade experimental era conhecido o peso do PVC e de solo seco. A quantidade de água no solo de cada unidade experimental era determinada pela diferença entre o peso dos PVCs + solo úmido e o peso do PVC + solo seco.

2.2.6 Cálculos e análise estatística

O ^{15}N recuperado nos resíduos e no solo foi calculado com a seguinte equação:

$$^{15}\text{N} = [N_{pool} \times (Atom_{tr} - Atom_{ts})] \div 100 \quad (1)$$

sendo N_{pool} a quantidade de N nos resíduos e no solo (N total e N mineral); $Atom_{tr}$ o átomos % de ^{15}N dos resíduos ou do solo dos tratamentos com palha; e $Atom_{ts}$ o átomos % de ^{15}N do solo nos tratamentos sem palha ou átomos % de ^{15}N do ar (0.36765 atom %) quando a equação foi aplicada no cálculo da recuperação do ^{15}N nos resíduos.

A percentagem do ^{15}N adicionado, recuperado nos resíduos remanescentes e no solo foi calculado considerando a quantidade de ^{15}N recuperada nos resíduos e no solo e a quantidade total de ^{15}N adicionado com os resíduos em cada tratamento.

Os dados obtidos foram separados em dos conjuntos. O primeiro conjunto foi composto pelos dados obtidos nos tratamentos controles e nos tratamentos com a palha de arroz em superfície e incorporada. O segundo conjunto também foi formado pelos dados dos tratamentos controles e daqueles dos tratamentos com a palha de arroz, sorgo e soja na superfície do solo. Os dois conjuntos de dados foram submetidos à análise de variância, sendo testada para o primeiro conjunto de dados a interação entre os fatores modalidade de uso da palha de arroz (incorporado ou em superfície) e tipo de solo e para o segundo conjunto de

dados a interação entre os fatores tipo de resíduos (arroz, sorgo e soja) e tipo de solo. As médias de tratamentos foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5 %. Todos os dados foram analisados usando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 ^{15}N remanescente

A dinâmica de liberação de N da palha, independente da modalidade de uso, tipo de palha e do solo, apresentou um comportamento semelhante com duas fases distintas, a primeira nos 30 dias após a adição da palha ao solo, quando o N foi rapidamente liberado, e a segunda, após este período, em que o N foi liberado mais lentamente (Figura 1 e 2). A rápida liberação de N após a adição da palha ao solo deve estar relacionada a liberação de substâncias solúveis e facilmente degradáveis contendo N nas formas de aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas (COPPENS, 2006). Após a liberação desta fração, aumenta a proporção na palha de formas recalcitrantes de N, ligados a parede celular e em taninos e polifenóis que são de difícil assimilação e mineralização (AITA & GIACOMINI, 2003; ABIVEN et al., 2005; REDIN et al., 2014). Esse comportamento na dinâmica do N também foi observado em condições de campo por Amado et al. (2000) com palha de aveia e ervilhaca com e sem incorporação ao solo e Lupwayi et al. (2004) com palha de trevo vermelho, ervilha forrageira, canola e trigo incorporadas e em superfície e em condições de laboratório por Abiven et al. (2005) com palha de arroz, soja, sorgo, braquiária e trigo na superfície do solo.

Os resultados relacionados a modalidade de uso da palha de arroz indicam que a quantidade de ^{15}N remanescente na palha nas três datas de avaliação foi influenciada pela modalidade de uso, mas não pelo tipo de solo ou pela interação entre esses dois fatores (Tabela 3). Em todas as datas de avaliação, na média dos dois solos, a quantidade de N remanescente foi maior na palha em superfície do que na palha incorporada, sendo que aos 30 dias, a quantidade de N remanescente na palha em superfície foi duas vezes maior do que na palha incorporada ao solo (69,6% vs 33,1%) (Figura 1). Ao final do experimento, enquanto na palha em superfície foram encontrados 47,1% do N adicionado, na palha incorporada ao solo esse valor foi de apenas 17,3%. No estudo de Amado et al. (2000) a palha de aveia em superfície aos 120 dias também apresentou quatro vezes menos N remanescente do que a palha de aveia incorporada ao solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Mazzocini et al. (2016) onde observou uma maior liberação de N em resíduos de arroz

incorporados ao solo. Coppens et al. (2006) encontraram o mesmo efeito da incorporação em relação a manutenção da palha de colza em superfície.

Considerando apenas as palhas em superfície, não houve diferenças nas quantidades de N liberada em nenhum dos solos avaliados até os primeiros 30 dias (Tabela 3), quando foi medido na média das três palhas e dos dois solos 70% do ^{15}N adicionado com as palhas (liberação de 1% de N dia⁻¹). Tal resultado pode estar relacionado ao fato de que as palhas apresentaram valores semelhantes de fração solúvel (Tabela 2). Já aos 90 dias, independente do solo, os valores de ^{15}N remanescente medidos na palha de soja foram inferiores aos medidos na palha de arroz e sorgo. Isso ocorreu devido que no período entre 31 e 90 dias, enquanto a taxa de liberação de N para as palhas de gramínea foi de 0,18% de N dia⁻¹, para a palha da leguminosa foi de 0,58% do N aplicado dia⁻¹. Possivelmente a manutenção de maiores taxas de liberação de N na palha de soja até os primeiros 90 dias esteja relacionado ao maior teor de N (menor C:N) e menor teor de hemicelulose na palhada leguminosa comparado às palhas das gramíneas. Após o período com altas taxas de liberação de N os valores de ^{15}N remanescente decresceram lentamente na palha de arroz e sorgo e tenderam a estabilização na palha de soja. Essa redução na taxa de liberação de N deve estar relacionada ao aumento na proporção de compostos de mais difícil degradação na palha (AITA & GIACOMINI, 2003; ABIVEN et al., 2005; REDIN et al., 2014) já que na fase inicial ocorreu a diminuição dos compostos de mais fácil degradação. Os menores teores de N e maiores teores de hemicelulose na palha do arroz e sorgo e de lignina na soja devem ter contribuído para as baixas taxas de mineralização nesse período. Segundo Vanlauwe et al. (1997), resíduos com teores elevados de lignina diminuíram significativamente as taxas de liberação de N em estágios avançados de decomposição. Ao final do experimento a quantidade de ^{15}N remanescente foi influenciada pela interação entre tipo de palha e solo, sendo os menores valores de ^{15}N encontrado na palha de soja e no solo PlaGl.

A liberação do N dos resíduos culturais ocorre através de dois processos. O primeiro, relacionado a degradação dos resíduos pelos microrganismos do solo, que ao atacarem o resíduo em busca de energia e fonte de C utilizam o N para atender as demandas de biossíntese (MARY et al., 1996). Quando a quantidade de N nos resíduos é elevada as necessidades microbianas são facilmente atendidas e parte do N do resíduo degradado pode ser liberada no solo na forma mineral. Já quando a quantidade de N nos resíduos é baixa, os mesmos não encontram o N necessário e necessitam retirar o N do ambiente immobilizando o N para que possam utilizar a energia e o C da palha. Aliado ao processo de decomposição e mineralização ocorre a liberação de N dos resíduos através de material particulado que

contém compostos de N (BINGHAM & COTRUFO, 2016). O segundo, está relacionado a difusão para o solo de formas solúveis de N presente nos resíduos. A difusão do N depende das características físicas e químicas dos resíduos e pode ser aumentada com a quebra dos compostos que formam a parede celular pela ação microbiana durante o processo de decomposição.

A menor quantidade de N remanescente na palha de arroz incorporada comparada a palha de arroz em superfície pode ser devido a combinação de uma alta taxa de decomposição e uma maior difusão do N solúvel para o solo. Isso ocorre devido ao aumento do contato entre a palha e o solo, o que favorece a colonização da palha pelos microrganismos (COPPENSA et al., 2007). Com a incorporação da palha a decomposição também é favorecida pelas melhores condições de disponibilidade de água e nutrientes junto aos sítios de decomposição. Lupwayi et al. (2004), também constataram que o aumento da área de contato do resíduo com o solo facilita o acesso da população microbiana aos nutrientes, como o N, resultando em maiores taxas de decomposição. Já a maior liberação de N da palha da leguminosa (soja) em relação as gramíneas (arroz e sorgo) se deve as características químicas da palha de soja que são favoráveis ao processo de decomposição e mineralização de N. Resíduos com baixa relação C/N são decompostos mais rápido em relação aos resíduos de alta C/N (ISAAC et al., 2000; HADAS et al., 2004). A concentração de N nos resíduos possui um importante papel nos processos de decomposição, pois é um fator limitante no desenvolvimento microbiano (RECOUS et al., 1995). Carranca et al. (2009) avaliando a dinâmica do C e N em resíduos de leguminosas e gramíneas, também encontraram maiores taxas de liberação de N nos primeiros 3 meses nos tratamentos com resíduos de leguminosas. Os resíduos de sorgo e arroz possuem alta relação C/N apresentando as menores taxas de decomposição em relação a soja.

Os resultados de ^{15}N remanescente relacionados a modalidade de uso da palha de arroz indicaram ausência do efeito do tipo de solo. Considerando que o solo PlaGl apresentou 1,6 vezes mais argila + silte do que o solo PlaAr era esperado uma possível redução na liberação de N principalmente na palha incorporado no solo PlaGl devido a uma possível proteção dos compostos orgânicos da palha pelos argilominerais nesse solo. Considerando os resultados de ^{15}N remanescente das palhas em superfície, o efeito do solo foi observado apenas a partir dos 90 dias. Ao contrário do esperado, maior liberação de N ocorreu no solo PlaGl do que no PlaAr. Luce et al. (2014) também verificaram efeito reduzido do solo em estudo com resíduos de fava (C:N = 29) e trigo (C:N = 91) incorporados em um solo arenoso (157 g kg⁻¹ de argila) e argiloso (410 g kg⁻¹ de argila). A concentração de argila desempenha um importante papel na decomposição dos resíduos, pois pode limitar esse processo devido a forte ligação e

oclusão da MOS em agregados, diminuindo a capacidade de atuação dos microrganismos (OADES, 1988; AMATO & LADD, 1992). No entanto, o contato reduzido das palhas com o solo quando as mesmas estão na superfície do solo reduz ainda mais a probabilidade de ocorrência de efeito do tipo de solo sobre a mineralização de N.

2.3.2 ^{15}N no solo

O ^{15}N adicionado com as palhas passa para o solo na forma de compostos orgânicos de N presente em frações leves e em materiais particulados, dissolvido em água e na biomassa microbiana e seus subprodutos e na forma de N mineral, liberado diretamente dos resíduos e, ou, gerado pela mineralização do N durante a decomposição da palha. No solo, os compostos orgânicos contendo N podem ser atacados pelos microrganismos e, ou, serem estabilizados na matriz do solo fazendo parte da matéria orgânica do solo (MOS), assim como os subprodutos do metabolismo microbiano. O N na biomassa microbiana é considerado a fração de N mais lábil no solo, podendo representar uma fonte (substrato) e, ou, dreno (assimilação) do N mineral no solo (BROOKES et al., 2001; LUCE et al., 2014).

Os resultados relacionados a modalidade de uso da palha de arroz indicam que a quantidade de ^{15}N total no solo foi influenciada pela modalidade de uso nas três datas de avaliação e pelo tipo de solo apenas ao final do experimento, mas em nenhuma avaliação foi influenciada pela interação entre esses dois fatores (Tabela 3). A quantidade de ^{15}N mineral encontrada na camada de 0-10 cm dos dois solos com a palha de arroz incorporada ou na superfície durante a condução do experimento variou de apenas 0,1 a 1,8% do ^{15}N adicionado (dados não mostrados). Com isso a maior parte do ^{15}N no solo estava na forma orgânica, variando de 98 a 99% do ^{15}N total no solo com a palha incorporada. Já no solo com a palha em superfície a proporção do ^{15}N na forma orgânica aumentou durante o experimento, sendo de 74% aos 30 dias, 89% aos 90 dias e 96% aos 180 dias. Essa menor proporção de N orgânico na fase inicial do experimento não está relacionada a um maior teor de ^{15}N mineral no solo, mas sim devido aos baixos valores de ^{15}N total medidos no solo com a palha em superfície.

A quantidade de ^{15}N total no solo nas três datas de avaliação sempre foi maior nos tratamentos com a palha incorporada do que com a palha na superfície do solo (Figura 3 e Tabela 4). Em ambos solos a quantidade de ^{15}N total na palha incorporada foi de 37% já nos primeiros 30 dias e aumentou linearmente até os 180 dias quando atingiu 48%. Com a palha em superfície a quantidade de ^{15}N foi de apenas 2,8% aos 30 dias, subiu para 11,8% aos 90

dias e atingiu o valor máximo de 15,4% aos 180 dias. Pode-se observar que ao final do experimento foram encontradas quantidades de ^{15}N total no solo com a palha incorporada três vezes maior do que com a palha em superfície. A maior quantidade de ^{15}N no solo, basicamente na forma orgânica, com a palha incorporada do que com a palha em superfície pode ser explicada em parte devido que o aumento do contato entre o resíduo e o solo possivelmente favoreceu o ataque dos microrganismos na palha, resultando em uma rápida decomposição e crescimento microbiano e seus subprodutos, os quais são os maiores contribuintes para a formação da MOS (KNICKER, 2011). Aliado a isso, um aumento na degradação da palha pode ter favorecido a liberação do N dissolvido em água e em compostos na fração leve e materiais orgânicos particulados para o solo. O incremento da decomposição da palha de arroz com elevada relação C:N também pode favorecer um maior incremento na produção de ^{15}N orgânico no solo por favorecer a imobilização de N (BINGHAM & COTRUFO, 2016). Em vez do N ser mineralizado e ser liberado para o solo na forma mineral, o N passa a fazer parte das células microbianas e de seus subprodutos. Essa condição possivelmente é estimulada com a palha incorporada. Também, é preciso destacar que comparado a palha em superfície, a palha incorporada promove no solo importante fração de ^{15}N presente em frações leves e em materiais particulados que não indicam que esse N está estabilizado no solo e ainda poderá sofrer transformações microbianas.

Além de afetar a quantidade de ^{15}N recuperada no solo a modalidade de uso da palha afetou a distribuição do N no solo (Tabela 4). Enquanto com a palha incorporada o ^{15}N no solo esteve distribuído de forma semelhante nas camadas 0-5 e 5-10 cm, com a palha em superfície houve uma concentração do ^{15}N na camada de 0-5 cm, onde foram encontrados na média das três avaliações 82% do ^{15}N presente na camada 0-10cm. Esse resultado se deve a permanência da palha na superfície do solo. Coppens et al. (2006), avaliando o efeito da modalidade de uso de palha de colza em diferentes profundidades de solo, verificaram que após cada evento a concentração de N acumulou-se nos primeiros 2 cm da camada de solo nos tratamentos onde os resíduos foram mantidos em superfície. Os autores ainda verificaram que após 90 dias houve um maior acúmulo de N na camada de 0-5 cm do solo em comparação ao tratamento onde os resíduos foram incorporados.

Considerando apenas as palhas em superfície, a quantidade de ^{15}N total no solo foi influenciada aos 30 dias pela interação entre palha e solo (Tabela 3). Nesse período os maiores valores de ^{15}N total foram observados com a palha de soja e no PlaGl. Já aos 90 e 180 dias a interação entre esses fatores foi não significativa e houve efeito apenas do tipo de palha. Ao final do experimento (180 dias) a quantidade de ^{15}N total na média dos dois solos

decreceu na seguinte ordem: soja (23,2%) > arroz (15,4%) > sorgo (12,8%). Quanto a quantidade de ^{15}N na forma mineral, nas três datas de avaliação os valores para essa variável foram influenciados pela interação entre palha e solo, sendo sempre superiores com a palha de soja do que com a palha de arroz e sorgo que não diferiram entre si. A quantidade de ^{15}N mineral com a leguminosa comparado a média das duas gramíneas foi três vezes maior aos 30 dias (0,9% vs 0,3%) e aproximadamente cinco vezes maior aos 90 (6,5% vs 1,2%) e 180 dias (6,7% e 1,3%). No início do experimento em função dos baixos valores de ^{15}N mineral no solo a maior parte do ^{15}N total se encontrava na forma orgânica sendo influenciada pela interação entre palha e solo conforme observado para o ^{15}N total. Aos 90 dias o ^{15}N orgânico continuou sendo influenciado pela interação entre palha e solo. Já aos 180 dias foi observado apenas efeito do tipo de solo com maior quantidade de ^{15}N orgânico no PlaGl do que no PlaAr (16% vs 12%). A quantidade de ^{15}N total média das três palhas nos dois solos nesse período foi de 17%.

A qualidade química das palhas ao final do experimento afetou a quantidade de ^{15}N total no solo, mas não a quantidade de ^{15}N orgânico no solo. A ausência de efeito do tipo de palha sobre o ^{15}N orgânico, mesmo com a palha da leguminosa ter provocado um aumento de 1,6 vezes maior no ^{15}N total do que às gramíneas, deve-se que com a palha de soja 1/3 do ^{15}N no solo estava na forma mineral. Mesmo a palha de soja ter apresentado maior liberação de N dos resíduos não ocorreu aumento significativo na quantidade de N no solo, em função de que durante sua decomposição importante fração do N presente na palha foi mineralizado. Isso foi demonstrado a partir dos maiores valores de ^{15}N mineral medidos no solo com a palha da soja e estão relacionados ao maior teor de N (menor C:N) na palha da leguminosa do que das gramíneas. Os resultados do presente estudo indicam que em curto prazo a composição química dos resíduos não afeta a quantidade de ^{15}N orgânico no solo e que as transformações do ^{15}N orgânico no solo e aquele ainda presente nos resíduos irão determinar a longo prazo o efeito da composição química da palha sobre os estoques de N no solo. É importante destacar que na média dos dois solos, a quantidade de N nas palhas de gramínea é aproximadamente 1,4 vezes maior do que na palha de leguminosa (49% vs 36%).

Independente da modalidade de uso e tipo de palha, ao final do experimento, maiores quantidades de ^{15}N no solo foram observadas no PlaGl do que no PlaAr. Esse resultado indica que a curto prazo o tipo de solo influenciou a quantidade de ^{15}N presente no solo. As maiores concentrações de N total no PlaGl possivelmente estão associadas a maior concentração de argila + silte nesse solo. Vários fatores são importantes para a adsorção de N as partículas de solo, tais como: propriedades minerais do solo e proteínas, pH e presença de MO (von

LUTZOW et al., 2006; YU et al., 2013). A presença de argila no solo é importante para o armazenamento de N, minerais filossilicatos desempenham um papel importante na manutenção da MOS e são frequentemente associados com elevados níveis de retenção de N (DEB& SHUKLA, 2011; GRANDY et al., 2009). De acordo com Rillig et al. (2007), os pequenos espaços porosos e a natureza expansível de alguns minerais de argila aumentam a capacidade de adsorção do N. Hammermeister et al. (1993), afirmam que solos com maior teor de argila resultam em maior retenção de N orgânico e menores taxas de decomposição.

Os baixos valores de ^{15}N mineral medidos no solo ocorrem devido que parte do ^{15}N mineralizado não foi quantificado devido o mesmo ter percolado do solo dos PVCs por ocasião das aplicações de água. Os resultados da tabela 4 apontam que 32% do ^{15}N aplicado pelas palhas não foi recuperado na média das três avaliações e indicam que essa fração de N tenha percolado do solo principalmente na forma de N mineral. Parte deste ^{15}N também pode ter percolado no solo na forma de N orgânico em compostos de baixo peso molecular e também pode ter sido perdido nas formas gasosas de NO, N_2O e N_2 . Grande parte do N mineralizado no solo é oriundo das frações lábeis, no entanto, o aumento do fornecimento de uma fonte lábil nem sempre irá aumentar os teores de N no solo (SHARIF et al., 2008). Luce et al. (2014) em estudo com a aplicação de palha de trigo, feijão fava em dois solos, verificou que houve influência do resíduo e do tipo de solo nos valores de ^{15}N adicionado, após 112 dias de experimento foram encontrados maiores valores de ^{15}N mineral na palha de feijão no solo arenoso em relação ao argiloso (valores de 36% e 22% respectivamente) para a palha de trigo os valores foram de 13% e 20% para solo argiloso e arenoso respectivamente.

2.3.3 N mineral no solo

O solo PlaAr apresentou nas três avaliações teor de N mineral superior ao do solo PlaGl (Figura 5 e 6), mesmo o solo PlaAr ter apresentado no início do experimento menor teor de N mineral do que o solo PlaGl (Tabela 1). Considerando apenas o tratamento controle, sem palha, a quantidade média de N mineral nas três avaliações na camada de 0-10 cm foi de 17 mg kg^{-1} no PlaAr contra apenas 8 mg kg^{-1} no PlaGl. A partir desses valores não é possível estimar se o solo PlaAr apresentou maior mineralização basal de N do que o solo PlaGl, devido a não quantificação do N mineral que percolou através do solo por ocasião das aplicações de água. Com base nos teores de C e N dos solos utilizados no experimento pode-se inferir que a quantidade de N mineralizado durante o experimento tenha sido semelhante

entre os dois solos. No entanto, o solo PlaGl apresenta 1,6 vezes mais argila + silte do que o PlaAr (460 vs 254 g kg⁻¹) o que pode ter limitado a mineralização basal de N no PlaGl devido a maior proteção do ataque microbiano da matéria orgânica do solo pela fração argila. Além da proteção, os maiores teores de argila + silte podem afetar a disponibilidade do N mineralizado. Pullicino et al. (2013) evidenciaram que a argila foi responsável pela imobilização imediata de 10-13% do N. Solos argilosos contêm valores elevados de N orgânico (SIX et al., 2004), mas tendem a possuir valores inferiores nas taxas de transformação do N em relação a solos arenosos devido a maior proteção física da MOS (KOLBL et al., 2006).

O efeito da presença das raízes e da palha no solo sobre a disponibilidade de N pode ser estimado através da subtração dos valores de N mineral do solo do tratamento controle daquele dos solos dos tratamentos com palha incorporada e em superfície. Quando positivo, esse cálculo indica a ocorrência de mineralização líquida de N e quando negativo, imobilização líquida.

No solo PlaAr, a palha incorporada provocou redução nos teores de N mineral em relação ao controle nas três datas de avaliação, sendo observada diferenças significativas entre esses tratamentos apenas aos 30 e 90 dias (imobilização de 10,7 e 7,9 mg de N kg⁻¹, respectivamente). No mesmo solo e com a palha em superfície houve diferença com o controle apenas aos 180 dias, em que a imobilização de N atingiu 6,4 mg de N kg⁻¹. Já no solo PlaGl, foi observada diferença entre tratamentos aos 30 e 90 dias. Aos 30 dias, o tratamento com a palha em superfície apresentou mineralização de N (6,7 mg N kg⁻¹) e aos 90 dias ocorreu somente imobilização de N, atingindo 4,8 mg N kg⁻¹ com a palha em superfície e 8,7 mg N kg⁻¹ com a palha incorporada. De maneira geral, a ocorrência de imobilização de N esteve relacionada com a incorporação da palha e principalmente no solo PlaAr. A incorporação da palha no solo estimula a atividade microbiana devido a adição de material orgânico fresco, aliado a alta relação C:N da palha ocorre a imobilização do N (COPPENS, 2006). Estes resultados corroboram com os de Corbeels et al., (2003), onde verificaram que uma maior imobilização do N quando os resíduos foram picados e incorporados ao solo, do que quando eles foram cortados e deixados em superfície.

Considerando apenas as palhas em superfície, a quantidade de N mineral foi influenciada nas três datas de avaliação pelo efeito isolado dos fatores palha e solo e apenas na avaliação realizada aos 90 dias ocorreu interação entre esses dois fatores. Os tratamentos com palha de soja foram os únicos que apresentaram em todas as datas de avaliação valores de N mineral superior ao do tratamento controle, indicando que os solos com a palha de soja

permaneceram em regime de mineralização líquida de N. Na média das três avaliações e dos dois solos o valor de mineralização líquida de N na presença da palha de soja atingiu $5,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Já com as palhas de gramínea foi observada imobilização líquida de N de $1,7 \text{ mg kg}^{-1}$ com a palha de arroz e de $1,9 \text{ mg kg}^{-1}$ com a palha de sorgo. A assimilação de N pelos microrganismos depende da taxa de assimilação do C e da relação C:N dos microrganismos decompositores. As fontes de N para os microrganismos podem ser a palha ou o N mineral do solo. Quando a quantidade de N na palha não atender a demanda da biomassa microbiana parte do N do solo pode ser utilizado para suprir as necessidades dos microrganismos e consequentemente ser imobilizado. Li et al. (2013) verificaram que a adição de resíduos de soja resultou numa maior mineralização de N em relação aos resíduos de milho. Tais variações na mineralização do N entre os tratamentos é influenciada pela qualidade do resíduo, com destaque para a concentração de N. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Redin et al. (2014), onde constataram que a mineralização do N foi linearmente relacionada com as concentrações de N nos resíduos, onde resíduos de baixa qualidade induziram imobilização líquida. Abiven et al. (2005) também constataram que a mineralização do N no solo foi diferente entre os resíduos (soja, arroz, sorgo, braquiária e trigo), onde a maior mineralização de N foi obtida com folhas de soja.

Embora que as medidas de ^{15}N e N mineral realizadas no presente estudo não possibilitem estimar a quantidade de N mineralizado nos resíduos, essas medidas permitem inferir que as palhas das gramíneas (arroz e sorgo), tendem a provocar imobilização de N e a palha da leguminosa, soja, resulta em mineralização de N. Considerando que esses resíduos serão decompostos em áreas de arroz no período de entressafra, pode-se estimar que as palhas de gramínea serão importantes para prevenir as perdas de N por lixiviação e por desnitrificação por estimular a imobilização do N. Por outro lado, esses resíduos não podem ser considerados fontes de N para culturas que poderão ser cultivadas em sucessão após a sua deposição ao solo. Já a palha de soja pode promover o aumento da disponibilidade de N no solo. Contudo, é importante que após a colheita da soja ocorra a semeadura de uma cultura como, por exemplo, o azevém, como forma de evitar que o N mineralizado a partir da palha de soja seja perdido do sistema e provoque impacto ambiental afetando a qualidade das águas e do ar.

2.3.4 ^{15}N recuperado

Os valores totais de ^{15}N recuperado (^{15}N na palha + ^{15}N no solo) nas três datas de avaliação não foram afetados pela modalidade de uso da palha e pelo tipo de solo e nem pela interação entre esses dois fatores (Tabela 3). Na média das duas modalidades de uso da palha nos dois solos a quantidade de ^{15}N recuperada foi de 71% aos 30 e 90 dias e de 64% aos 180 dias (Tabela 4). Embora os valores de ^{15}N recuperado tenham sido semelhantes entre as modalidades de uso da palha e solos, os mesmos resultam de valores distintos de ^{15}N na palha remanescente e no solo. Enquanto com a palha incorporada maior quantidade de ^{15}N foi recuperado no solo, com a palha em superfície maior quantidade de ^{15}N foi encontrada na palha. Esses resultados indicam que o manejo aplicado a palha não afeta a quantidade de N que permanece no solo a curto prazo (180 dias), mas em quais formas o N permanecem no solo.

Em relação aos tratamentos com palha na superfície do solo, a análise da variância dos dados indicou ausência de efeito da palha e do solo e da interação entre esses dois fatores sobre o ^{15}N recuperado aos 30 dias (Tabela 3), quando na média de todos os tratamentos foi recuperado 70% do ^{15}N adicionado aos solos com as palhas. Aos 90 dias foi observado efeito apenas do tipo de palha, sendo que na presença da palha da leguminosa foi medido o menor valor de ^{15}N recuperado (59%) o qual foi significativamente inferior ao medido na presença das palhas de gramínea (média de 68%). Ao final do experimento o ^{15}N recuperado sofreu efeito da interação entre a palha e o solo. Enquanto no solo PlaGl a quantidade de ^{15}N recuperado decresceu na seguinte ordem: sorgo (69,6%) > arroz (67,1%) > soja (56,9%), no solo PlaAr não houve diferença entre as três palhas sendo o valor médio de recuperação de 60,1%. Quando considerada cada palha nos dois solos, maiores valores de ^{15}N recuperado com a palha do arroz e do sorgo no PlaGl do que no PlaAr. Já para a palha de soja não foi observada diferença entre os dois solos. Os maiores valores de ^{15}N recuperado com a palha de arroz e sorgo em relação a palha da soja estão relacionados principalmente a uma maior quantidade de ^{15}N recuperada na palha das gramíneas em função da menor decomposição e liberação de N comparado a leguminosa. Por outro lado, a maior quantidade de ^{15}N recuperado com a palha de arroz e sorgo no PlaGl foi devido que nesse solo houve uma combinação de maiores quantidades de ^{15}N remanescente nas palhas com maiores quantidades de ^{15}N no solo do que no solo PlaAr.

Os resultados de recuperação do ^{15}N aos 180 dias indicam que de 30 a 43% do ^{15}N adicionado com as palhas não foi recuperado. Tais valores são superiores comparado a estudos realizados em condições de laboratório em frascos sem fluxo de água (Trinsoutrot et al., 2000; Luce et al., 2014). Trabalhando com resíduos de colza enriquecidos com ^{15}N

incorporados ao solo Trinsoutrot et al. (2000) encontraram ao final de 168 dias de uma recuperação média de 96% do ^{15}N adicionado. Luce et al. (2014) verificaram ao final de 112 dias da incorporação de resíduos de trigo (C:N = 91) e feijão fava (C:N = 29) em solo arenoso e argiloso recuperação do ^{15}N aplicado que variou de 85 a 92%. A não recuperação de 8 a 15% do ^{15}N aplicado foi atribuído às perdas gasosas de N. No presente estudo, o solo estava em tubos PVCs que permitiam o fluxo de água, assim o déficit de ^{15}N pode estar relacionado principalmente a não quantificação da maior parte do N mineralizado e de formas orgânicas e inorgânicas solúveis de N que foram liberadas das palhas e percolaram pelo solo e em menor proporção a partir de formas gasosas de N como NO, N_2O e N_2 gerados na nitrificação e desnitrificação e como NH_3 através do processo de volatilização. No estudo de Luce et al. (2014), 17% e 29% do ^{15}N aplicado com o trigo e o feijão fava, respectivamente, foi medido na forma de N mineral aos 112 dias. Já Trinsoutrot et al. (2000) verificaram que 23% do ^{15}N adicionado ao solo com os talos de colza foram medidos na forma de N mineral no solo. Esses resultados reforçam a ideia de que boa parte do ^{15}N não medido no presente estudo foi devido a percolação no solo do ^{15}N mineral produzido a partir da decomposição das palhas. Tal inferência também pode explicar o maior déficit de ^{15}N medido nos tratamentos com a palha de soja, possivelmente pela maior mineralização de N apresentada pela palha da leguminosa.

A recuperação do ^{15}N na palha e no solo reduz com o avanço do experimento. Na média de todos os tratamentos o ^{15}N recuperado aos 30 dias foi de 73% e aos 180 dias reduziu para 65%. Embora ocorra essa redução na recuperação do ^{15}N com o passar do tempo, contata-se que a maior parte do déficit se estabelece nos primeiros 30 dias, período em que coincide com elevadas taxas de liberação de N das palhas. A redução na recuperação até o final do experimento deve estar relacionada a mineralização do N presente na palha e como a maior parte do N mineralizado percola no solo e não é quantificado aumenta o valor do déficit de ^{15}N .

2.4 CONCLUSÕES

A incorporação da palha comparado a sua manutenção na superfície do solo promove maior liberação de N da palha, maior quantidade de N orgânico no solo e quantidade semelhante de N recuperado (palha + solo) após 180 dias.

A decomposição da palha de arroz incorporada ou na superfície do solo e a quantidade de N recuperada (palha + solo) após 180 dias não foram afetadas pelo tipo de solo. O tipo de solo afetou apenas a quantidade de N orgânico no solo, sendo observado, independente da

modalidade de uso da palha, os maiores valores no solo PlaGl que apresenta os maiores teores de argila + silte comparado ao PlaAr.

As palhas de gramíneas (arroz e sorgo) com menor teor de N (maior C:N) apresentaram menor quantidade de N liberada, mas promoveram quantidade semelhante de N orgânico nos dois solos em relação a palha da leguminosa (soja).

A quantidade de N recuperado (palha + solo) após 180 dias foi afetada pela interação entre palha e solo, sendo os maiores valores recuperados no solo PlaGl com as palhas de gramíneas do que com a leguminosa.

No solo PlaAr a quantidade de N recuperada não diferiu entre as três palhas.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIVEN, S.; RECOUS, S.; REYES, V.; OLIVER, R. Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. **BiolFertilSoils**, v. 42, p. 119-128, 2005.
- 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.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. & BRUM, A. C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2000.
- AMATO, M. & LADD, J. N. Decomposition of raclabelled glucose and legume material in a range of soils: Properties influencing the accumulation of organic residues and microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.** v. 24, p. 455-464, 1992.
- ANGERS, D. A.; RECOUS, S. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. **Plant and Soil**, v.189, p.197-203, 1997.
- BALESDENT, J., CHENU, C., BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research** v.53, p. 215–230, 2000.
- BINGHAM, A. H. & COTRUFO, F. M. Organic nitrogen storage in mineral soil: Implications for policy and management. **Science of the Total Environment**, p. 116-126, 2016.
- BIRD, J. A.; KLEBER, M.; TORN, M. S. ¹³C and ¹⁵N stabilization dynamics in soil organic matter fractions during needle and fine root decomposition. **Organic Geochemistry**, v. 39, p. 465-477, 2008.
- CARRANCA, C.; OLIVEIRA, A.; PAMPULHA, E.; TORRES, M. O. Temporal dynamics of soil nitrogen, carbono and microbial activity in conservative and disturbed fields amended with mature White lupine and oat residues. **Geoderma**, v. 151, p. 50-59, 2009.
- CARVALHO, A.; BUSTAMANTE, M.; ALCANTARA, F.; RESCK, I.; LEMOS, S. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil Tillage Res.** v.102, p.144–150, 2009.
- 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. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, p. 361-371, 2011.

- CONSTANTINIDES, M. e FOWNES, J. H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationships to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.26, n.1, p. 49-55, 1994.
- COPPENS, F.; GARNIER, P.; GRYZE, S.; MERCKX, R.; RECOUS, S. 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.
- COPPENSA, F.; GARNIERA, P.; FIDELINGC, A., MERCKXB, R., RECOUS, S. Decomposition against waste of corporate cultures: Modeling with PASTIS clarifies interactions between quality of waste and location. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 2339-2350, 2007.
- CORBEELS, M.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MENDHAM, D. S. & RANCE, S. J. Nitrogen release from eucalypt leaves and leume residues as influenced by their biochemical quality and degree of contact with soil. **Plant and Soil**, v.250, p. 15-28, 2003.
- DEB, S. K.; SHUKLA, M. K. A review of dissolved organic matter transport processes affecting soil and environmental quality. **J. Environment. Analytic Toxicol** 1, 2011.
- DEVKOTA, K. P.; MANSCHADI, A.; LAMERS, J.; DEVKOTA, M.; VLEK P. Mineral nitrogen dynamics in irrigated rice-wheat system under different irrigation and establishment methods and residue levels in arid drylands of Central Asia. **European Journal of Agronomy**, v.47, p. 65-76, 2013.
- DORAN, J.W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. **Biology and Fertility of Soils** v. 5, p. 68-75, 1987.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 353.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- FRANZLUEBBERS, A.J., HONS, F.M., ZUBERER, D.A. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management-systems. **Soil Science Society of America Journal** 58, 1639-1645, 1994.
- GALICIA, L.; FELIPE, G. O. Litter quality of two remnant tree species affects soil microbial activity in tropical seasonal pastures in Western Mexico. **Arid Land Research and Management Journal**, v. 25, p. 75-86, 2011.
- GOLLANY, H. T.; MOLINA, J. A.; CLAPP, C. E.; ALLMARAS, R. R.; LAYESE, M. F.; BAKER, J. M.; CHENG, H. H. Nitrogen leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization. **Environmental Management**, v.33, p.289-298, 2004.
- 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, 2006. 40p. — (Embrapa Clima Temperado. **Documentos**, 169).

GRANDY, A. S.; STRICKLAND, M. S.; LAUBER, C. L.; BRADFORD, M. A.; FIERER, N. The influence of microbial communities, management, and soil texture on soil organic matter chemistry. **Geoderma**, v. 150, p. 178-286, 2009.

HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M.; KARA, E. E. Rates of decomposition of plants residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 2, p. 255-266, 2004.

HAMMERMEISTERT, J. D. C.; MCGILL, W. B.; JENSEN, T. L. Nitrogen accumulations and relative rates of mineralization in two soils following legume green manuring. **Canadian Journal of Soil Science**, 1993.

HENRIKSEN, T.M. & BRELAND, T.A. Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil. **Biology and Fertility of Soils**, V.35, P.41-48, 2002.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Serviços e informações – Safras**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em 18 de janeiro de 2016.

ISAAC, L.; WOOD, C. W.; SHANON, D. A. Decomposition and nitrogen release of prunings from hedgerow species assessed nitrogen release of prunings from hedgerow species assessed for alley cropping in Haiti. **Agron**, v. 92, p. 501-511, 2000.

JAMALUDHEEN, V.; KUMAR, B. M. Litter of multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. **Forest Ecology and Management**, v. 115, p. 1-11, 1999.

JENSEN, L. S. et al. Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant material in soil. **Plant and Soil**, v. 273, p. 307-326, 2005.

KAEWPRADIT, W. et al. Mixing groundnut residues and rice straw to improve rice yield and N use efficiency. **Field Crops Research**, v. 110, p. 130-138, 2009.

KNICKER, H. Soil organic N – an under-rated player for C sequestration in soils? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1118-1129, 2011.

KÖLBL, A.; VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I. Decomposition and distribution of ¹⁵N labelled mustard litter (*Sinapis alba*) in physical soil fractions of a cropland with high- and low-yield field areas. **Soil Biol. Biochem.** v.38, p. 3292 e 3302, 2006.

LI, L. J.; HAN, X. Z.; YANG, M.; YUAN, Y.; DING, X.; QIAO, Y. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 54; p. 1-6, 2013.

LU, J. L.; XIAO, Z. H.; MENG, Y. Y.; YAN, Y. R.; DING, Y. Q. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 54, p. 1-6, 2013.

LUCE, M. St., WHALEN, J. K.; ZIADI, N.; ZEBARTH, B. J.; CHANTIGNY, M. H. Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with ¹⁵N-labelled faba bean and wheat residues. **Soil Biology & Biochemistry**, n.68, p.208-218, 2014.

LUCE, M. St.; GRANT, C. A.; ZIADI, N.; ZEBARTH, B. J.; O'DONOVAN, J.; BLACKSHAW, R. E.; HARKER, K. N.; JOHNSON, E. N.; GANG, Y.; TURKINGTON, K.; LUPWAYI, N. Z.; Mc LAREN, D. L. Preceding crops and nitrogen fertilization influence soil nitrogen cycling in no-till canola and wheat cropping systems. **Field Crops Research**, v. 191, p.20-32, 2016.

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, G. W.; O'DONOVAN, J. T.; HARKER, K. N.; TURKINGTON, T. K. & RICE, W. A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 117, p.35-42, 2004.

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

MARY, B., RECOUS, S., DARWIS, D., ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v.81, p.71-82, 1996.

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

MAZZOCINI, M.; ANTICHI, D.; Di BENE, C.; RISALITI, R.; PETRI, M.; BONARI, E. Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p. 156-175, 2016.

OADES, J. The retention of organic matter in soils. **Biochemistry**, v.5, p. 35-37, 1988.

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

PEDROTTI, A., PAULETTO, E. A., GOMES, A., TURATTI, A. L., CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.36, n.4, p. 709-715, 2001

PRESCOTT, C. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? **Biogeochemistry**, v. 101, p. 133-149, 2010.

PRESTON, C.; BHATTI, J.; FLANAGAN, L.; NORRIS, C. Stocks, chemistry, and sensitivity to climate change of dead organic matter along the Canadian boreal forest transect case study. **Clim. Change** v. 74, p. 223-251, 2006.

POTTHAST, K.; HAMER, U.; MAKESCHIN, F. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. **Soil Biology Biochemistry**, v. 42, p. 56-64, 2010.

PULLICINO, D. S.; CUCU, M. A.; SODANO, M.; BIRK, J. J.; GLASER, B.; CELI, L. Nitrogen immobilization in paddy soils as affected by redox conditions and rice straw incorporation. **Geoderma**, v. 229, p. 44-53, 2013.

PUTTASO, A., VITYAKON, P., SAENJAN, P., TRELO-GES, V., CADISCH, G., Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 89:159–174, 2011.

RECOUS, S., et al. Soil inorganic N Availability: effect on maize residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1529-1538, 1995.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; DIETRICH, G.; SKOLAUDE, A.; LUDKE, W.; SCHMATZ, R.; GIACOMINI, S. J. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixture decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 78, p.65-75, 2014.

RICE, C.W., SMITH, M.S., BLEVINS, R.L. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. **Soil Science Society of America Journal** v.50, p. 1206–1210, 1986.

RILLIG, M. C.; CALDWELL, B. A.; WOSTEN, H. A. B.; SOLLINS, P. Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence. **Biogeochemistry**, v. 85, p. 225-44, 2007.

SALL, S.; BERTRAND, I.; CHOTTE, J. L.; RECOUS, S. Separate effects of the biochemical quality and N content of crop residues on C and N dynamics in soil. **Biol Fertil Soil**, v. 43, p. 797-804, 2007.

SILVER, W. L.; MIYA, R. K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**, v. 129, p. 407-419, 2001.

SCHMATZ, R. **Interação entre a qualidade de resíduos culturais e a textura do solo com a dinâmica do carbono**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2015.

SHARIFI, M.; ZEBARTH, B. J.; BURTON, D. L.; GRANT, C. A.; BITTMAN, S.; DRURY, C. F.; McCONKEY, B. G.; ZIADI, N. Response of potentially mineralizable soil nitrogen and indices of nitrogen availability to tillage system. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, p.1124-1131, 2008.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, L. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage**, v. 79, p. 7-31, 2004.

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.

TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre:Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

THOMPSEN, I. K.; OLESEN, J. E.; SCHJONNING, P.; CHRISTENSEN, B. Net mineralization of soil N and ¹⁵N ryegrass residues in differently textured soils of similar mineralogical composition. *Soil Biol. Biochem.* v. 33, p. 277-285, 2001.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B. Biochemical quality of crop residues and carbono and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 918-926, 2000.

VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANJINGA, N.; MERCKX, R. Residue quality and decomposition: An unsteady relationship? In: CADISH, G.; GILLER, K. E. (Eds.) **Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition**, CAB International, Wallingford, p. 157-166. 1997.

VAN SOEST, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. **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. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Rev. Bras. Agrociência**. v. 15, p. 37-42, 2009.

VON LUTZOW, M., KOGEL-KNABNER, I., EKSCHMITT, K., MATZNER, E., GUGGENBERGER, G., MARSCHNER, B., FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal of Soil Science**. 57: 426–445, 2006.

YU, W. H.; LI, N.; TONG, D. S.; ZHOU, C. H.; LIN, C. X. C.; XU, C. Y. Adsorption of proteins and nucleic acids on clay minerals and their interactions: a review. **Appl Clay Sci**, v. 80, p. 443-452, 2013.

Tabela 1. Características físicas e químicas dos PlanossoloHidromórficoEutróficoarênico (PlaAr) e um PlanossoloHidromórficoEutróficogleissólico (PlaGl) utilizados no experimento.

Solo	Textura	Argila	Silte	Areia	C	N total	N mineral	pH
		----- g kg ⁻¹ -----					mg kg ⁻¹	
PlaAr	Franco arenosa	99	155	746	9,4	0,9	6	4,2
PlaGl	Franco arenosa	173	287	540	9,7	0,9	14	4,5

C: carbono orgânico do solo; N: nitrogênio no solo; Nmin: N mineral inicial. pH em H₂O

Tabela 2. Características química das palhas e raízes de arroz, sorgo e soja.

Resíduos	C total	N total	FS	CEL	HEM	LIG	C/N	¹⁵ N
	-----g kg ⁻¹ -----							atom % excess
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.

Tabela 3. Resultado da análise de variância mostrando o efeito da modalidade de uso da palha (M), do tipo de resíduo cultura (RC) e do tipo de solo (S) e a interação entre M x S e RC x S sobre o ^{15}N na palha e no solo (% do ^{15}N adicionado) e o N mineral no solo.

Variáveis	30 dias			90 dias			180 dias		
	M ^a	S ^b	M x S	M	S	M x S	M	S	M x S
^{15}N remanescente na palha	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
^{15}N total no solo	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
^{15}N orgânico no solo	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
^{15}N mineral no solo	*	*	ns	*	*	ns	ns	*	*
N mineral no solo	*	*	*	*	*	ns	ns	*	ns
^{15}N recuperado	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	RC ^c	S	RCxS	RC	S	RCxS	RC	S	RCxS
^{15}N remanescente na palha	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	*
^{15}N total no solo	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns
^{15}N orgânico no solo	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns
^{15}N mineral no solo	*	ns	*	*	ns	*	*	ns	*
N mineral no solo	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns
^{15}N recuperado	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*

^aM: palha incorporada ao solo ou palha na superfície do solo; ^bS: PlanossoloHáplicoeutróficogleissolico ou PlanossoloHidromórficoeutróficoarênico; ^cRC: resíduos culturais de arroz, sorgo ou soja; * $P < 0.05$, ns= não significativo

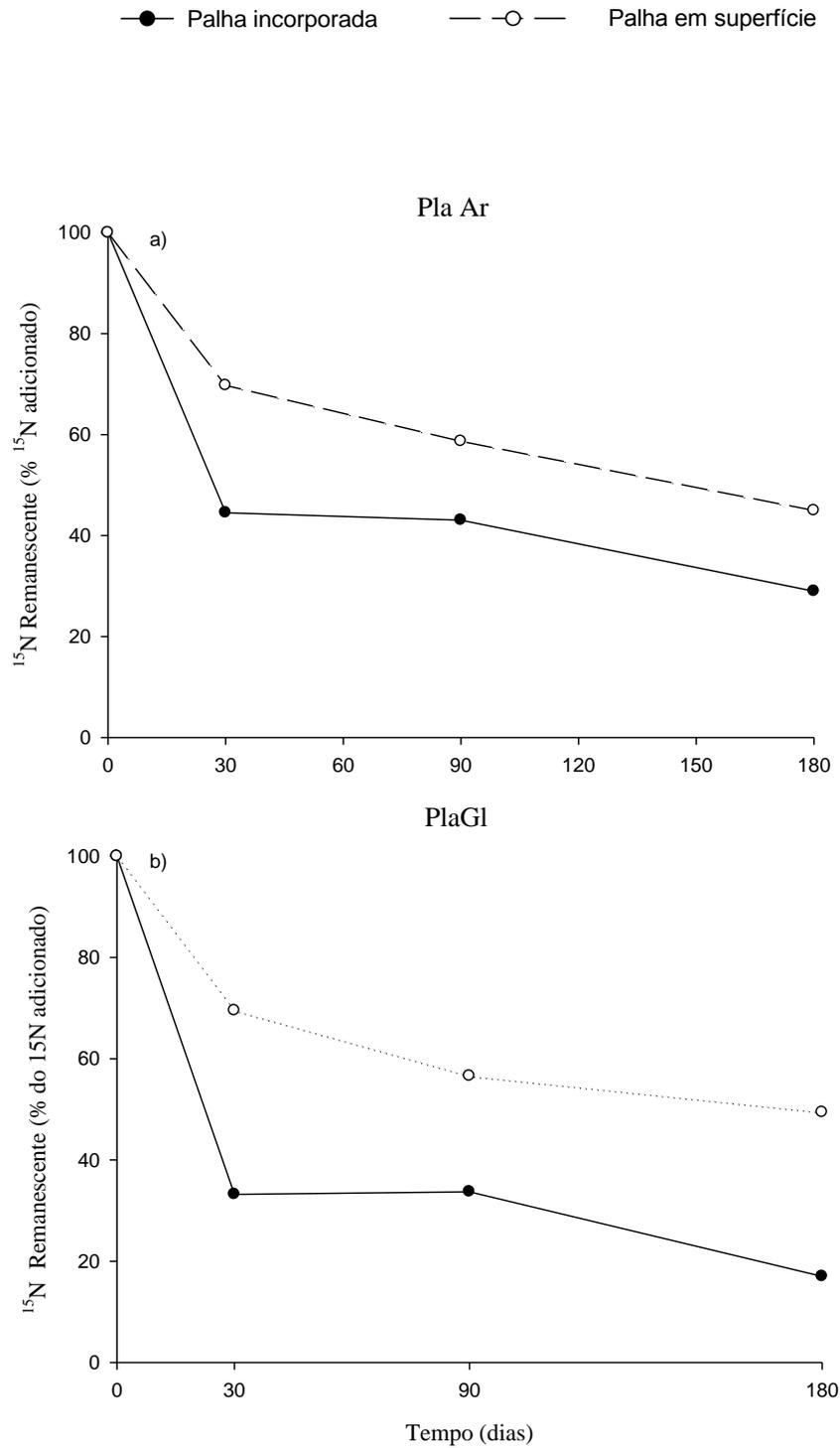


Figura 1. ^{15}N remanescente na palha de arroz sob duas modalidades de uso dos solos Planossolo Hidromórfico eutróficoarênico (PlaAr,a) e Planossolo Háplico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) durante 180 dias de experimento.

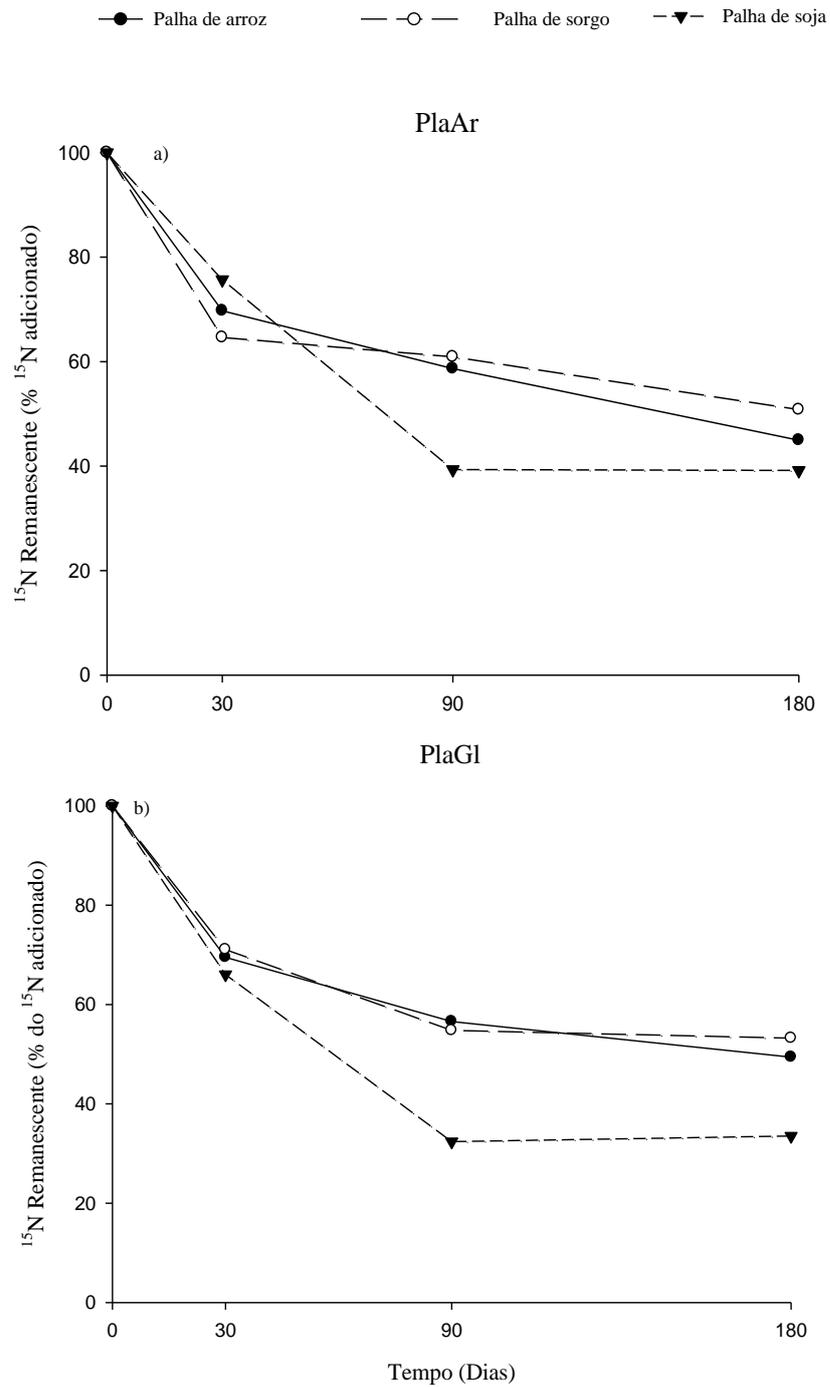


Figura 2. ^{15}N remanescente na palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háplico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) durante 180 dias de experimento.

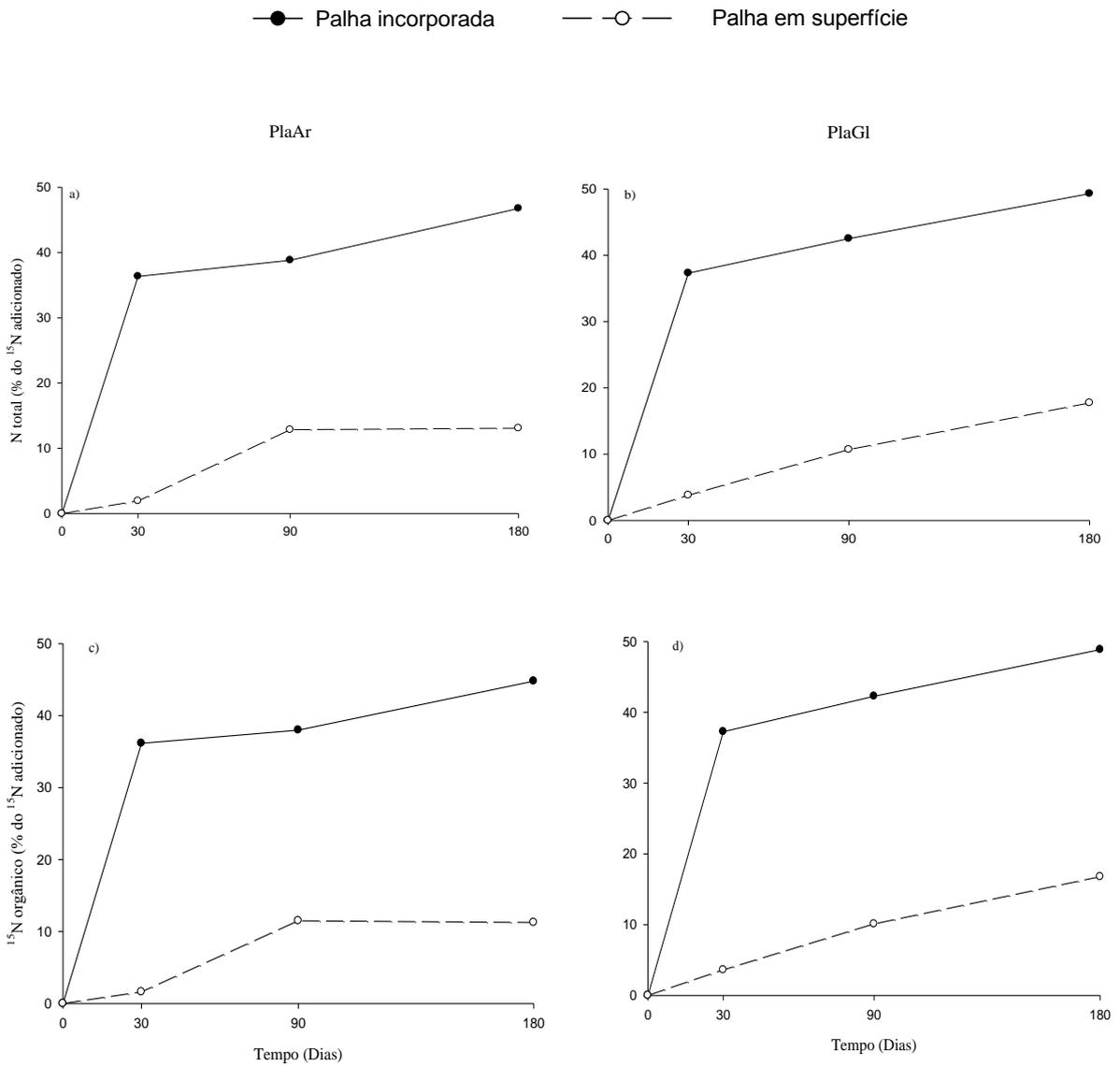


Figura 3. ^{15}N total (a, b) e ^{15}N orgânico (c, d) nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha do arroz incorporada ou na superfície dos solos durante 180 dias de experimento.

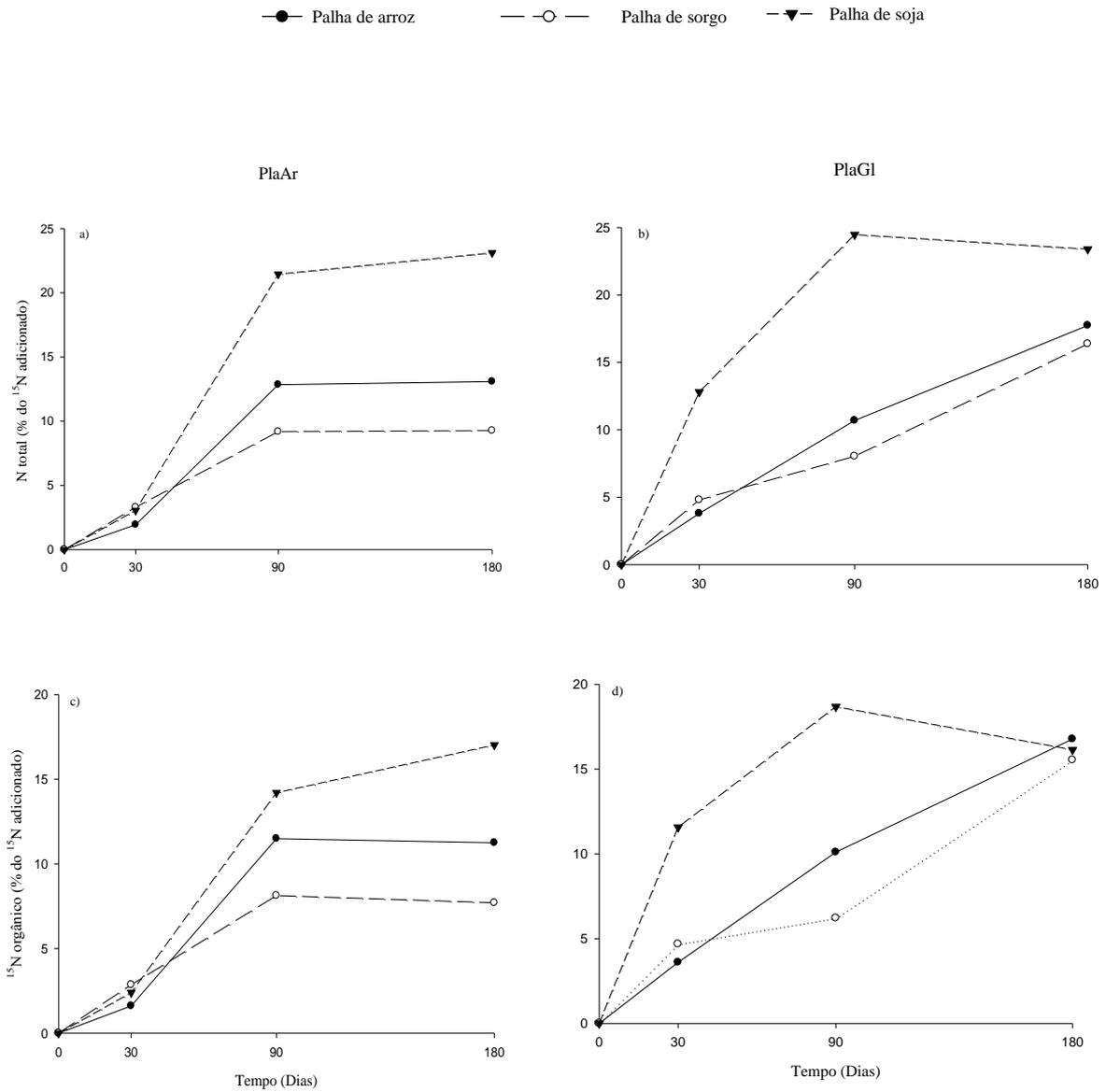


Figura 4. ^{15}N total (a, b) e ^{15}N orgânico (c, d) nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos durante 180 dias de experimento.

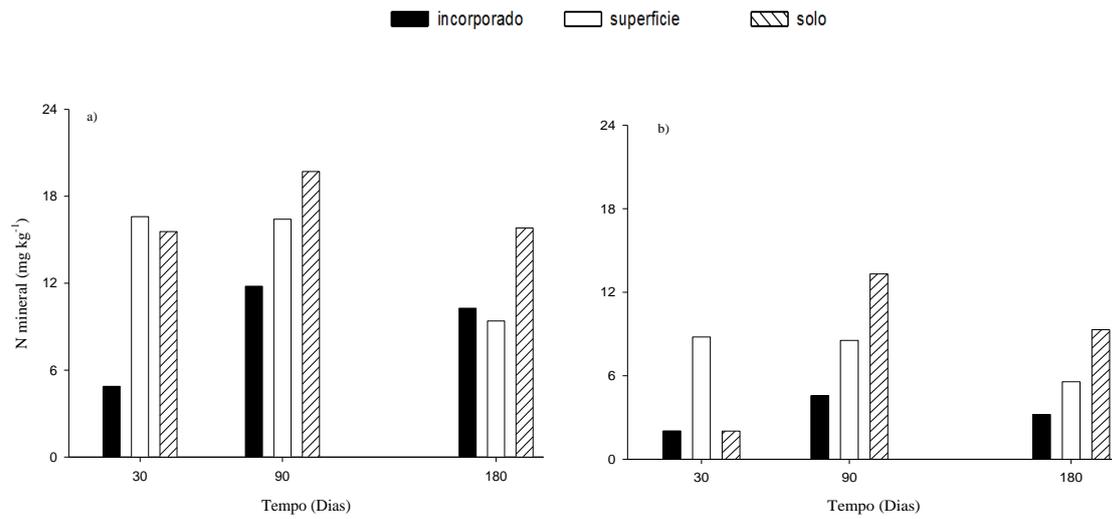


Figura 5. N mineral nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) com a palha do arroz incorporada (PI) ou na superfície (PS) dos solos durante 180 dias de experimento.

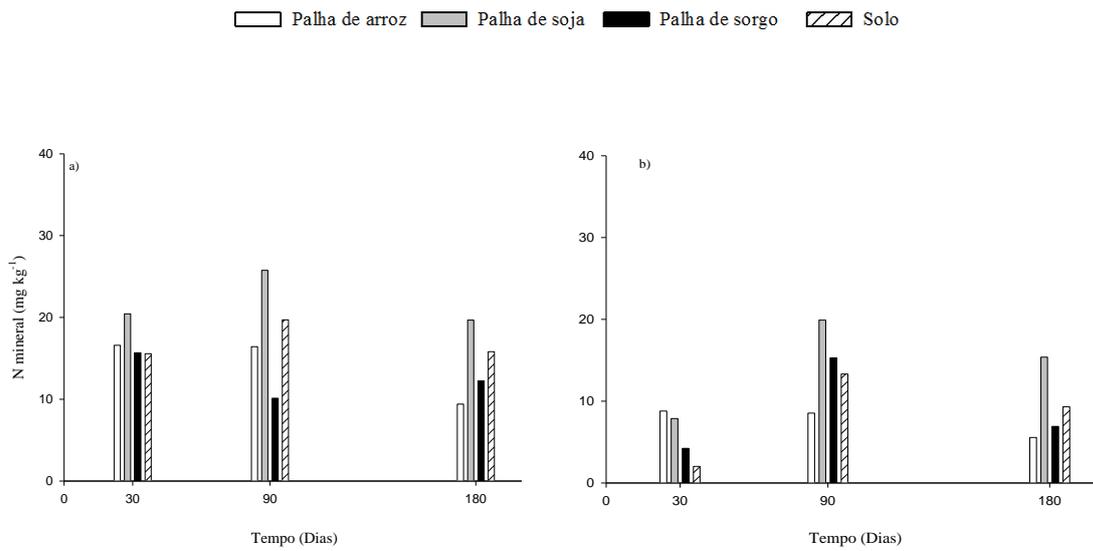
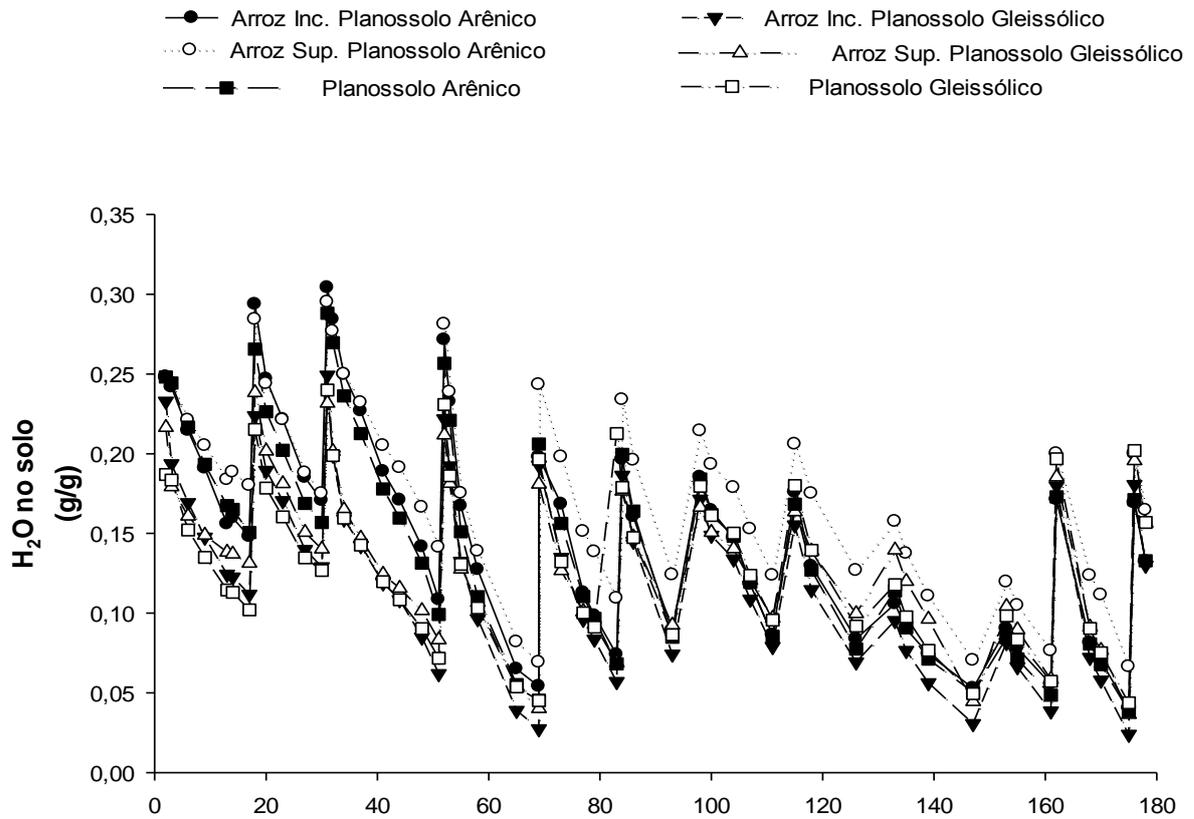


Figura 6. N mineral nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr, a) e Planossolo Háplico eutrófico gleissólico (PlaGl, b) com a palha do arroz, sorgo e soja na superfície dos solos durante 180 dias de experimento.

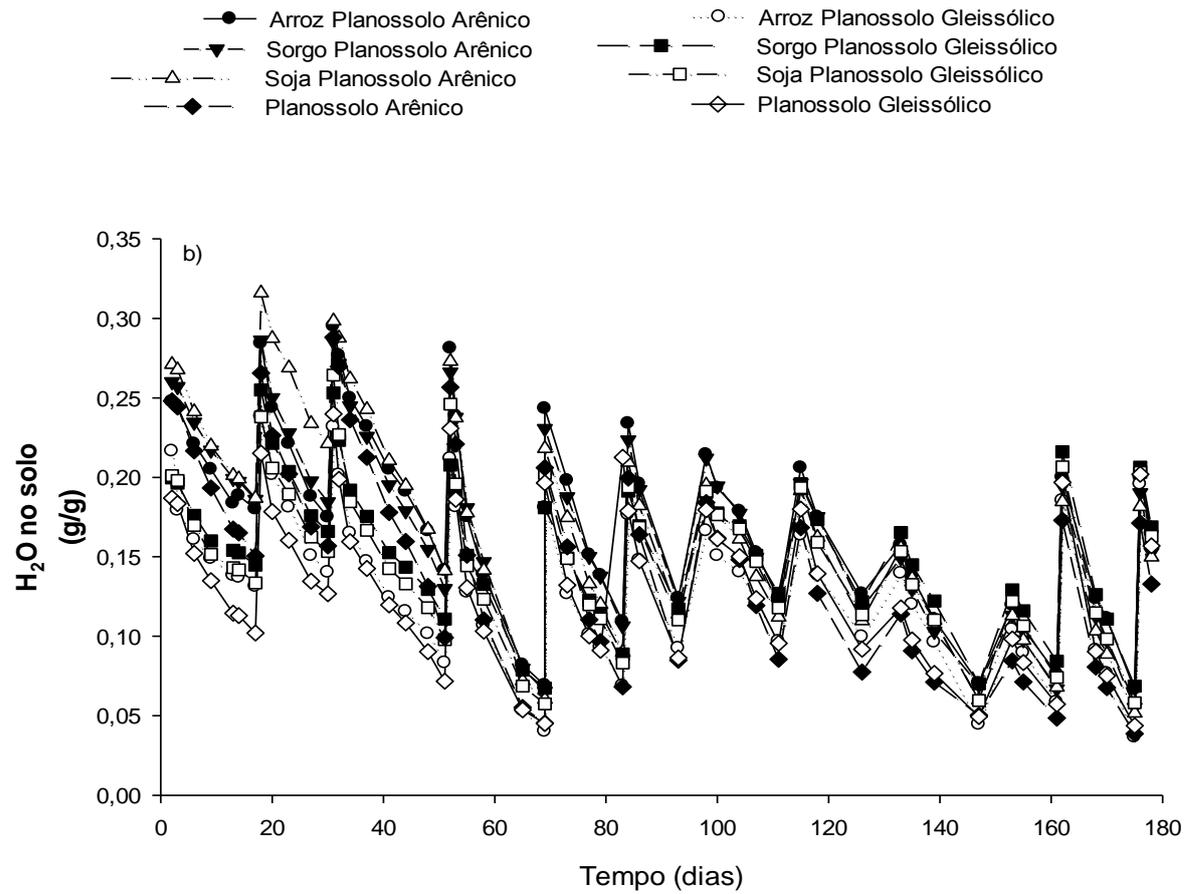
Tabela 4. ^{15}N recuperado em diferentes compartimentos nos solos Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (PlaAr) e Planossolo Háptico eutrófico gleissólico (PlaGl) com a palha de arroz, sorgo e soja durante 180 dias de experimento.

Palha	N recuperado	PlaAr			PlaGl		
		30 dias	90 dias	180 dias	30 dias	90 dias	180 dias
% do ^{15}N adicionado							
Arroz incorporada	^{15}N palha	33,1	32,0	17,6	33,2	33,7	17,0
	^{15}N solo 0-5 cm	16,0	20,0	24,7	18,3	19,7	27,0
	^{15}N solo 5-10 cm	20,4	18,8	22,0	19,1	22,8	22,3
	Total	69,4	70,9	64,3	70,5	76,2	66,3
Arroz em superfície	^{15}N palha	69,7	58,7	44,9	69,5	56,6	49,4
	^{15}N solo 0-5 cm	1,9	9,9	10,5	3,2	8,1	14,3
	^{15}N solo 5-10 cm	0,0	2,9	2,6	0,6	2,6	3,4
	Total	71,7	71,5	58,0	73,3	67,3	67,1
Sorgo em superfície	^{15}N palha	64,6	60,9	50,8	71,1	54,8	53,2
	^{15}N solo 0-5 cm	3,3	5,7	8,6	4,3	6,5	13,9
	^{15}N solo 5-10 cm	0,0	3,5	0,7	0,5	1,5	2,4
	Total	67,9	70,1	60,1	75,8	62,8	69,6
Soja em superfície	^{15}N palha	75,7	39,3	39,2	66,0	32,4	33,5
	^{15}N solo 0-5 cm	3,1	18,7	22,1	11,0	20,4	18,4
	^{15}N solo 5-10 cm	0,0	2,7	1,0	1,8	4,0	5,0
	Total	78,8	59,7	62,3	78,0	56,8	56,9

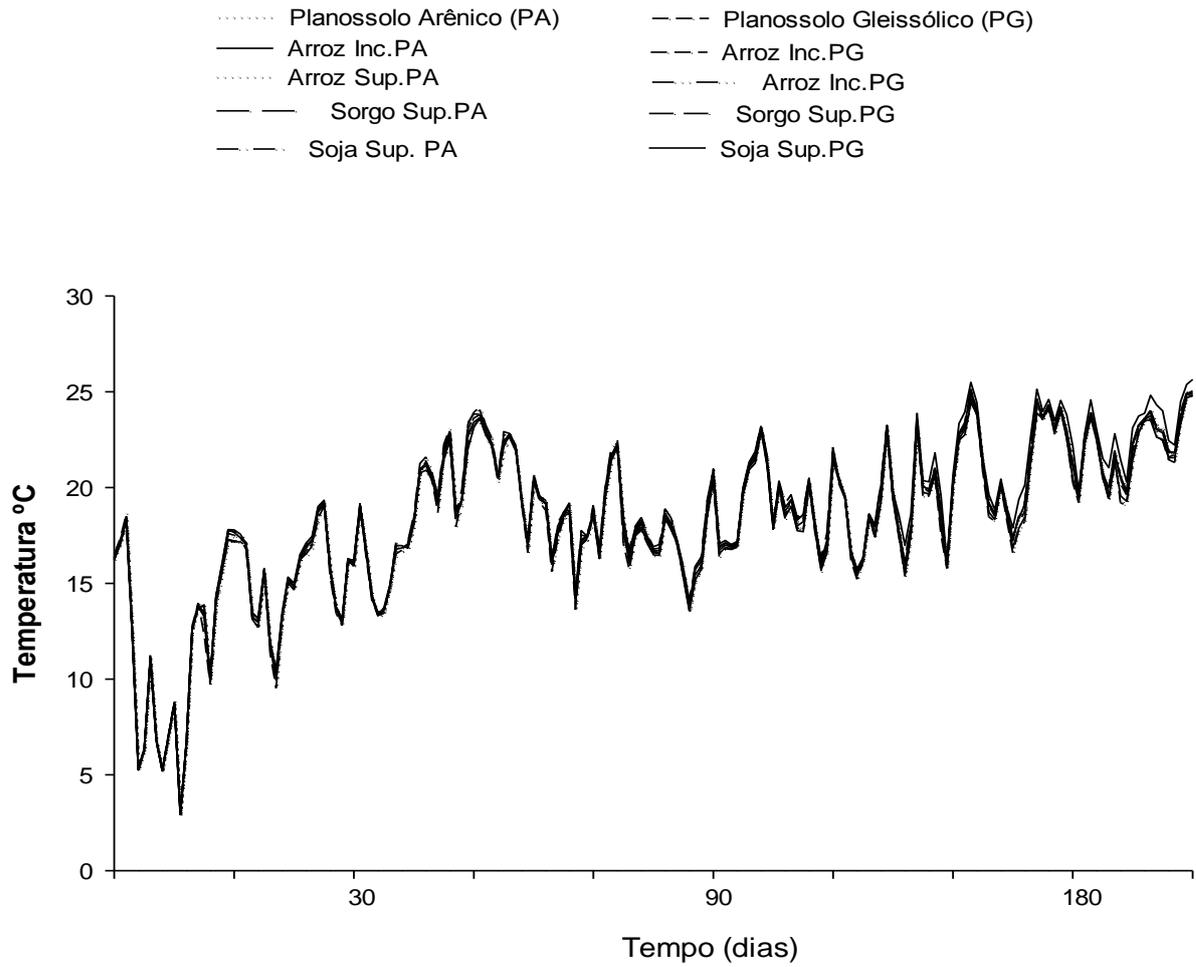
ANEXOS



Anexo1. Umidade do solo durante os 180 dias de experimento –Efeito da modalidade de uso da palha de arroz em dois solos de várzea no período da entressafra.



Anexo 2. Umidade do solo durante os 180 dias de experimento - Efeito da qualidade dos resíduos de arroz, sorgo e soja em dois solos de várzea no período da entressafra.



Anexo 3. Médias diárias da temperatura dos solos durante o período dos 180 dias de incubação em condições de casa de vegetação.