

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
MESTRADO EM AGRONOMIA

ROBERTO SIMÃO DE CARLI

DINÂMICA DO NITROGÊNIO INFLUENCIADA PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA  
E ADIÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

PONTA GROSSA  
2016

ROBERTO SIMÃO DE CARLI

DINÂMICA DO NITROGÊNIO INFLUENCIADA PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA  
E ADIÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de  
Ponta Grossa para a obtenção do título de Mestre em  
Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.  
Ênfase em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.

PONTA GROSSA  
2016

**Ficha Catalográfica**  
**Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG**

D291 De Carli, Roberto Simão  
Dinâmica do nitrogênio influenciada pela adubação nitrogenada e adição de gesso em sistema plantio direto de longa duração/ Roberto Simão De Carli. Ponta Grossa, 2016.  
63f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.  
Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.

1.Lixiviação. 2.Nitrato. 3.C-lábil. 4.Gesso. I.Sá, João Carlos de Moraes. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 631.8



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

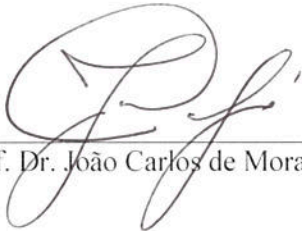
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Dinâmica do nitrogênio influenciada pela adubação nitrogenada e adição de gesso em sistema plantio direto de longa duração”.**

Nome: Roberto Simão De Carli

Orientador: João Carlos de Moraes Sá

Aprovado pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

  
Dr. Gabriel Barth

  
Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Data da Realização: 29 de junho de 2016.

**DEDICO**

A minha família.

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

Agradeço a Deus pela oportunidade concedida.

A minha esposa, Francine De Carli que sempre me deu apoio e me motivou a continuar sólido na busca dos meus objetivos.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, ao Programa de Pós-Graduação e a todos os professores que fizeram parte desta etapa.

Aos ensinamentos dados pelo grande amigo e tutor desta jornada, Prof. João Carlos de Moraes Sá.

À Castrolanda Cooperativa Agroindustrial, que me proporcionou esta oportunidade de continuar os estudos.

Aos grandes amigos e colegas de trabalho que sempre me incentivaram e me deram suporte para os momentos em que estive ausente da empresa em prol do mestrado.

À toda equipe do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, que me deram apoio nas atividades.

Aos meus grandes amigos Anderson Farias e Anghel Costa que não mediram esforços nas atividades de campo e condução deste experimento.

DE CARLI, Roberto Simão: **Dinâmica do nitrogênio influenciada pela adubação nitrogenada e adição de gesso em sistema plantio direto de longa duração.** 2016. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

## RESUMO

O nitrogênio é um nutriente de grande contribuição para a atividade agrícola, desta forma várias estratégias são estudadas cujo intuito é a maximização da eficiência associada à minimização dos impactos ambientais. O presente trabalho parte da hipótese que o uso do gesso agrícola altera a dinâmica do nitrogênio no solo em sistema plantio direto. Dessa forma o objetivo geral foi relacionar a dinâmica dos compartimentos lábeis de C e N como indicadores da redução de perda ou eficiência do N devido ao uso do gesso agrícola em sistema plantio direto de longa duração. O experimento foi implantado em setembro de 2012 em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso em Ponta Grossa – PR. O delineamento experimental foi em parcelas sub-subdivididas com três repetições. As fontes de variação empregadas foram gesso agrícola (parcelas), doses de nitrogênio (sub-parcelas) e o tempo (sub-subparcelas). A semeadura do milho ocorreu em setembro de 2014. Os tratamentos empregados nas parcelas foram doses de gesso: a) ausência de gesso e b)  $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso, aplicados em superfície. Os tratamentos que compuseram as subparcelas foram: a) ausência de N; b)  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N; c)  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e d)  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicados no milho no estágio fenológico de V4 (quatro folhas verdadeiras expandidas). O fator tempo foi inserido como sub-subparcela, sendo que as avaliações foram realizadas em a) 0 dias após semeadura (DAS); b) 34 DAS; c) 52 DAS; d) 87 DAS e e) 117 DAS. Dentro da primeira e da quinta época foram amostradas as camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Para as épocas intermediárias foram amostradas as camadas até 20 cm. As variáveis analisadas foram: a) Nitrato; b) Carbono extraído em água quente (C-AQ); c) carbono oxidado por permanganato (C-OXP); d) Carbono Orgânico Total (COT) e e) Nitrogênio Total (NT). Também foi realizada amostragem para densidade nas camadas referidas apenas na primeira época. Amostras de palha foram coletadas para leitura de C e N total, também foi avaliada a decomposição dos resíduos culturais. A produtividade do milho foi estudada em função dos tratamentos empregados. O uso do gesso se torna uma ferramenta importante para minimizar o impacto ambiental pela lixiviação de nitrato. Em áreas de alta fertilidade e conseqüentemente sem impedimentos químicos em profundidade para alcançar altos tetos produtivos, doses baixas de gesso não proporcionam incrementos na produtividade do milho, porém alterações nos compartimentos lábeis do C são observadas. Em experimentos que contemplem maior tempo, mudanças devem ser observadas nos estoques de COT e NT e conseqüentemente respostas em produção de grãos poderão ser observadas.

Palavras-chave: Lixiviação, Nitrato, C-lábil, Gesso.

DE CARLI, Roberto Simão: **Nitrogen dynamics influenced by nitrogen fertilization and gypsum application under no-tillage**. 2016. Master degree dissertation in Agronomy – State University of Ponta Grossa (UEPG).

#### ABSTRACT

Nitrogen is a nutrient with such a high contribution for agriculture, that various strategies are studied every year looking for enhancements of its use efficiency and reduction of its environmental impacts. This study hypothesis is that, the use of gypsum can change the soil's nitrogen dynamic in the no-tillage system. So, the main objective of this study was to relate the dynamic of the labile compartments of C and N as indicators of fewer losses or lower efficiency of Nitrogen by the use of gypsum under a well-established no-till system. The objective was to relate the dynamics of labile compartments C and N as loss of reduction or efficiency indicators of N due to the use of gypsum in no-tillage system. The experiment was established in September 2012 on clay Oxisol in Ponta Grossa – PR, in a split-split plot completely randomized block design, with three replications. The sources of variation were used gypsum (plots), nitrogen (split-plots) and time (split-split plots). The corn sowing was done in September 2014. The treatments used in the plots were gypsum rates: a) absence of gypsum and b) 2.7 Mg ha<sup>-1</sup> of gypsum applied surface. Treatments of subplots were: a) 0 kg ha<sup>-1</sup> N; b) 80 kg ha<sup>-1</sup> N; c) 160 kg ha<sup>-1</sup> N and d) 240 kg ha<sup>-1</sup> applied on corn at the V4 stage phenological (four leaves expanded). The time factor was inserted as split-split plots: a) 0 days after sowing (DAS); b) 34 DAS; c) 52 DAS; d) 87 DAS and e) 117 DAS. Within the first and the fifth time layers were sampled 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm. For intermediate times were sampled layers up to 20 cm. The variables analyzed were: a) Nitrate; b) hot water extractable organic carbon (HWEOC); c) permanganate oxidizable organic carbon (POXC); d) Total Organic Carbon (TOC) and e) Total Nitrogen (TN). It was also held for sampling density in the layers referred to only in the first season. Straw samples were collected for reading C and Total N was also evaluated the decomposition of crop residues. The corn production was studied in function of the treatments employed. The use of gypsum become an important tool to minimize the environmental impact nitrate leaching. In high fertility areas and therefore no chemical deterrents in depth to achieve high production ceilings, low doses of plaster do not provide increases in corn yields, but changes in labile compartments C are observed. In long term experiments changes should be seen in TOC and NT and consequently grain production in responses can be observed.

Keywords: leaching, nitrate, labile carbon, gypsum.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Localização do experimento na Fazenda Santa Cruz – Ponta Grossa / PR.....	20
<b>Figura 2</b>	Temperatura e precipitação média referente ao período histórico.....	20
<b>Figura 3</b>	Delineamento de parcelas sub-subdivididas com 3 repetições.....	21
<b>Figura 4</b>	Delineamento de parcelas subdivididas com 3 repetições.....	22
<b>Figura 5</b>	Cronologia de uso da área experimental da Fazenda Santa Cruz.....	23
<b>Figura 6</b>	Flutuação do N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).....	28
<b>Figura 7</b>	Distribuição do NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ao longo do perfil do solo, nos quatro tratamentos de doses de N: A (0 kg ha <sup>-1</sup> ), B (80 kg ha <sup>-1</sup> ), C (160 kg ha <sup>-1</sup> ) e D (240 kg ha <sup>-1</sup> ). DMS pelo Teste de Tukey a 5%.....	29
<b>Figura 8</b>	Flutuação do conteúdo de C-OXP (g <sup>-</sup> kg <sup>-</sup> ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).....	30
<b>Figura 9</b>	Comparativo de precipitações e temperaturas máximas – média histórica (Fundação ABC, 2016) e a precipitação e temperatura máxima ocorrida na safra 2014/2015.....	32
<b>Figura 10</b>	Flutuação do conteúdo de C-AQ (g <sup>-</sup> kg <sup>-</sup> ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).....	34
<b>Figura 11</b>	Regressão entre Conteúdo de Ca <sup>2+</sup> e o estoque de C-AQ (A) e o estoque de C-OXP (B) na camada 0-20 cm dentro da Época 1 de amostragem....	36
<b>Figura 12</b>	Regressão entre as variáveis Estoque de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg ha <sup>-1</sup> ) e Estoque de C-AQ (Mg ha <sup>-1</sup> ) na camada de 0-20 cm dentro da Época 5 de amostragem.....	37
<b>Figura 13</b>	Amostragem sistematizada para coleta de amostras de solo deformadas e para coletas da palhada de aveia preta. L1 representa a linha 1 de amostragem, L2 representa a linha 2 e L3 a linha 3.....	43
<b>Figura 14</b>	Decomposição dos resíduos culturais da aveia durante o ciclo da cultura do milho (A) e a liberação de N oriundo da decomposição (B)...	47

<b>Figura 15</b>	Resumo das produtividades das culturas utilizadas ao longo do experimento em função das doses de N: Milho na safra 2012/2013 (A), Trigo na safra 2013 (B) e Soja na safra 2013/2014 (C).....	48
<b>Figura 16</b>	Produtividade de milho em função das doses de N na safra 2014/2015 (A) e produtividade acumulada (B) em função das 4 doses de N para as diferentes culturas.....	49
<b>Figura 17</b>	Produção acumulada de fitomassa em função das doses de N acumuladas ao longo do experimento.....	50
<b>Figura 18</b>	Estoque acumulado (cinco épocas) de $\text{NO}_3^-$ na camada 0-20 cm em função das doses de N (A) e correlação do estoque de $\text{NO}_3^-$ com a produtividade (B). ** altamente significativo para teste F ( $p < 0,01$ ).....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Resultados de análises químicas e granulométricas do solo antes da instalação do experimento.....	<b>21</b>
<b>Tabela 2</b>	Análise de Variância (ANOVA) dos estoques de Carbono extraído por água quente (C-AQ), Carbono oxidado por permanganato (C-OXP) e Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).....	<b>26</b>
<b>Tabela 3</b>	Estoques de Nitrato na camada 0-20 cm ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N.....	<b>31</b>
<b>Tabela 4</b>	Conteúdos de C-OXP na camada 0-20 cm ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N.....	<b>33</b>
<b>Tabela 5</b>	Matriz de correlação entre as variáveis analisadas na camada 0-20 cm para as Épocas 1 e 5 de amostragem.....	<b>36</b>
<b>Tabela 6</b>	Conteúdos de C-AQ na camada 0-20 cm ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N	<b>38</b>
<b>Tabela 7</b>	Índices de biomassa de parte aérea e raízes e conteúdos de C para as culturas utilizadas.....	<b>43</b>
<b>Tabela 8</b>	Quadro resumo das ANOVA para os atributos avaliados.....	<b>45</b>
<b>Tabela 9</b>	Desdobramento da interação Dose de N x Tempo para os estoques de $\text{NO}_3^-$ , na camada 0-20 cm, ao longo dos cinco tempos de amostragem.	<b>46</b>
<b>Tabela 10</b>	Quadro resumo de ANOVA para as produtividades de grãos para as culturas utilizadas durante o experimento.....	<b>48</b>
<b>Tabela 11</b>	Produtividades de grãos e fitomassa dos cultivos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) durante o experimento em função das doses de N e ao uso do gesso.....	<b>51</b>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
3.1.	USO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	13
3.2.	NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO.....	14
3.3.	USO DO GESSO AGRÍCOLA.....	15
3.4.	COMPARTIMENTOS DO C-LÁBIL NO SOLO.....	16
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO I: COMPARTIMENTOS DO C E FLUXOS DE NITROGÊNIO NO SOLO EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....</b>	<b>18</b>
4.1.	INTRODUÇÃO.....	19
4.2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.2.1.	Localização e caracterização da área experimental.....	20
4.2.2.	Delineamento Experimental e análises estatísticas.....	21
4.2.2.1.	<i>Delineamento do experimento original.....</i>	<i>21</i>
4.2.2.2.	<i>Delineamento do experimento para o trabalho conduzido.....</i>	<i>22</i>
4.2.3.	Condução do experimento.....	23
4.2.4.	Análises realizadas.....	24
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.3.1.	Análise de variância (ANAVA) para as fontes deste estudo.....	26
4.3.1.1.	<i>Fonte de variação Gesso.....</i>	<i>26</i>
4.3.1.2.	<i>Fonte variação Doses de N.....</i>	<i>27</i>
4.3.1.3.	<i>Fonte de variação Tempo.....</i>	<i>27</i>
4.3.2.	Flutuação do Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) nas diferentes camadas e tempos.....	27
4.3.3.	Flutuação do Carbono Oxidado por Permanganato (C-OXP) nas diferentes camadas e tempos.....	30
4.3.4.	Flutuação do Carbono Extraído por Água Quente (C-AQ) nas diferentes camadas e tempos.....	34
4.3.5.	Correlação e regressão entre as variáveis estudadas.....	35
4.4.	CONCLUSÕES.....	39
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO II: ENTRADAS DE N NO SISTEMA ASSOCIADAS AO USO DE GESSO E SEU REFLEXO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS.....</b>	<b>40</b>
5.1.	INTRODUÇÃO.....	41
5.2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
5.2.1.	Delineamento Experimental e análises estatísticas.....	42
5.2.2.	Análises adicionais realizadas.....	42
5.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.3.1.	Fluxos de N no sistema.....	45
5.3.2.	Produtividades de grãos e biomassa dos cultivos desde a implantação do experimento.....	47
5.3.3.	Estoques de nitrato e produtividade do milho.....	52
5.4.	CONCLUSÕES.....	53
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) é um nutriente com enorme contribuição na produtividade agrícola. Vários estudos têm procurado estratégias para aumentar a eficiência do uso do N-fertilizante para as plantas e ao mesmo tempo minimizar o impacto ambiental (VANOTTI & BUNDY, 1994; CARTRON & WEIL 1998; BASSO & CERETA, 2000). Sistemas conservacionistas de manejo do solo combinados com a rotação de culturas, tem sido uma alternativa na melhoria da qualidade do solo objetivando aumentar do fluxo de N nas camadas superficiais do solo (PURNOMO *et al.*, 2000; WEBER & MIELNICZUK, 2009) contribuindo com o suprimento para as plantas. Neste caso, a redução da mobilização do solo e a introdução de espécies que proporcionam a manutenção de N no sistema, favorecem o acúmulo de N e minimizam as perdas por lixiviação. Além disso, promovem a gradual liberação de N pelos micro-organismos, reduzindo o período de imobilização para o aproveitamento das culturas, minimizando riscos ambientais (AMADO *et al.*, 1999; SÁ *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2009).

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce papel fundamental na ciclagem do N no sistema e seu acúmulo no solo varia em função das taxas de adição dos resíduos vegetais governadas pela quantidade, qualidade e frequência do aporte (SÁ *et al.*, 2013).

Embora seja bem descrita na literatura a complexidade da dinâmica do N no solo, a mineralização e as taxas de nitrificação tem sido muito utilizadas como indicadores da fertilidade, visando desenvolver um programa de manejo da fertilidade com baixo impacto ambiental. Aliado a isto, o conhecimento atual sobre o balanço de N-fertilizante em agrossistemas apresenta algumas linhas prioritárias, sendo uma delas relativa às perdas de amônia (NH<sub>3</sub>) por volatilização e de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) por lixiviação, que ocorrem durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento das espécies de interesse econômico (SANGOI *et al.*, 2003; AITA & GIACOMINI, 2008; CRUSCIOL *et al.*, 2011). Outra linha se refere às perdas na forma de óxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O) para a atmosfera em sistemas conservacionistas de manejo do solo em decorrência do uso de fertilizantes amoniacais (STIPP & PROCHNOW, 2008).

Uma das alternativas para maximizar a eficiência do N-Fertilizante tem sido a utilização de técnicas que visam aumentar o crescimento radicular para maior exploração do perfil do solo e em consequência maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (SUMMER *et al.*, 1986; CARVALHO & VAN RAIJ, 1997). Além disso, vários benefícios nas diversas culturas e na melhoria de atributos químicos do solo têm sido reportados através do uso de gesso agrícola (CAIRES *et al.* 1999; FARINA *et al.*, 2000; CAIRES *et al.*, 2004, 2011).

Este trabalho se baseou na hipótese de que a adubação nitrogenada e a adição de gesso

alteram a dinâmica do N no solo em sistema plantio direto de longa duração em decorrência de mudanças nos compartimentos lábeis de C e N.

## **2. OBJETIVOS:**

### **2.1 GERAL**

O objetivo deste trabalho foi relacionar a dinâmica dos compartimentos lábeis de C e N como indicadores da redução de perda ou da eficiência do N devido ao uso do gesso agrícola em sistema plantio direto de longa duração.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o impacto da decomposição dos resíduos culturais da aveia preta (*Avena strigosa*) durante o período de desenvolvimento da cultura do milho através do monitoramento das entradas de N no sistema;
- Monitorar os compartimentos lábeis de C e o fluxo de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo como suporte para o entendimento da resposta do N-fertilizante durante o período de desenvolvimento e produção da cultura de milho;

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. USO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO E IMPACTOS AMBIENTAIS.

O milho, dentro da alimentação humana e animal, é a cultura mais importante no mundo, com uma produção estimada em mais de 970 milhões de toneladas para a safra 2015/2016 (USDA, 2016). A área plantada em milho total (1ª e 2ª safras) no Brasil é 15,34 milhões de hectares com um rendimento médio próximo a 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

O nitrogênio é o nutriente de maior demanda nos cultivos, sendo que 40 a 60% do N absorvido pela cultura do milho é proveniente da adubação nitrogenada com fertilizantes minerais aplicados no solo. Essa prática corresponde em 20 a 40% do custo de produção, dependendo do nível de investimento (ZAGONEL *et al.*, 2002, SILVA *et al.*, 2005).

As recomendações de nitrogênio para a cultura do milho são baseadas em informações geradas anteriores à década de 1980, com adaptações conforme o sistema de cultivo, as quais relacionam o teor de matéria orgânica, a expectativa de rendimento e o histórico da área (AMADO *et al.*, 2002; CERETTA *et al.*, 2002). Com o contínuo melhoramento genético e surgimento de híbridos mais produtivos e uma demanda crescente de grãos, existe a necessidade de ajustes significativos nas quantidades aplicadas de nitrogênio para esta cultura.

O aumento das doses de nitrogênio em sistemas altamente tecnificados e produtivos merece atenção por causa de seus impactos no ambiente (CERETTA *et al.*, 2003), em especial pela contaminação das águas pela lixiviação do íon nitrato (RAMBO *et al.*, 2004; AITA & GIACOMINI, 2008).

Dentro do manejo do N nos sistemas de produção devem ser considerados os elevados riscos ambientais, uma vez que este nutriente pode ser perdido por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização. Ceretta *et al.* (2003) e Rambo *et al.* (2004) definem que manejo ideal da adubação nitrogenada é aquele que propõe atender a necessidade da cultura com o mínimo de risco ambiental. Desta forma é importante que esta quantidade de nitrogênio a ser aplicada seja a mais exata possível, minimizando o risco ambiental e sem comprometer o rendimento projetado.

O estado do Paraná não possui recomendação oficial de adubação nitrogenada em sistema de produção em plantio direto. Desta forma utilizam-se recomendações de outros estados. Considerando que as quantidades de nutrientes sugeridas pelas tabelas seguem médias que podem ser consideradas inapropriadas para determinadas situações, a subestimativa ou



superestimativa da dose de nitrogênio a ser utilizada pode ocorrer frequentemente, reduzindo a produtividade ou aumentando os riscos de poluição ambiental.

Considerando essas lacunas associadas ao fato de que as respostas ao manejo do nitrogênio são muito variáveis, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são altamente influenciados pelo ambiente, tornam-se de grande valia estudos que contemplem eficiência de fertilização bem como os impactos ambientais gerados.

### 3.2. NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO

A matéria orgânica do solo (MOS) tem sido o principal indicador de liberação de nitrogênio nos solos brasileiros, pois de maneira indireta pode fornecer uma estimativa do fornecimento de N para o cultivo em questão, através da mineralização da mesma. Esta utilização dos conteúdos de matéria orgânica e, mais recentemente, da cultura anterior como critérios para estimativa da disponibilidade potencial de N do solo (AMADO *et al.*, 2002, BAYER *et al.*, 2015), fundamenta-se na premissa que o N presente na MOS e nos resíduos culturais será mineralizado em tempo hábil para ser absorvido pelas plantas (AMADO, 1997, CRUSCIOL *et al.*, 2011).

Segundo Urquiaga e Zapata (2000) aproximadamente 98% do total de N no solo está na forma orgânica, e uma grande porção deste N não está prontamente disponível para as plantas. Porém algumas frações podem ser mineralizadas, tornando-se disponíveis para as culturas sequentes na forma de nitrato. A disponibilidade dessas formas de N depende da sua localização e conteúdo no perfil do solo e sistema de cultivo adotado (D'ANDREA *et al.*, 2004).

Um fator chave para o processo desta mineralização do N presente na matéria orgânica e nos resíduos vegetais é o clima associado aos fatores de solo (CRUSCIOL *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2014). Em regiões de clima úmido, a temperatura é o fator climático mais determinante desta taxa de mineralização do nitrogênio orgânico, podendo variar em até duas vezes quando a temperatura sofrer variação de 10° C (JENKINSON & AYANABA, 1977). Desta forma, as variações dos parâmetros mencionados (conteúdo de MOS e cultura antecessora) podem se tornar estes indicadores imprecisos nesta avaliação de disponibilidade de N (POTTKER & ROMAN, 1994).

A busca da sincronia entre os estádios fenológicos das culturas que demandam maior quantidade de nitrogênio e época de aplicação (CERETTA *et al.*, 2002; AMADO *et al.*, 2002; WEBER & MIELNICZUK, 2009) não é tão simples. Ainda pode-se mencionar como uma tarefa complexa, pois existem vários fatores que interferem na disponibilidade de N liberado

pelo solo (MOTA *et al.*, 2015), bem como na sua absorção pelas plantas (VAN RAIJ, 2008; CAIRES *et al.*, 2008, 2011; SÁ *et al.*, 2014).

### 3.3. USO DO GESSO AGRÍCOLA

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um subproduto da indústria de ácido fosfórico. Este subproduto é obtido durante o processo de produção de superfosfato triplo e dos fosfatos de amônio (VITTI *et al.*, 2008).

O uso do gesso agrícola ganhou grande importância no cenário do sistema plantio direto, pois trata-se de uma fonte de Cálcio e Enxofre relativamente solúvel, com alta mobilidade no solo e que por consequência fornece estes nutrientes em maiores profundidades (VAN RAIJ, 2008; VAN RAIJ, 2014). Além disso, o gesso agrícola aplicado em superfície tem sido mais eficiente que o calcário incorporado em aumentar os teores de Ca no subsolo (CAIRES *et al.*, 2002).

Neste fornecimento eficiente e rápido de nutrientes em maiores profundidades tem-se obtido resultados de redução na toxidez por alumínio (Al) livre na solução do solo. Estes aumentos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^-$  têm sido reportados por vários autores em todo o perfil estudado (CAIRES, *et al.*, 2002, 2004, 2006, 2011; JORIS, 2008; CRUSCIOL *et al.*, 2016).

Associadas às melhorias do subsolo, respostas positivas na produção de grãos são bem conhecidas na literatura (FERREIRA *et al.*, 2013, CAIRES *et al.*, 2016) pela maior exploração do ambiente radicular e consequente maior absorção de nutrientes.

O desempenho de diferentes culturas, pela influência do gesso, foi avaliado na região sul do Brasil, dentre elas a que mais tem demonstrado respostas positivas na produção de grãos é a cultura do milho, enquanto soja e trigo não têm demonstrado resultados claros pelo uso do gesso (CAIRES *et al.*, 1999, 2011; FERREIRA *et al.*, 2013). Esta diferença no comportamento entre soja e milho pode ser explicada pelo sistema radicular das gramíneas apresentar menor capacidade de troca catiônica. Desta forma a saturação por  $\text{Ca}^{2+}$  favorece a maior absorção do nutriente em questão (CAIRES *et al.*, 2011).

Ainda, na região Sul do Brasil, onde a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, existem trabalhos que não mostram respostas ao uso de corretivos dentro do sistema plantio direto (CAIRES *et al.*, 2008, 2011). As respostas das culturas têm sido relacionadas com o maior acúmulo de matéria orgânica e nutrientes nas camadas mais superficiais, desta forma não ocorrendo a falta de água os nutrientes são absorvidos normalmente (VIEIRA *et al.*, 2009)

Além desta redução do  $\text{Al}^{3+}$  trocável e fornecimento de  $\text{Ca}^{2+}$  em maiores profundidades

no solo, a aplicação de gesso também pode ocasionar elevação da relação Ca:Mg nas camadas superficiais do solo devido ao aumento do  $\text{Ca}^{2+}$  e redução de  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis (BLUM *et al.*, 2011; CAIRES *et al.*, 2011).

Também é relatado que o aumento da produtividade do milho está relacionado com a maior exploração do sistema radicular e conseqüentemente maior absorção de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) das camadas mais profundas (VAN RAIJ, 2008; CAIRES *et al.*, 2016).

### 3.4. COMPARTIMENTOS DO C-LÁBIL NO SOLO

Dentro de uma divisão de compartimentos que o carbono possa ser alocado, para manejo do solo, Duxbury *et al.* (1989) sugerem que a divisão seja em quatro compartimentos: reservatório ativo ou lábil, reservatório lentamente oxidável, reservatório muito lentamente oxidável e reservatório recalcitrante. Ainda especificando o reservatório lábil, os mesmos autores definem como compostos de origem orgânica que podem ser facilmente oxidados e derivam dos fragmentos de vegetais recentes. O controle deste reservatório é fortemente afetado pelo manejo do solo, pela adição de resíduos culturais e pelo clima (SÁ *et al.*, 2013, MOTA *et al.*, 2015; HARTMAN, 2016).

A camada de deposição dos resíduos culturais, onde encontram-se raízes, microrganismos, fração leve, formas solúveis em água e substâncias não húmicas constituem os compartimentos considerados mais lábeis da matéria orgânica do solo (TIROL-PADRE & LADHA *et al.*, 2004). Estas formas do C consideradas lábeis tem uma grande importância em processos no solo, sendo eles: estabilização e formação de agregados (BLAIR & CROCKER *et al.*, 2000; PASSOS *et al.*, 2007) e fonte de energia e nutrientes para os organismos do solo (ROSA *et al.*, 2003). Portanto, é de suma importância esta manutenção dos estoques de carbono no solo, especialmente das frações mais lábeis para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas (BLAIR *et al.*, 2001; BLAIR *et al.*, 2006; VIEIRA *et al.*, 2007).

Um ponto chave para o estudo sobre os níveis de carbono orgânico do solo, é o período de tempo necessário para observar as mudanças nos estoques de C. Este período normalmente situa-se a longo prazo (períodos superiores a 10 anos), limitando assim a avaliações em prazos mais curtos (GREGORICH *et al.*, 1994; HAYNES, 2000). A utilização de diferentes frações do carbono do solo como uma ferramenta para se obter respostas mais rápidas na gestão da qualidade do solo, tem sido apontada como uma ferramenta eficiente para identificar práticas agrícolas que aumentam o estoque e qualidade do C no solo.

Diferentes compartimentos do carbono lábil do solo, como carbono orgânico dissolvido,

o carbono da biomassa microbiana e carbono oxidado por permanganato de potássio (C-OXP) foram alvo de atenção recentemente devido à sua sensibilidade às práticas de gestão agrícola (CULMAN *et al.*, 2012; LUCAS & WEIL, 2012). Por exemplo o C-OXP tem sido sugerido como um indicador mais sensível para alterações induzidas a lavoura (WEIL *et al.*, 2003; MELERO *et al.*, 2009).

O carbono extraído por água quente (C-AQ) é considerado a fração mais lábil e biodegradável de matéria orgânica do solo e está intimamente relacionada com a biomassa microbiana do solo (CHANTIGNY, 2003; GHANI *et al.*, 2003; WAREMBOURG *et al.*, 2003). A dinâmica do C-AQ pode refletir as mudanças na condição do solo (AKAGI *et al.*, 2007), desta forma este compartimento desempenha um papel chave no ciclo dos nutrientes nos ecossistemas terrestres (METTING, 1993; GHANI *et al.*, 2003) e pode servir de fonte de energia para as atividades microbianas e alterar processos biogeoquímicos do solo (HASSOUNA *et al.*, 2010).

Em ambientes agrícolas, as práticas de gestão do solo (por exemplo, plantio direto e adubação nitrogenada) podem alterar as propriedades físicas e químicas do solo, tais como a estrutura do solo e pH (GREEN *et al.*, 2007). Tais mudanças nas propriedades do solo podem alterar a quantidade e qualidade do C-AQ, no entanto, a maioria dos trabalhos com adubação nitrogenada durante os últimos anos, tem-se centrado sobre os ecossistemas florestais e de pastagem, com pouco esforço gasto em fluxos de qualificação C-AQ em solos em sistemas de manejo intensivo, como em solos agrícolas (MCDOWELL, 2003). Alguns estudos relatam efeito não significativo da adubação nitrogenada (ROCHETTE & GREGORICH, 1998 e ZSOLNAY e GÖRLITZ, 1994), enquanto outros relatam diminuições (CHANTIGNY *et al.*, 1999 e LIANG *et al.*, 1998) ou aumentos no C-AQ após a fertilização com N (MCTIERNAN *et al.*, 2001). Esses resultados contraditórios destacam a necessidade de uma melhor compreensão do efeito das práticas de gestão de agricultura intensiva na dinâmica do C-AQ.

#### 4. CAPÍTULO I: COMPARTIMENTOS DO C E FLUXOS DE NITROGÊNIO NO SOLO EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

##### RESUMO

O nitrogênio é um nutriente de grande contribuição para a atividade agrícola, desta forma várias estratégias são estudadas cujo intuito é a maximização da eficiência associada à minimização dos impactos ambientais. O objetivo do trabalho foi relacionar a dinâmica dos compartimentos lábeis de C e N como indicadores de eficiência do N devido ao uso do gesso agrícola em sistema plantio direto de longa duração. O experimento foi implantado em setembro de 2012 em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso em Ponta Grossa – PR. O delineamento experimental foi em parcelas sub-subdivididas com três repetições. As fontes de variação empregadas foram gesso agrícola (parcelas), doses de nitrogênio (sub-parcelas) e o tempo (sub-subparcelas). A semeadura do milho ocorreu em setembro de 2014. Os tratamentos empregados nas parcelas foram doses de gesso: a) ausência de gesso; b) 2,7 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, aplicados em superfície. Os tratamentos que compuseram as subparcelas foram: a) ausência de N; b) 80 kg ha<sup>-1</sup> de N; c) 160 kg ha<sup>-1</sup> de N; d) 240 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no milho no estágio fenológico de V4 (quatro folhas verdadeiras expandidas). O fator tempo foi inserido como sub-subparcela, sendo que as avaliações foram realizadas em a) 0 dias após semeadura (DAS); b) 34 DAS; c) 52 DAS; d) 87 DAS e e) 117 DAS. Dentro da primeira e da quinta época foram amostradas as camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Para as épocas intermediárias foram amostradas as camadas até 20 cm. As variáveis analisadas foram: a) Nitrato; b) Carbono extraído em água quente (C-AQ); c) carbono oxidado por permanganato (C-OXP); d) Carbono Orgânico Total (COT), e) Nitrogênio Total (NT). Também foi realizada amostragem para densidade nas camadas referidas apenas na primeira época. Os estoques de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> não foram afetados pelo uso do gesso nas camadas menores que 40 cm, porém para a camada 40-60 cm houve diferença significativa no estoque, indicando menor lixiviação. Os conteúdos de C-AQ foram afetados pelo uso do gesso em todas as camadas avaliadas. O C-OXP não apresentou resultados consistentes para as fontes de variação estudadas. Correlações positivas foram encontradas entre C-AQ x Ca<sup>2+</sup> e também C-OXP x Ca<sup>2+</sup>, indicando que o cátion exerce proteção sobre os compartimentos da MOS, principalmente nos lábeis. Os resultados deste capítulo suportam a hipótese de que o uso do gesso pode minimizar as perdas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação mesmo em solo sem impedimento químico ao aprofundamento das raízes, e que os compartimentos lábeis do C podem ser usados para o monitoramento da disponibilidade de N no solo.

Palavras-chave: Lixiviação, Nitrato, C-lábil, Gesso.

## 4.1. INTRODUÇÃO

A manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo e o não revolvimento do solo são apontados como meios para aumentar o armazenamento de carbono e nitrogênio no solo.

Tanto o estoque quanto a labilidade da matéria orgânica do solo influenciam diretamente a capacidade de auto-organização do sistema solo, já que a atividade de microrganismos heterotróficos, dependente do estoque e da labilidade do C presente, determina os fluxos no solo, influenciando as suas propriedades físicas, químicas e biológicas (BLAIR & CROCKER, 2000; VEZZANI, 2001).

Os compartimentos de C-lábeis são ótimos indicadores da qualidade do solo, uma vez que a atividade microbiológica do solo está estreitamente correlacionada com estes compartimentos (CULMAN *et al.*, 2012; GHANI *et al.*, 2003) e são sensíveis às mudanças no manejo do solo (SÁ *et al.*, 2015; TIVET *et al.*, 2013).

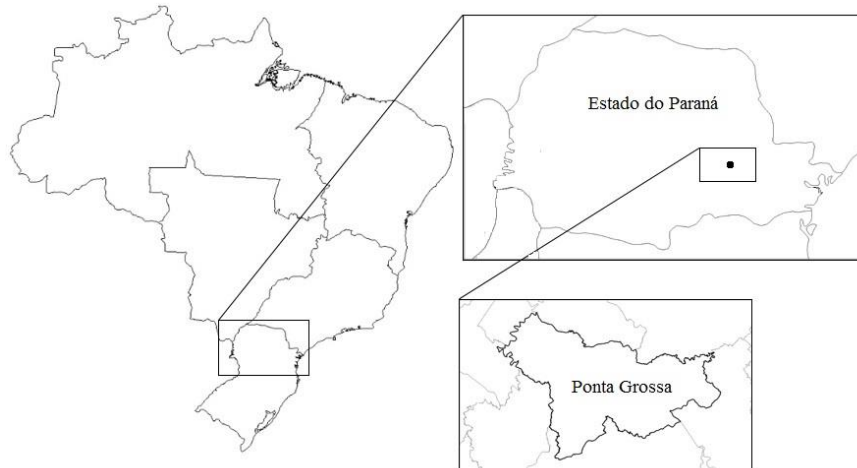
O aumento da atividade microbiológica do solo pode indicar um aumento na ciclagem de nutrientes (BALOTA *et al.*, 2014), além de atuarem como importantes agentes de agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982)

Arelada à labilidade do C a esta liberação gradual dos nutrientes pelos resíduos culturais que pertencem ao sistema, buscou-se a partir deste capítulo entender os fluxos de  $\text{NO}_3^-$  e a sua correlação com os compartimentos do C-AQ e C-OXP.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

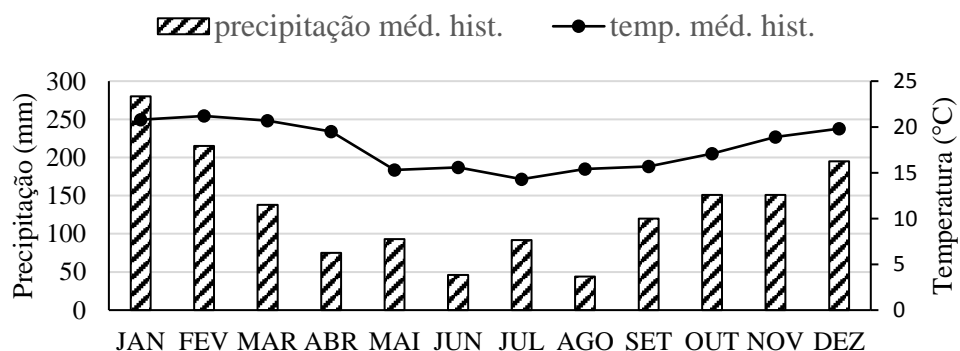
### 4.2.1 – Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Santa Cruz, localizada no município de Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais do Paraná (25° 13' 29" latitude Sul e 50° 07' 05" Longitude Oeste) com altitude próximo a 830 m, em um solo classificado como LATOSSOLO Vermelho de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).



**Figura 1** – Localização do experimento na Fazenda Santa Cruz – Ponta Grossa / PR.

O clima da região de Ponta Grossa é classificado como Cfb, com temperatura média no mês mais frio (julho) próximo a 14°C, com ocorrência de geadas frequentes (mesotérmico), verões frescos, temperatura média no mês mais quente (fevereiro) abaixo de 22°C e sem estação seca definida, segundo classificação de Köppen (IAPAR, 2014).



**Figura 2** - Temperatura e precipitação média referente ao período histórico.

Fonte: Sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação – Campo Demonstrativo Experimental de Ponta Grossa.

A Figura 2 representa as temperaturas médias do ar e as precipitações pluviárias médias da região, sendo a precipitação pluviária média anual próximo a 1.600 mm.

Antes da implantação do experimento foram realizadas amostragens do solo, cuja finalidade de realizar o diagnóstico químico e granulométrico do solo, cujos resultados são representados na Tabela 1.

**TABELA 1.** Resultados de análises químicas e granulométricas do solo antes da instalação do experimento.

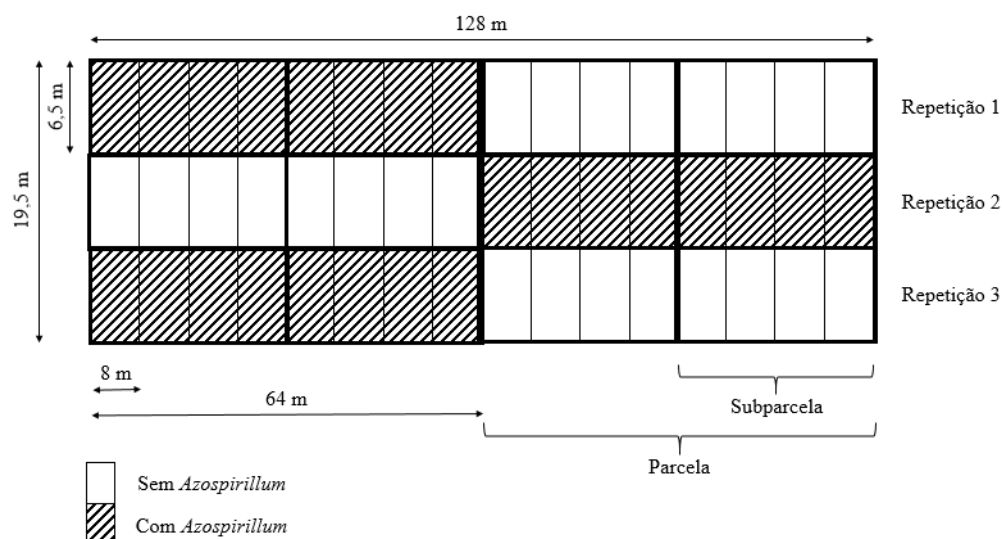
Prof.	pH	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	C	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Areia	Silte	Arg.
(cm)		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----					mg	g	Mg	---%---		-----g kg <sup>-1</sup> -----		
0-20	5,2	5,76	0,0	4,5	1,3	0,29	6,1	28,3	65,8	51,5	0,0	91,2	348,8	560
20-40	4,8	7,20	0,2	2,5	0,9	0,24	1,2	25,6	81,5	33,5	4,5	75,8	264,2	660
40-60	4,9	7,20	0,2	2,5	0,8	0,19	0,2	24,8	77,9	32,6	4,9	7,9	241,0	680

<sup>1</sup>pH em CaCl<sub>2</sub>; <sup>2</sup>V = Saturação por bases; <sup>3</sup>m = saturação por alumínio.

## 4.2.2 – Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

### 4.2.2.1 – Delineamento do experimento original

O delineamento experimental original foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-subdivididas, com três repetições (FIGURA 4). Nas parcelas com dimensões de 64 x 6,5 m foram aplicados os tratamentos de inoculação de *Azospirillum brasilense* nas sementes de milho (sem *A. brasilense* e com *A. brasilense* na dose de 0,1 L por 60.000 sementes) e nas subparcelas com dimensões de 32 x 6,5 m foram aplicadas 2 doses de gesso (sem e com gesso na dose de 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>).



**Figura 3** – Delineamento de parcelas sub-subdivididas com 3 repetições.



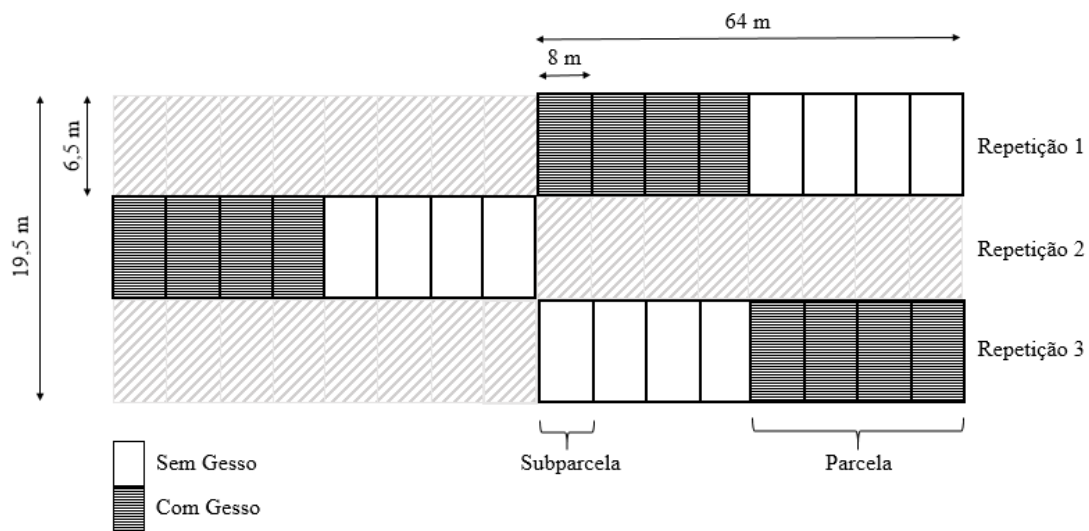
Nas sub-subparcelas foram empregadas quatro doses de N na cultura do milho, sendo elas: Controle ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 80; 160 e  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ . As doses de N foram aplicadas às respectivas parcelas utilizando a uréia (45% de N) como fertilizante no estágio de desenvolvimento V4 (quatro folhas completamente expandidas).

#### 4.2.2.2 – Delineamento do experimento para o trabalho conduzido:

Dentro do trabalho instalado originalmente, foi utilizado, para esta dissertação, apenas as parcelas que não contém a inoculação de *Azospirillum brasilense*. O tempo de amostragem (5 épocas) entrou como mais uma fonte de variação.

Desta forma o novo delineamento torna-se continua como Parcela sub-subdividida com três repetições, como é ilustrado pela Figura 5.

Desta forma nas parcelas tem-se doses de gesso ( $0$  e  $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), nas subparcelas doses de N ( $0$ , 80, 160 e  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e nas sub-subparcelas encontram-se os tempos de amostragem ( $0$ , 34, 52, 87 e 117 dias após semeadura). As fontes de variação Gesso e Dose de N foram sorteadas aleatoriamente para as respectivas unidades experimentais.



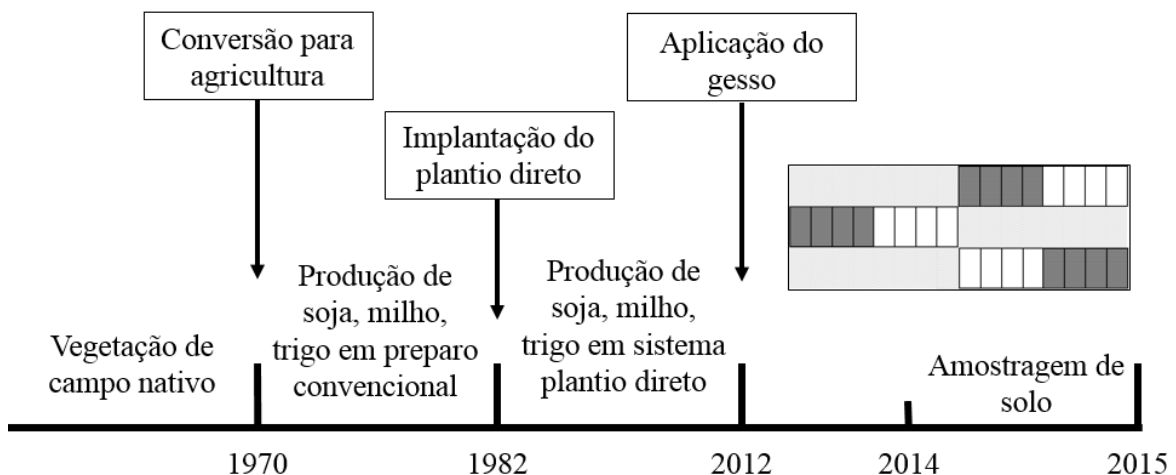
**Figura 4** – Delineamento de parcelas subdivididas com três repetições.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) através do programa SISVAR. As médias dos tratamentos foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância. Análises de regressão simples foram utilizadas por polinômios ortogonais. O

critério para selecionar o modelo foi a magnitude do coeficiente de determinação significativos a  $p < 0,05$ .

#### 4.2.3 – Condução do Experimento

A área experimental se encontra em sistema plantio direto (SPD) desde 1982, cujas culturas semeadas, desde então, foram soja e milho no verão e trigo e aveia no inverno, conforme ilustrado na Figura 3.



**Figura 5** – Cronologia de uso da área experimental da Fazenda Santa Cruz.

Em 27 de setembro de 2012 foi realizada a aplicação do gesso agrícola (Implantação do experimento), sendo distribuído em superfície a dose de  $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , de forma manual em cada parcela. A composição do gesso no momento da aplicação era: 6,5 % de umidade relativa, 21 % de Ca, 15,5 % de S e 0,9 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total).

Após a implantação do experimento a rotação de culturas foi: milho (set/12), trigo (jun/13) e soja (out/13).

A semeadura da aveia foi realizada em maio de 2014 com o auxílio da semeadora John Deere, 27 linhas, com espaçamento entre as linhas de 22,5 cm. Para o melhor desenvolvimento da aveia, foi utilizado como fertilização de base  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de fosfato monoamônio.

A dessecação da aveia foi realizada com o herbicida Glifosato – sal de potássio na dose de  $750 \text{ g ha}^{-1}$  de equivalente ácido, no dia 1º de setembro de 2014.

A semeadura do milho foi realizada dentro da primeira quinzena do mês de outubro de 2014, com o auxílio de semeadora da própria fazenda (John Deere série 2100, modelo 2113 com 13 linhas de semeadura), cujo espaçamento das entrelinhas é de 0,50m.

A adubação de base utilizada resume-se em 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e 57,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O suprimento de potássio foi realizado antes da semeadura do milho, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), totalizando 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

#### 4.2.4 – Análises realizadas

Amostras deformadas do solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade em cinco épocas de amostragem: antes da semeadura caracterizando a época 1 (E1) e nos estádios de desenvolvimento V4 equivalente a quatro folhas expandidas e designada como a época 2 (E2), em V8 equivalente a oito folhas verdadeiras expandidas e designadas como a época 3 (E3), e em R1 equivalente ao florescimento e designada como época 4 (E4) e em R6 equivalente a maturação fisiológica e designada como a época 5 (E5).

A caracterização do nível da fertilidade do solo e das frações granulométricas (Areia, argila e silte) da área experimental foram realizadas nas amostras coletadas antes da semeadura. As análises granulométricas e químicas (pH em CaCl<sub>2</sub> e os teores de H + Al, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e P (Mehlich-1)), foram determinadas segundo os métodos descritos por Pavan *et al.* (1992). Análises de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, foram feitas segundo a metodologia descrita por Cantarella & Prochnow (2001).

A determinação da densidade do solo (DS) foi calculada nas amostras indeformadas retiradas com a utilização de anéis volumétricos acoplados em um amostrador específico, para introdução e retirada dos anéis (BLACK & HARTGE, 1986). Os resultados da DS foram utilizados nos cálculos do estoque de C e N.

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados pelo método de combustão seca, nas frações da MOS, utilizando um determinador elementar de C e N (Tru Spec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA). Para o cálculo do estoque de C e N, em cada profundidade, foi utilizada a seguinte expressão: Est = (*teor* x DS x *e*)/10, onde: Est representa o estoque de carbono orgânico total ou nitrogênio total em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>); *teor* representa o COT ou NT no solo (g dm<sup>-3</sup>); Ds a densidade média do solo em cada profundidade considerada (Mg m<sup>-3</sup>); *e* representa a espessura da camada considerada (cm) (BRIEDIS, 2010).

Para determinar N mineral (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foi utilizado a metodologia descrita em Sá *et al.* (2011), amostras de solo foram retiradas das camadas consideradas, sendo 3 sub-amostras em cada profundidade para se obter uma amostra composta em cada profundidade para cada

subparcela. Coletaram-se as amostras das camadas de 0-5 e 5-10 cm com uma espátula. A partir da camada de 10 cm, as amostras foram coletadas com uma sonda de aço inoxidável (Bravifer®, Piracicaba-SP), com um diâmetro de 2,0 cm.

As amostras de solo para determinação do N mineral foram preparadas no laboratório para a extração do  $\text{NO}_3^-$  imediatamente após amostragem. Durante o preparo das amostras, as raízes visíveis a olho nu foram retiradas. A seguir foi obtido o extrato com a adição de uma solução de 2 mol  $\text{L}^{-1}$  de KCl na proporção de 5:1 (solução/solo) e agitadas manualmente e mantidas em repouso por 24h. Após a filtração estes extratos foram filtrados e adicionados acetato de mercúrio na concentração de 0,5 mg  $\text{L}^{-1}$  para inibir a nitrificação (PICCOLO *et al.*, 1994). Os extratos ficaram armazenados em frascos de polietileno hermeticamente fechados. Determinou-se as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  pelo sistema automático de análise de injeção de fluxo contínuo (FIA), o qual é acoplado a um espectrofotômetro digital (Micronal®; modelo B342), como anteriormente descrito por Alves *et al.* (1994). Os níveis de  $\text{N-NO}_3^-$  do solo foram expressos em g  $\text{kg}^{-1}$  de solo e transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$ , com correção de acordo com a densidade das diferentes camadas.

A determinação do C lábil, extração com água quente (C-AQ) foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Ghani *et al.* (2003) e a determinação do C foi obtida com a oxidação em meio ácido e a titulação com o sulfato ferroso conforme Walckley & Black (1934). Em resumo, 3 g de solo foram colocadas em um erlenmeyer e seguidos da adição de 9 mL de água. Posteriormente, os tubos foram encubados em uma estufa regulada para a temperatura de 80 °C por 16 horas.

Após finalizar este processo, 6mL do sobrenadante foram pipetados e adicionados 10 mL de dicromato de potássio, 10mL de ácido sulfúrico e 3 mL de ácido fosfórico. Os tubos ficaram em repouso por uma hora e posteriormente realizou-se a titulação do excesso de dicromato com uma solução de sulfato ferroso.

A determinação do C oxidado por permanganato (C-OXP) foi efetuada de acordo com a metodologia descrita em Weil, *et al.* (2003), onde devem-se pesar 3 g de solo em um tubete, adicionar 6 mL de uma solução de 0,2 M  $\text{KMnO}_4$ , agitar por 15 min à 200 oscilações por minuto e centrifugar por 15 min à 4000 rotações por minuto (RPM). Esperar 10 min para que ocorra a oxidação do C, pipetar uma alíquota de 2 mL da solução em um erlenmeyer e completar com 50 mL de água deionizada. A quantificação do C-OXP foi mensurada via espectrofotômetro em absorbância ajustada para 565 nm.

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 – Análise de variância (ANOVA) para as fontes deste estudo.

As fontes de variação foram submetidas à análise dos dados e observa-se que o tempo foi o fator que promoveu maiores alterações nos estoques dos atributos avaliados.

A seguir, a Tabela 2 traz o resumo das análises de variância realizadas com os fatores Gesso (A), Doses de N (B) e Tempo (C).

Tabela 2 – Análise de Variância (ANOVA) dos estoques de Carbono extraído por água quente (C-AQ), Carbono oxidado por permanganato (C-OXP) e Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

Profundidade	Fonte Variação	Estoques				
		CT	C-AQ	C-OXP	NT	$\text{NO}_3^-$
0-5 cm	Gesso	ns	*	ns	ns	ns
	Doses N	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose N	ns	ns	ns	ns	ns
	Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Tempo	ns	ns	**	ns	ns
	Dose N x Tempo	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns	ns	ns
5-10 cm	Gesso	ns	*	ns	ns	ns
	Doses N	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose N	ns	ns	ns	ns	ns
	Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Tempo	ns	ns	*	ns	ns
	Dose N x Tempo	ns	**	ns	ns	**
	Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns	ns	ns
10-20 cm	Gesso	ns	*	**	ns	ns
	Doses N	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose N	ns	ns	ns	ns	ns
	Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Tempo	ns	ns	*	ns	ns
	Dose N x Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns	ns	ns
20-40 cm	Gesso	ns	*	*	ns	ns
	Doses N	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose N	ns	ns	ns	ns	ns
	Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Tempo	ns	**	ns	ns	ns
	Dose N x Tempo	ns	**	*	ns	ns
	Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns	ns	ns
40-60 cm	Gesso	ns	**	*	ns	*
	Doses N	ns	ns	ns	ns	**
	Gesso x Dose N	ns	ns	ns	ns	*
	Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Tempo	ns	**	**	ns	ns
	Dose N x Tempo	ns	**	**	ns	**
	Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns	ns	ns

##### 4.3.1.1 – Fonte de variação Gesso:

Dentro dos compartimentos do Carbono, percebe-se que o fator gesso alterou significativamente os estoques de C-AQ, onde a presença do gesso promoveu um acréscimo

nos estoques em todas as profundidades avaliadas.

Para o compartimento do C-OXP nota-se que a fonte de variação gesso não promoveu alterações significativas nas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm), enquanto nas camadas a partir de 10 cm percebe-se mudanças nos estoques deste compartimento

Analisando-se os estoques de  $\text{NO}_3^-$ , um efeito semelhante ao C-OXP ocorreu, tendo alterações nos estoques em camadas mais profundas, ou seja, na camada 40-60 cm houve uma diferenciação dos estoques em função do uso do Gesso.

#### 4.3.1.2 – Fonte variação Doses de N:

As doses de N promoveram alterações altamente significativas nos estoques de  $\text{NO}_3^-$  em todas as camadas avaliadas, enquanto os compartimentos do C-AQ e C-OXP não foram alterados nas profundidades estudadas.

#### 4.3.1.3 – Fonte de variação Tempo:

Todos os estoques avaliados apresentaram variações significativas em função da variável tempo nas diferentes camadas avaliadas.

### 4.3.2 – Flutuação do Nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) nas diferentes camadas e tempos

Considerando que a adubação nitrogenada foi realizada aos 32 dias após semeadura, as variações nos estoques de N mineral foram observadas a partir da época 2 (E2), conforme observa-se na Figura 6.

Dentro da época 1 (E1) o solo dispunha de estoque médio de 24,81 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{N-NO}_3^-$  para a camada 0-20 cm (TABELA 3). Esta mesma camada avaliada na E2 já apresentava estoques diferentes em função das doses de N utilizadas (FIGURA 6).

Notavelmente os maiores estoques de  $\text{N-NO}_3^-$  estão concentrados na época 3 (E3), que corresponde a 54 dias após a aplicação da ureia. Ainda dentro da E3 observa-se o deslocamento o íon  $\text{NO}_3^-$ , que vai das camadas mais superficiais para as mais profundas. Este efeito de deslocamento do ânion também é observado nas épocas 4 (E4) e 5 (E5), onde os estoques da camada 10-20 cm são alterados.

O efeito deste deslocamento para camadas mais profundas é amplamente discutido na literatura (CABEZAS *et al.*, 2000; BAYER *et al.*, 2015; MOTA *et al.*, 2015). Segundo Sangoi *et al.*, (2003) o nitrato é a forma predominante de nitrogênio nos nossos solos, os quais apresentam predominantemente cargas negativas nas camadas superficiais, consequentemente

a adsorção deste íon é insignificante. Desta forma o  $\text{NO}_3^-$  fica na solução do solo, sendo altamente sensível ao deslocamento para camadas mais profundas.

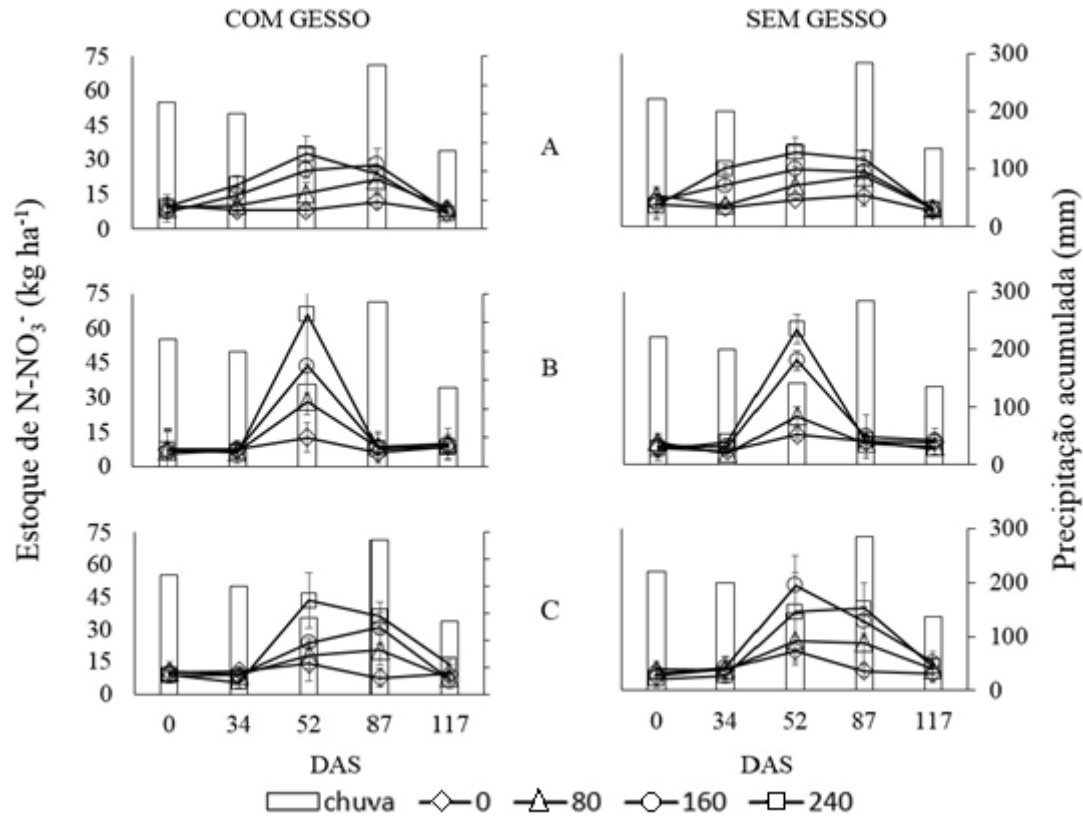


Figura 6 – Flutuação do  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).

A flutuação do  $\text{NO}_3^-$ , representada na Figura 6 e respaldada pela Tabela 2, não apresentou alterações pelo uso do gesso na camada de 0-20 cm.

Com base na ANOVA, observa-se que o fator Gesso se tornou uma fonte de variação significativa apenas na camada 40-60 cm dentro da E5, apenas nas doses de 160 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, onde pode-se notar que o uso do gesso resultou em um menor estoque de  $\text{NO}_3^-$  na camada referida, cujos dados podem ser visualizados também na Figura 7, que mostra a distribuição deste íon ao longo do perfil amostrado.

Este menor estoque de nitrato, nas maiores profundidades, pode ser atribuído à maior absorção do nutriente pelo sistema radicular mais desenvolvido, onde existe gesso.

Além disso, pode-se inferir que a partir deste menor volume de nitrato, encontrado na camada 40-60 cm, menor seja a lixiviação do íon para camadas que não possa mais ser recuperado pelos sistemas radiculares das culturas.

Resultados semelhantes a este foram encontrados por CAIRES *et al.*, (2016), onde o uso

do gesso reduziu significativamente os valores de nitrato lixiviados a partir de 20 cm de profundidade. Estes autores também justificam a menor perda de  $\text{N-NO}_3^-$  do sistema, em função do uso do gesso agrícola, cujos benefícios estão vinculados à melhor exploração do solo pelo sistema radicular.

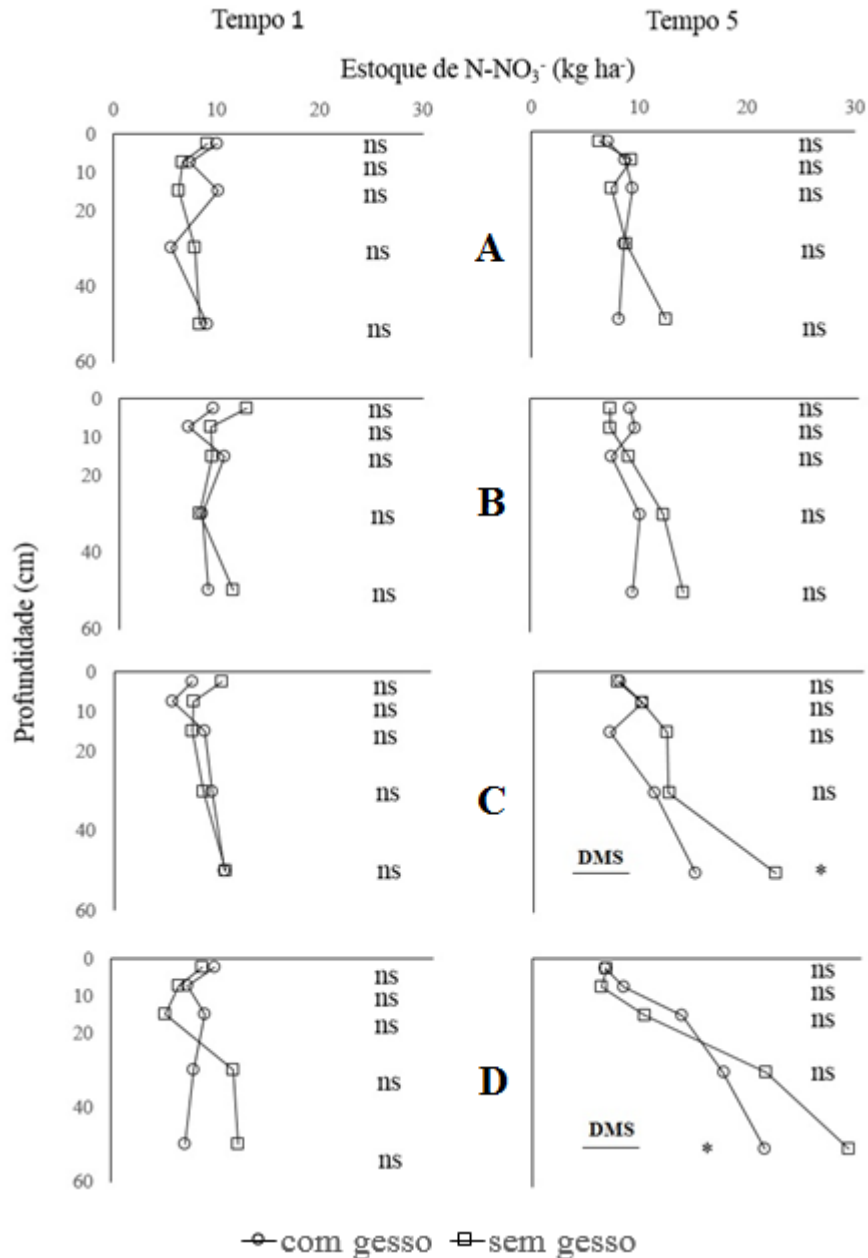


Figura 7 – Distribuição do  $\text{NO}_3^-$  ao longo do perfil do solo, nos quatro tratamentos de doses de N: A ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ), B ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), C ( $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e D ( $240 \text{ kg ha}^{-1}$ ). DMS pelo Teste de Tukey a 5%.

Outro dado importante que deve ser destacado é o estoque médio acumulado de  $\text{NO}_3^-$  na camada 0-20 cm dentro dos diferentes tratamentos com doses de N. O tratamento com dose de  $0 \text{ kg há}^{-1}$  de N acumulou  $138,35 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral na camada 0-20 cm ao longo dos cinco tempos amostrados, dentro da testemunha existem estoques que garantem boa produtividade.



#### 4.3.3 – Flutuação do Carbono Oxidado por Permanganato (C-OXP) nas diferentes camadas e tempos:

Analisando-se apenas o fator tempo, percebe-se que os maiores conteúdos de C-OXP foram observados nas Épocas 3 e 5 (FIGURA 8), onde as camadas superficiais apresentaram maiores conteúdos deste compartimento do C. Também se destaca que a E1 apresentou o menor conteúdo de C-OXP, enquanto as E2 e E4 apresentaram conteúdos intermediários.

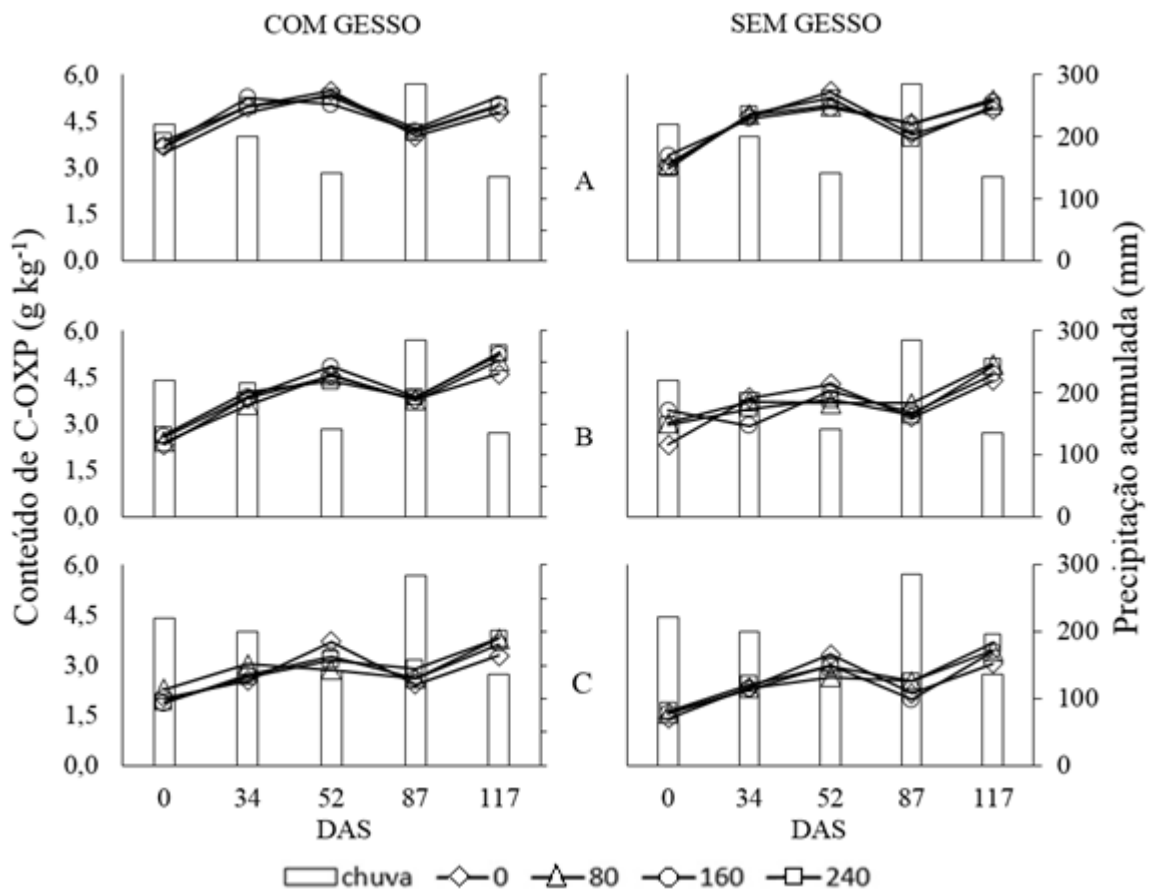


Figura 8 – Flutuação do conteúdo de C-OXP ( $\text{g kg}^{-1}$ ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).

Com base na Tabela 4, observa-se que a camada 0-5 cm não sofreu alterações em função do uso do gesso, porém a partir da E2 a camadas 5-10 cm e 10-20 cm mostraram diferenças significativas nos respectivos conteúdos de C-OXP em função do uso do gesso.

Sabendo-se que o compartimento C-OXP mostra a fração da matéria orgânica lábil de originada pelos fragmentos dos restos culturais, presume-se que o gesso não tenha afetado diretamente na produção de fitomassa das culturas que antecederam o experimento, mais especificamente os resíduos culturais que foram depositados na superfície.

Porém algumas diferenças significativas são detectadas, para a fonte de variação

Tabela 3 – Estoques de Nitrato na camada 0-20 cm (kg ha<sup>-1</sup>) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N.

Prof. (cm)	Dose N	0 DAS			34 DAS			52 DAS			87 DAS			117 DAS		
		c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média
0-5	0	10,06	9,02	<b>9,54</b> ns	8,17	7,68	<b>7,92</b> a	8,07	10,91	<b>9,49</b> a	11,92	12,48	<b>12,20</b> a	7,12	6,27	<b>6,70</b> ns
	80	9,24	12,53	<b>10,88</b>	10,46	8,71	<b>9,58</b> a	15,51	16,70	<b>16,11</b> ab	21,37	20,27	<b>20,82</b> ab	9,18	7,29	<b>8,23</b>
	160	7,42	10,25	<b>8,84</b>	14,81	16,75	<b>15,78</b> b	25,60	23,38	<b>24,49</b> bc	27,97	22,09	<b>25,03</b> b	7,89	7,57	<b>7,73</b>
	240	9,57	8,42	<b>8,99</b>	19,25	23,39	<b>21,32</b> c	32,67	30,23	<b>31,45</b> c	23,77	27,38	<b>25,57</b> b	6,66	6,80	<b>6,73</b>
	Méd.1	9,07 ns	10,05		13,17 ns	14,13		20,46 ns	20,31		21,26 ns	20,56		7,71 ns	6,98	
Méd. 2	9,56 A			13,65 AB			20,39 B			20,91 B			7,35 A			
5-10 cm	0	7,37	6,68	<b>7,03</b> ns	7,42	5,39	<b>6,41</b> ns	12,62	12,21	<b>12,41</b> a	5,93	9,42	<b>7,68</b> ns	8,74	9,23	<b>8,98</b> ns
	80	6,83	9,02	<b>7,92</b>	6,45	4,52	<b>5,49</b>	28,11	19,58	<b>23,84</b> a	8,59	8,67	<b>8,63</b>	9,59	7,39	<b>8,49</b>
	160	5,61	7,50	<b>6,56</b>	7,24	7,33	<b>7,29</b>	43,70	42,24	<b>42,97</b> b	8,45	11,32	<b>9,89</b>	9,88	9,87	<b>9,88</b>
	240	7,05	6,28	<b>6,66</b>	6,20	9,06	<b>7,63</b>	65,89	54,83	<b>60,36</b> b	7,73	9,48	<b>8,60</b>	8,29	6,32	<b>7,31</b>
	Méd.1	6,72 ns	7,37		6,83 ns	6,58		37,58 ns	32,21		7,68 ns	9,72		9,13 ns	8,20	
Méd. 2	7,04 A			6,70 A			34,90 B			8,70 A			8,66 A			
10-20 cm	0	10,10	6,27	<b>8,19</b> ns	10,58	9,09	<b>9,84</b> ns	14,17	17,11	<b>15,64</b> a	7,46	8,30	<b>7,88</b> a	9,40	7,48	<b>8,44</b> ns
	80	10,32	9,20	<b>9,76</b>	8,86	8,75	<b>8,80</b>	17,98	21,61	<b>19,80</b> ab	20,28	20,52	<b>20,40</b> ab	7,44	9,08	<b>8,26</b>
	160	8,59	7,44	<b>8,01</b>	8,80	9,95	<b>9,38</b>	23,80	45,50	<b>34,65</b> bc	30,71	29,80	<b>30,26</b> bc	6,89	12,10	<b>9,50</b>
	240	8,74	5,03	<b>6,89</b>	5,53	6,36	<b>5,95</b>	43,42	34,01	<b>38,71</b> c	35,98	35,45	<b>35,71</b> c	13,64	10,26	<b>11,95</b>
	Méd.1	9,44 ns	6,98		8,44 ns	8,54		24,84 ns	29,56		23,61 ns	23,52		9,34 ns	9,73	
Méd. 2	8,21 A			8,49 A			27,20 B			23,56 B			9,54 A			
20-40 cm	0	5,63	7,92	<b>6,78</b> ns										8,57	8,76	<b>8,66</b> a
	80	8,14	7,90	<b>8,02</b>										10,06	12,16	<b>11,11</b> a
	160	9,30	8,52	<b>8,91</b>										10,97	12,30	<b>11,63</b> a
	240	7,65	11,38	<b>9,52</b>										17,39	21,28	<b>19,33</b> b
	Méd.1	7,68 ns	8,93											11,75 ns	13,63	
Méd. 2	8,31 ns												12,69 ns			
40-60 cm	0	9,10	8,39	<b>8,75</b> ns										8,14	12,48	<b>10,31</b> a
	80	8,81	11,23	<b>10,02</b>										9,35	14,01	<b>11,68</b> a
	160	10,52	10,59	<b>10,55</b>										14,76	22,06	<b>18,41</b> ab
	240	6,81	11,85	<b>9,33</b>										21,17	28,81	<b>24,99</b> b
	Méd.1	8,81 ns	10,51											13,36 A	19,34 B	
Méd. 2	9,66 A												16,35 B			

Obs. Méd. 1 – Comparação de médias entre os tratamentos com e sem gesso (dentro do mesmo tempo)

Obs. Méd. 2 – Comparação de médias entre os tempos

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey (p=0,05), ns não diferem significativamente pelo teste F (p<0,05)

gesso, nas camadas a partir de 5 cm, ou seja, mesmo que não tenha sido relatado o aumento da camada de resíduos depositados na superfície, pode-se inferir que o uso do gesso tenha melhorado o ambiente radicular (BAYER *et al.*, 2015; CRUSCIOL *et al.*, 2016) e consequentemente maior o número de raízes da cultura antecessora podem estar passando pelo processo de decomposição.

A Figura 9 traz a precipitação pluviométrica histórica (Campo Demonstrativo da Fundação ABC) e também a precipitação da safra corrente (dados da fazenda), distribuída por decêndios. Além disso traz a precipitação acumulada para cada época de amostragem, que coincidem com os estádios fenológicos mencionados inicialmente. Também, na mesma figura, apresenta-se os dados de variação das máximas temperaturas em relação à média histórica para o referido período.

Os dois fatores, temperatura máxima e precipitação, foram superiores que as médias históricas. Fatores reportados na literatura como os agentes principais no processo de aceleração de decomposição dos resíduos culturais (CALLEGARI *et al.*, 1993; TEIXEIRA *et al.*, 2009)

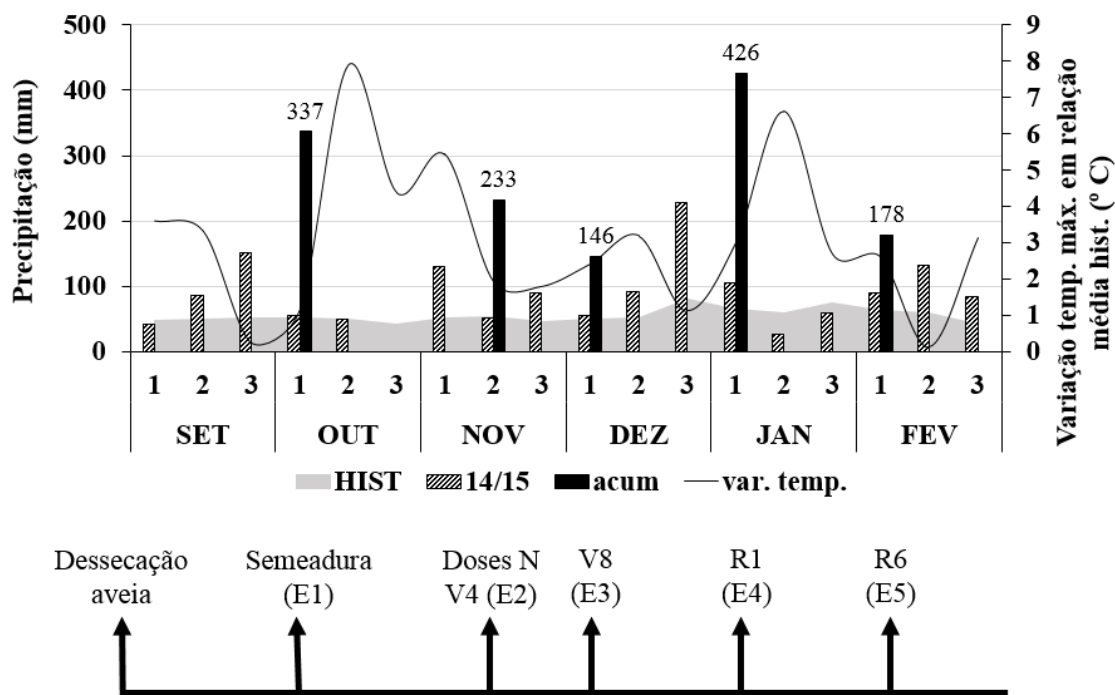


Figura 9 – Comparativo de precipitações e temperaturas máximas – média histórica (Fundação ABC, 2016) e a precipitação e temperatura máxima ocorrida na safra 2014/2015.

À medida que se avança no tempo, pode-se esperar que os resultados significativos observados neste compartimento, em função do uso do gesso, seja o início

Tabela 4 – Conteúdos de C-OXP na camada 0-20 cm (kg ha<sup>-1</sup>) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N

Prof. (cm)	Dose N	0 DAS			34 DAS			52 DAS			87 DAS			117 DAS		
		c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média
0-5	0	3,69	3,09	<b>3,39</b> ns	4,96	4,67	<b>4,82</b> ns	5,48	5,46	<b>5,47</b> ns	4,03	4,09	<b>4,06</b> ns	4,80	4,88	<b>4,84</b> ns
	80	3,50	3,12	<b>3,31</b>	4,80	4,70	<b>4,75</b>	5,35	5,00	<b>5,18</b>	4,28	4,44	<b>4,36</b>	5,30	5,20	<b>5,25</b>
	160	3,71	3,40	<b>3,56</b>	5,26	4,60	<b>4,93</b>	5,05	4,93	<b>4,99</b>	4,18	4,41	<b>4,29</b>	5,03	5,13	<b>5,08</b>
	240	3,87	2,98	<b>3,42</b>	5,00	4,73	<b>4,86</b>	5,28	5,24	<b>5,26</b>	4,13	3,92	<b>4,03</b>	4,97	4,97	<b>4,97</b>
	Méd.1	3,69 ns	3,15		5,01 ns	4,68		5,29 ns	5,16		4,16 ns	4,21		5,02 ns	5,05	
Méd. 2	3,42 A			4,84 B			5,23 C			4,19 AB			5,03 BC			
5-10 cm	0	2,32	2,32	<b>2,32</b> ns	3,82	3,84	<b>3,83</b> ns	4,56	4,28	<b>4,42</b> ns	3,77	3,21	<b>3,49</b> ns	4,60	4,40	<b>4,50</b> a
	80	2,43	3,04	<b>2,73</b>	3,60	3,72	<b>3,66</b>	4,56	3,66	<b>4,11</b>	3,75	3,66	<b>3,71</b>	5,05	4,93	<b>4,99</b> ab
	160	2,59	3,43	<b>3,01</b>	3,87	2,94	<b>3,40</b>	4,84	4,06	<b>4,45</b>	3,85	3,38	<b>3,62</b>	5,21	4,58	<b>4,90</b> ab
	240	2,65	2,95	<b>2,80</b>	4,03	3,49	<b>3,76</b>	4,37	3,78	<b>4,08</b>	3,84	3,26	<b>3,55</b>	5,28	4,85	<b>5,07</b> b
	Méd.1	2,50 ns	2,94		3,83 B	3,50 A		4,58 B	3,95 A		3,80 B	3,38 A		5,04 ns	4,69	
Méd. 2	2,72 A			3,66 B			4,26 BC			3,59 B			4,86 C			
10-20 cm	0	2,03	1,40	<b>1,71</b> ns	2,54	2,33	<b>2,44</b> ns	3,71	3,31	<b>3,51</b> ns	2,42	2,15	<b>2,29</b> ab	3,29	3,04	<b>3,17</b> a
	80	2,27	1,55	<b>1,91</b>	3,02	2,31	<b>2,67</b>	2,87	2,64	<b>2,76</b>	2,61	2,51	<b>2,56</b> ab	3,80	3,42	<b>3,61</b> b
	160	1,86	1,56	<b>1,71</b>	2,70	2,27	<b>2,49</b>	3,27	2,99	<b>3,13</b>	2,58	1,96	<b>2,27</b> a	3,64	3,41	<b>3,52</b> ab
	240	1,89	1,62	<b>1,75</b>	2,65	2,41	<b>2,53</b>	3,15	2,95	<b>3,05</b>	2,91	2,51	<b>2,71</b> b	3,80	3,66	<b>3,73</b> b
	Méd.1	2,01 B	1,53 A		2,73 B	2,33 A		3,25 B	2,97 A		2,63 ns	2,28		3,63 B	3,38 A	
Méd. 2	1,77 A			2,53 AB			3,11 B			2,46 AB			3,51 B			
20-40 cm	0	1,29	1,21	<b>1,25</b> ns										2,20	1,94	<b>2,07</b> a
	80	1,54	1,46	<b>1,50</b>										2,48	2,30	<b>2,39</b> ab
	160	1,19	1,01	<b>1,10</b>										2,50	2,33	<b>2,41</b> ab
	240	1,51	1,35	<b>1,43</b>										2,68	2,32	<b>2,50</b> b
	Méd.1	1,38 B	1,26 A											2,47 B	2,22 A	
Méd. 2	1,32 A												2,34 B			
40-60 cm	0	1,04	0,91	<b>0,98</b>										1,95	1,61	<b>1,78</b> a
	80	1,08	1,04	<b>1,06</b>										2,13	1,93	<b>2,03</b> ab
	160	0,95	0,85	<b>0,90</b>										2,30	2,12	<b>2,21</b> b
	240	1,07	0,89	<b>0,98</b>										2,10	1,77	<b>1,94</b> ab
	Méd.1	1,04 B	0,92 A											2,12 B	1,86 A	
Méd. 2	0,98 A												1,99 B			

Obs. Méd. 1 – Comparação de médias entre os tratamentos com e sem gesso (dentro do mesmo tempo)

Obs. Méd. 2 – Comparação de médias entre os tempos

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey (p=0,05), ns não diferem significativamente pelo teste F (p<0,05)

da decomposição dos resíduos culturais da cultura do milho, pois a E5 situa-se na maturação fisiológica e muitas raízes estão inativas e entram em processo de decomposição, liberando fragmentos.

Em particular apenas a E5 mostrou alterações nos conteúdos de C-OXP em função do aumento das doses de N e também com o uso do gesso agrícola, conforme a Tabela 4.

#### 4.3.4 – Flutuação do Carbono Extraído por Água Quente (C-AQ) nas diferentes camadas e tempos:

A avaliação dos conteúdos de C-AQ ao longo do tempo mostrou diferenças significativas, principalmente nos valores maiores encontrados nas Épocas 1 e 5, onde percebe-se claramente uma curva com os pontos de máxima acontecendo nos extremos. As épocas intermediárias (E2, E3 e E4) mostram similaridade nos respectivos conteúdos de C-AQ.

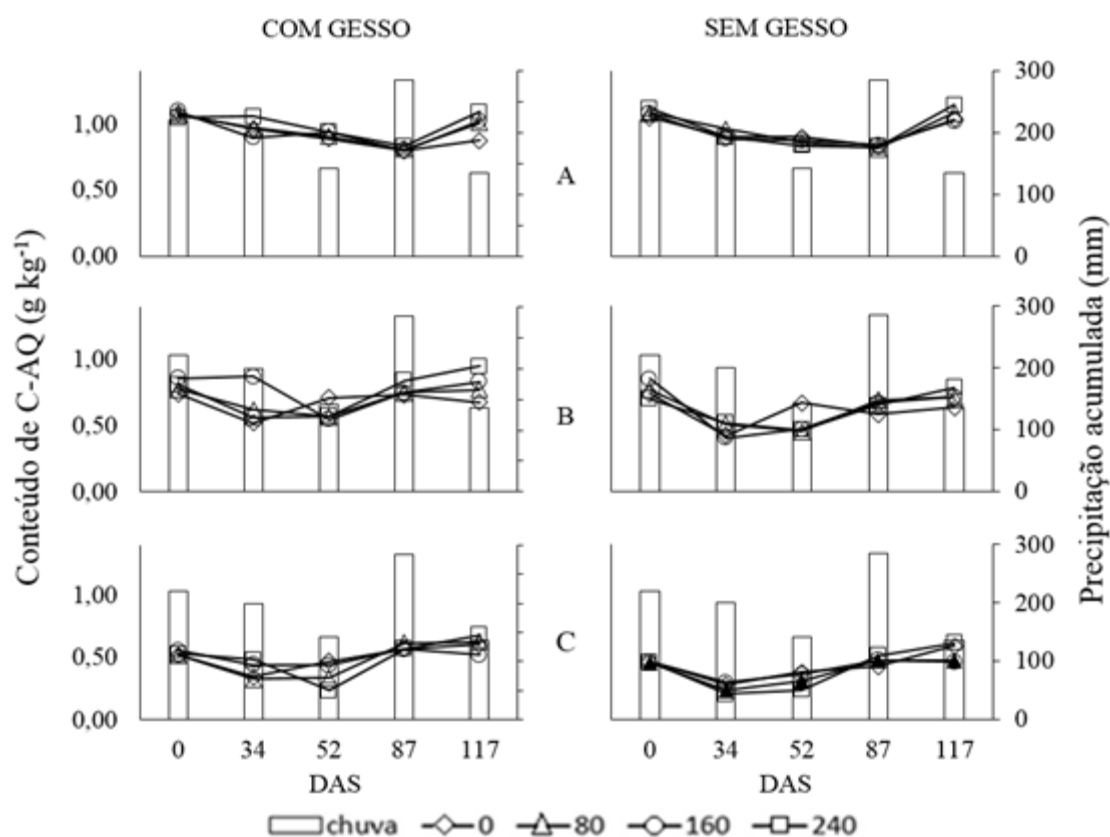


Figura 10 - Flutuação do conteúdo de C-AQ ( $\text{g kg}^{-1}$ ) ao longo dos 5 tempos de amostragem e nas 3 profundidades A (0-5 cm), B (5-10 cm) e C (10-20 cm).

Conforme a Tabela 6, os dados também mostram que a evolução nas épocas de amostragem resulta em uma queda acentuada dos conteúdos em níveis mais baixos que os encontrados na época E1 e os mesmos retomam patamares semelhantes ao inicial, quando se observa os dados da E5.

Sabendo-se que o extrator de C em água quente consegue mensurar o carbono mais lábil do sistema (GHANI *et al.*, 2003) e que o estímulo do crescimento da biomassa microbiana está intimamente ligado ao fornecimento de energia (Carbono), pode-se inferir que os pontos de máximo conteúdo de C-AQ (E1 e E5) estão relacionados à recente inclusão de matéria seca, via palhada de aveia preta (E1) e o início de senescência do milho (folhas mais velhas) a partir do final do enchimento de grãos (E5), servindo de substrato para o ataque da biomassa microbiana.

Ainda na Tabela 6, percebe-se uma tendência de elevação dos conteúdos de C-AQ com o uso do gesso, principalmente nas camadas inferiores a 5-10 cm. O uso do gesso tem proporcionado aumento significativo nos conteúdos deste compartimento do C.

Incrementos na biomassa microbiana são relatados na literatura de formas diferentes, onde CARTER (1986) em estudo de solos alcalinos, obteve incrementos na biomassa em função da redução do pH, o que favoreceu o seu crescimento. Por outro lado, em condições como deste experimento, o uso do gesso não tem, na maioria das vezes, alterado significativamente o pH (CAIRES *et al.*, 2004, 2011; SORATTO & CRUSCIOL, 2008). Já WONG *et al.* (2009) em experimento de incubação concluiu que o gesso não contribuiu para este aumento, mas sim pela adição dos resíduos em superfície.

O uso das diferentes doses de N não promoveu alterações significativas nos conteúdos de C-AQ.

#### **4.3.5 – Correlação e regressão entre as variáveis estudadas**

Analisando as variáveis entre elas (Estoque de C-AQ, estoque de C-OXP, estoque de  $\text{NO}_3^-$  e conteúdo médio de Ca) em uma matriz de correlação, pode-se quantificar a força entre as variáveis. Após essa quantificação, a análise de regressão explicita a forma dessa relação, conforme a Tabela 5.

Buscou-se analisar as épocas E1 e E5, pois as demais épocas (E2, E3 e E4) apresentam uma variação do  $\text{NO}_3^-$  muito grande em função da adubação nitrogenada e isso não permitiu nenhuma correlação expressiva.

Desta forma analisando a matriz de correlação da Tabela 5, nota-se que os maiores coeficientes de correlação, e que apresentaram regressão significativa em  $p < 0,05$ , foram entre os C-AQ e C-OXP com o conteúdo de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Tabela 5: Matriz de correlação entre as variáveis analisadas na camada 0-20 cm para as Épocas 1 e 5 de amostragem.

	Época 1				Época 5			
	C-AQ	C-OXP	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	C-AQ	C-OXP	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>
C-AQ	1,00				1,00			
C-OXP	0,18 <sup>ns</sup>	1,00			0,44 <sup>ns</sup>	1,00		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	1,00		0,62**	-0,03 <sup>ns</sup>	1,00	
Ca <sup>2+</sup>	0,47*	0,43*	-0,31 <sup>ns</sup>	1,00	0,30 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,00

A seguir, a Figura 11 mostra a correlação positiva entre as variáveis Conteúdo de Ca<sup>2+</sup> com os estoques de C-OXP e C-AQ.

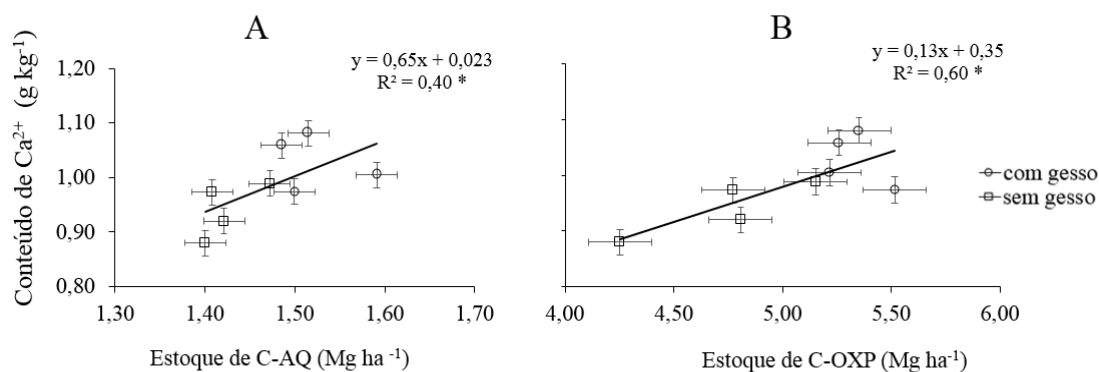


Figura 11 – Regressão entre Conteúdo de Ca<sup>2+</sup> e o estoque de C-AQ (A) e o estoque de C-OXP (B) na camada 0-20 cm dentro da Época 1 de amostragem.

Os resultados obtidos na regressão significativa entre os atributos avaliados, indicam que a cada 1 g kg<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup> de incremento no conteúdo, aumentam-se os estoques de C-AQ e C-OXP em 1,53 Mg ha<sup>-1</sup> e 7,95 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente na camada 0-20 cm.

Uma correlação semelhante foi encontrada por INAGAKI (2016) para o compartimento C-AQ. O autor justifica que o Ca<sup>2+</sup> pode estar atuando como protetor da MOS e principalmente das frações lábeis.

Ainda analisando a Tabela 5, a correlação entre o estoque de C-AQ e o estoque de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi significativa, ou seja, a cada 1 Mg ha<sup>-1</sup> incrementados no estoque de C-AQ, aumenta-se em 13,5 kg ha<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> disponível na solução do solo (FIGURA 12).

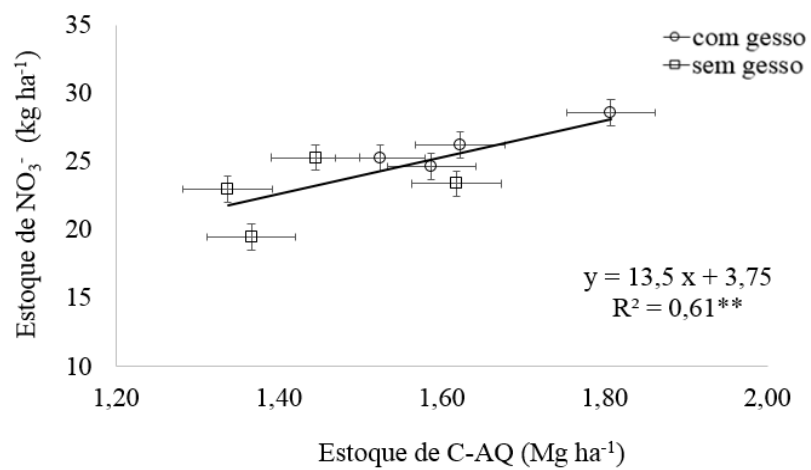


Figura 12 – Regressão entre as variáveis Estoque de  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e Estoque de C-AQ ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na camada de 0-20 cm dentro da Época 5 de amostragem.



Tabela 6 – Conteúdos de C-AQ na camada 0-20 cm (kg ha<sup>-1</sup>) para os cinco tempos de amostragem que contemplam doses de gesso e doses de N

Prof. (cm)	Dose N	0 DAS			34 DAS			52 DAS			87 DAS			117 DAS		
		c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média	c/ gesso	s/ gesso	Média
0-5	0	1,08	1,05	<b>1,06</b> ns	0,96	0,90	<b>0,93</b> ns	0,89	0,90	<b>0,90</b> ns	0,80	0,83	<b>0,82</b> ns	1,03	0,88	<b>0,96</b> ns
	80	1,07	1,08	<b>1,08</b>	0,97	0,96	<b>0,97</b>	0,91	0,86	<b>0,89</b>	0,81	0,82	<b>0,82</b>	1,08	1,01	<b>1,05</b>
	160	1,10	1,08	<b>1,09</b>	0,90	0,89	<b>0,90</b>	0,94	0,88	<b>0,91</b>	0,80	0,84	<b>0,82</b>	1,02	1,02	<b>1,02</b>
	240	1,05	1,12	<b>1,09</b>	1,06	0,90	<b>0,98</b>	0,94	0,84	<b>0,89</b>	0,83	0,83	<b>0,83</b>	1,14	1,09	<b>1,12</b>
	Méd.1	1,07 ns	1,08		0,97 ns	0,91		0,92 ns	0,87		0,81 ns	0,83		1,07 B	1,00 A	
Méd. 2	1,08 C			0,94 B			0,90 AB			0,82 A			1,04 C			
5-10 cm	0	0,74	0,74	<b>0,74</b> ns	0,52	0,42	<b>0,47</b> a	0,71	0,67	<b>0,69</b> ns	0,73	0,58	<b>0,66</b> a	0,68	0,57	<b>0,63</b> ns
	80	0,78	0,77	<b>0,78</b>	0,62	0,51	<b>0,57</b> b	0,57	0,45	<b>0,51</b>	0,75	0,69	<b>0,72</b> ab	0,77	0,68	<b>0,73</b>
	160	0,86	0,85	<b>0,86</b>	0,87	0,41	<b>0,64</b> c	0,55	0,47	<b>0,51</b>	0,75	0,67	<b>0,71</b> ab	0,83	0,71	<b>0,77</b>
	240	0,81	0,70	<b>0,76</b>	0,56	0,52	<b>0,54</b> ab	0,57	0,46	<b>0,52</b>	0,84	0,65	<b>0,75</b> b	0,95	0,78	<b>0,87</b>
	Méd.1	0,80 B	0,76 A		0,64 B	0,46 A		0,60 ns	0,51		0,77 B	0,65 A		0,81 ns	0,69	
Méd. 2	0,78 B			0,55 A			0,56 A			0,71 B			0,75 B			
10-20 cm	0	0,52	0,46	<b>0,49</b> ns	0,34	0,28	<b>0,31</b> ab	0,47	0,38	<b>0,43</b> ns	0,57	0,42	<b>0,50</b> ns	0,60	0,55	<b>0,58</b> ns
	80	0,52	0,45	<b>0,49</b>	0,33	0,23	<b>0,28</b> a	0,33	0,30	<b>0,32</b>	0,62	0,47	<b>0,55</b>	0,62	0,47	<b>0,55</b>
	160	0,55	0,46	<b>0,51</b>	0,44	0,29	<b>0,37</b> c	0,44	0,36	<b>0,40</b>	0,56	0,47	<b>0,52</b>	0,59	0,52	<b>0,56</b>
	240	0,53	0,46	<b>0,49</b>	0,48	0,20	<b>0,34</b> bc	0,23	0,23	<b>0,23</b>	0,57	0,51	<b>0,54</b>	0,68	0,61	<b>0,66</b>
	Méd.1	0,53 ns	0,46		0,40 B	0,25 A		0,37 B	0,32 A		0,58 B	0,47 A		0,62 ns	0,54	
Méd. 2	0,49 B			0,33 A			0,35 A			0,53 B			0,58 B			
20-40 cm	0	0,36	0,32	<b>0,34</b> ns										0,40	0,33	<b>0,37</b> ns
	80	0,45	0,38	<b>0,42</b>										0,39	0,36	<b>0,38</b>
	160	0,40	0,30	<b>0,35</b>										0,37	0,35	<b>0,36</b>
	240	0,40	0,29	<b>0,35</b>										0,37	0,33	<b>0,35</b>
	Méd.1	0,40 B	0,32 A											0,38 B	0,34 A	
Méd. 2	0,36 ns												0,36			
40-60 cm	0	0,30	0,21	<b>0,26</b> ns										0,39	0,30	<b>0,35</b> ns
	80	0,27	0,24	<b>0,26</b>										0,41	0,31	<b>0,36</b>
	160	0,33	0,14	<b>0,24</b>										0,37	0,28	<b>0,33</b>
	240	0,36	0,22	<b>0,29</b>										0,37	0,28	<b>0,33</b>
	Méd.1	0,31 B	0,20 A											0,38 B	0,29 A	
Méd. 2	0,26 ns												0,34			

Obs. Méd. 1 – Comparação de médias entre os tratamentos com e sem gesso (dentro do mesmo tempo)

Obs. Méd. 2 – Comparação de médias entre os tempos

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ( $p=0,05$ ), ns não diferem significativamente pelo teste F ( $p>0,05$ ).

#### 4.4 – CONCLUSÕES

Os estoques de COT e NT não foram afetados pelas fontes de variação empregadas neste experimento, desta forma pode-se afirmar que o uso do gesso em curto espaço de tempo não promove incrementos nestas duas variáveis estudadas. Já a avaliação dos compartimentos do C-lábil se mostraram sensíveis ao manejo empregado com gesso. Correlações positivas e significativas foram encontradas entre os conteúdos de Ca e os estoques de C-AQ e C-OXP, indicando que o Cálcio pode atuar como protetor da MOS, principalmente das frações lábeis. O uso de gesso resultou em menores conteúdos de  $\text{NO}_3^-$  nas camadas mais profundas, sugerindo que o seu emprego minimiza as perdas do íon por lixiviação, mesmo em sem impedimento químico ao aprofundamento do sistema radicular das plantas.

## 5 – CAPÍTULO II: ENTRADAS DE N NO SISTEMA ASSOCIADAS AO USO DE GESSO E SEU REFLEXO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS

### RESUMO

O nitrogênio é um nutriente de grande contribuição para a atividade agrícola, desta forma várias estratégias são estudadas cujo intuito é a maximização da eficiência associada à minimização dos impactos ambientais. Neste sentido, o presente trabalho parte da hipótese que o uso do gesso agrícola minimiza as perdas de nitrato. Dessa forma o objetivo geral foi relacionar a dinâmica dos compartimentos lábeis de C e N como indicadores da redução de perda ou eficiência do N devido ao uso do gesso agrícola em sistema plantio direto de longa duração. O experimento foi implantado em setembro de 2012 em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso em Ponta Grossa – PR. O delineamento experimental foi em parcelas sub-subdivididas com três repetições. As fontes de variação empregadas foram gesso agrícola (parcelas), doses de nitrogênio (sub-parcelas) e o tempo (sub-subparcelas). A semeadura do milho ocorreu em setembro de 2014. Os tratamentos empregados nas parcelas foram doses de gesso: a) ausência de gesso; b) 2,7 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, aplicados em superfície. Os tratamentos que compuseram as subparcelas foram: a) ausência de N; b) 80 kg ha<sup>-1</sup> de N; c) 160 kg ha<sup>-1</sup> de N; d) 240 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no milho no estágio fenológico de V4 (quatro folhas verdadeiras expandidas). O fator tempo foi inserido como sub-subparcela, sendo que as avaliações foram realizadas em a) 0 dias após semeadura (DAS); b) 34 DAS; c) 52 DAS; d) 87 DAS; e) 117 DAS. Dentro da primeira e da quinta época foram amostradas as camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Para as épocas intermediárias foram amostradas as camadas até 20 cm. As variáveis analisadas foram estoque de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, composição de C:N nos resíduos culturais da aveia preta durante o ciclo de desenvolvimento do milho e a própria liberação de N através da decomposição. As produtividades de grãos e o aporte de fitomassa pelas culturas também foram mensuradas para posterior análise. A decomposição da aveia preta resultou em 39,7% em massa quando comparado com a primeira época, ou seja, nesse sentido a aveia disponibilizou 36 kg ha<sup>-1</sup> de N para o sistema. Analisando a produtividade dos cultivos, a adubação nitrogenada foi a fonte de variação que apresentou as maiores alterações nas variáveis estudadas. O fator gesso promoveu variações significativas apenas na cultura do trigo, além disso a interação entre N x Gesso foi significativa, onde nas menores doses de N o gesso proporcionou ao trigo melhor desempenho, porém na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> o gesso permitiu queda na produtividade. A cultura da soja respondeu de forma negativa a partir de 25 kg ha<sup>-1</sup> de N. O cultivo de milho da safra 2014/15 apresentou resposta quadrática quanto ao uso das doses de N, onde a maior produtividade encontra-se em 150 kg ha<sup>-1</sup>. Analisando as correlações entre os estoques de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e as doses de N aplicadas, obteve-se uma regressão linear com R<sup>2</sup> = 0,90 e com nível de significância P<0,01. Ainda em correlação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com a produtividade observa-se que a regressão é polinomial de 2º grau, com R<sup>2</sup> = 0,66 e com nível de significância P<0,01, cujos dois gráficos sugerem que o estoque de 231 kg há-1 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> promova a maior produtividade, que corresponde a 147 kg ha<sup>-1</sup> de N. A correlação entre o estoque de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e as doses de N utilizadas indica grande dependência entre os fatores, além disso a dependência entre produtividade e estoque de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> também é significativa, podendo ser gerada uma recomendação de N para o milho através desta interpretação.

Palavras-chave: Nitrato, decomposição, milho, aveia preta.

## 5.1 – INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um nutriente que tem proporcionado as maiores variações nos componentes de rendimento nas gramíneas, principalmente a cultura do milho (CERETTA *et al.*, 2002; CRUSCIOL *et al.*, 2011; BORTOLOTTO *et al.*, 2015). Muitas vezes para satisfazer tal necessidade e para a obtenção de altas produtividades, a ferramenta é o uso de altas doses de fertilizantes nitrogenados.

Através das reações químicas e biológicas que o nitrogênio está sujeito, seu manejo e recomendação se tornam altamente complexos (MOTA *et al.*, 2015). Atrelado a isso ainda, existe a dependência das condições climáticas para que ocorra a absorção do nutriente pela planta (CANTARELLA & DUARTE, 2004). Segundo Vargas (2010), apenas uma parte do N aplicado é absorvido pelas plantas, o restante pode ser perdido na interação do sistema solo-planta-atmosfera por processo de desnitrificação, erosão, volatilização e lixiviação.

A complexidade das transformações do N no solo pode gerar uma falta de sincronia entre a disponibilidade no solo e a demanda pelas plantas do referido nutriente. Segundo Bayer & Fontoura (2006) a aplicação do N via fertilização mineral atinge patamares de 50% de eficiência, sendo que o restante pode ser perdido ou imobilizado temporariamente na biomassa microbiana do solo.

A introdução do sistema plantio direto proporcionou perspectivas novas na melhoria da qualidade do solo, atreladas à diminuição de perdas de solo pela erosão, melhor reciclagem de nutrientes e maior atividade biológica. Desta forma é de suma importância a manutenção das entradas de matéria seca suficientes para manter o solo coberto por longos períodos.

A correta escolha de espécies que serão introduzidas no sistema depende da adaptação das mesmas às condições da região. Neste sentido, o objetivo deste capítulo é abordar o comportamento da decomposição dos resíduos culturais da aveia preta durante o ciclo do milho, bem como o monitoramento dos fluxos de  $\text{NO}_3^-$  no solo para o entendimento das respostas de produtividade de grãos.

## 5.2 – MATERIAL E MÉTODOS

As descrições da localização e forma de condução do experimento foram abordadas no Capítulo I, entre as páginas 19 e 24.

### 5.2.1 – Delineamento Experimental e Análises Estatísticas.

Para este capítulo da dissertação, manteve-se o delineamento de parcelas sub-subdivididas, utilizando o tempo como fonte de variação. Desta forma nas parcelas foram utilizadas as doses de gesso (0 e 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>), nas subparcelas doses de N (dose 1, dose 2, dose 3 e dose 4) e as sub-subparcelas as amostragens no tempo.

Em função das diferentes culturas utilizadas ao longo do experimento, doses de N foram ajustadas para todas as culturas, considerando as doses (D): D1 (0 kg ha<sup>-1</sup> de N); D2 (25, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N para soja, trigo e milho respectivamente); D3 (50, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N para soja, trigo e milho respectivamente) e D4 (75, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N para soja, trigo e milho respectivamente).

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) através do programa SISVAR. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5. Análises de regressão por polinômios ortogonais foram realizadas para avaliar o efeito das doses de N. O critério para selecionar o modelo foi a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5%.

### 5.2.2 – Análises adicionais realizadas

Amostras de palha de aveia preta foram coletadas em cinco épocas de amostragem: antes da semeadura caracterizando a época 1 (E1) e nos estádios de desenvolvimento V4 equivalente a quatro folhas expandidas e designada como época 2 (E2), em V8 equivalente a oito folhas verdadeiras expandidas e designada como época 3 (E3), em R1 equivalente ao florescimento e designada como época 4 (E4) e em R6 equivalente a maturação fisiológica do milho, sendo designada como época 5 (E5).

As amostras de palha foram coletadas com auxílio de um quadro de ferro com dimensões de 0,5 x 0,5 m em três repetições em cada subparcela. O local de amostragem da palha foi realizado de forma sistematizado, conforme Figura 13 a seguir que ilustra a subparcela.

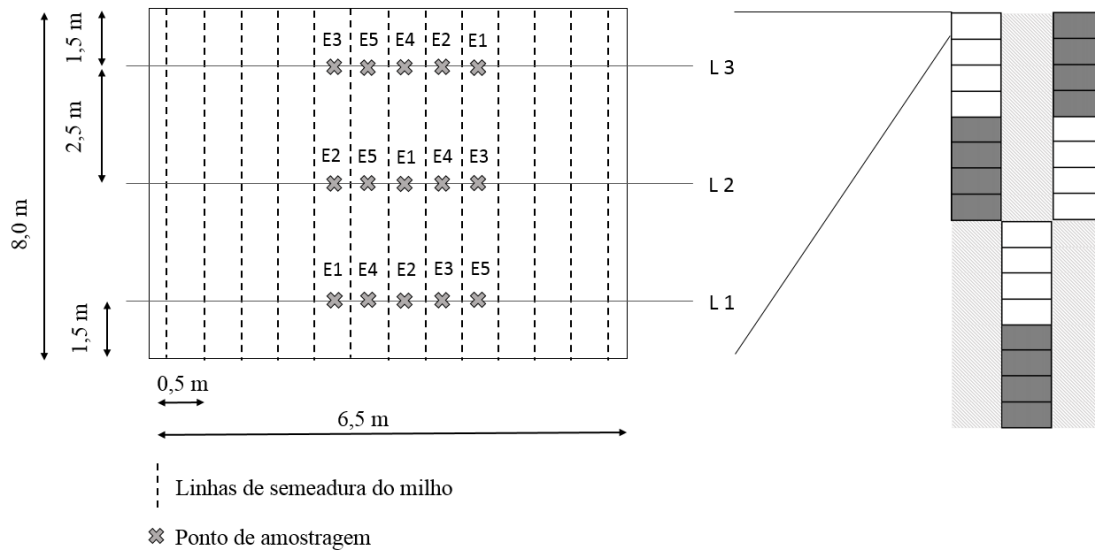


Figura 13 – Amostragem sistematizada para coleta de amostras de solo deformadas e para coletas da palhada de aveia preta. L1 representa a linha 1 de amostragem, L2 representa a linha 2 e L3 a linha 3.

Linhas imaginárias foram definidas para delimitar onde sairiam cada subamostra de palha de aveia. Dentro de cada linha imaginária, sortearam-se as cinco épocas de amostragem. O sorteio foi validado para todas as subparcelas do experimento.

As amostras de palha de aveia foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de 60°C até massa constante. Após quantificar a massa, as subamostras foram agrupadas e moídas em moinho do tipo Willey e posteriormente analisadas pelo método de combustão seca, utilizando um determinador elementar de C e N (Tru Spec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

A produção de grãos foi quantificada desde a implantação do experimento, bem como a estimativa produção de biomassa aportada, através dos dados obtidos por Sá *et al.*, (2014), onde os autores encontraram os índices de produção de massa seca de parte aérea e raiz através da produção de grãos para diversas espécies cultivadas, conforme descrito na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Índices de biomassa de parte aérea e raízes e conteúdos de C para as culturas utilizadas.

Cultura	IBA	IBR	% C
Milho	1,10*	0,25**	45,5
Soja	0,89	0,20	39,5
Trigo	0,95	0,15	45,0
Aveia preta	1,00	0,23	43,2

Adaptado de Sá *et al.*,(2014)

\* o índice IBA (índice de biomassa da parte aérea) significa que para cada tonelada de grãos produzida, tem-se 1,1 toneladas de palha da parte aérea.

\*\* o índice IBR (índice de biomassa do sistema radicular) significa que a cada tonelada de grãos produzida, tem-se 0,25 tonelada de palha do sistema radicular.

Onde IBA é a relação entre grãos e parte aérea, IBR é o índice de biomassa do sistema radicular e % C é o conteúdo médio de C para o cultivo. Desta forma para o cálculo de produção de biomassa, multiplica-se a produção de grãos por IBA e IBR e encontra-se biomassa da parte aérea e biomassa de raízes, respectivamente.

Conforme descrito no capítulo 1, as amostras de solo para determinação do N mineral foram preparadas no laboratório para a extração do  $\text{NO}_3^-$  imediatamente após amostragem, seguindo os procedimentos já mencionados (PICCOLO *et al.*, 1994; ALVES *et al.*, 1994).

## 5.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 – Fluxos de N no sistema

No Capítulo 1 discutiu-se a flutuação de nitrato em função das três fontes de variação. Nesta mesma abordagem os fatores que promoveram as maiores alterações nos estoques de  $\text{NO}_3^-$ , na camada 0-20 cm, foram o Tempo e as Doses de N. Além disso, pôde-se evidenciar que o fator Gesso portou-se como fonte de variação significativa apenas nas camadas mais profundas (40-60 cm). A Tabela 8 traz o quadro resumo de ANOVA para as variáveis analisadas.

Tabela 8 – Resumo da ANOVA para os atributos avaliados.

Fonte Variação	Estoque de $\text{NO}_3^-$ (0-20)	N-palhada	Decomposição palhada
Gesso	ns	ns	ns
Dose N	**	ns	ns
Gesso x Dose N	ns	ns	ns
Tempo	**	**	**
Gesso x Tempo	ns	ns	ns
Dose N x Tempo	**	ns	ns
Gesso x Dose x Tempo	ns	ns	ns

ns não diferem significativamente pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \* significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e \*\* altamente significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ )

As fontes Gesso e Doses de N não apresentaram significância na variação dos estoques de N na palhada, bem como não influenciaram as taxas de decomposição da mesma. Em estudo de decomposição da palhada de gramíneas, Carvalho (2011) encontrou informações semelhantes em relação ao uso do gesso em não alterar a decomposição dos resíduos culturais.

Dentro deste estudo apenas a fonte de variação Tempo permitiu diferenças significativas nos estoques de N na palhada e nas taxas de decomposição.

Sabe-se que a cultura antecessora tem papel fundamental na disponibilidade do N para a cultura subsequente (AMADO, *et al*, 2002) e com base na ANOVA da Tabela 8, pode-se inferir que a diferença nos conteúdos de  $\text{NO}_3^-$  observados no capítulo anterior não se devem a liberação de N pela cobertura vegetal em questão.

As variações nos estoques de nitrato foram observadas a partir dos 52 dias após a semeadura (DAS) (TABELA 9). Esta variação está associada ao uso do fertilizante nitrogenado



adicionado no sistema em 32 DAS, desta forma não sendo detectadas variações significativas ainda na segunda época de amostragem. Os maiores estoques de  $\text{NO}_3^-$  foram encontrados para as maiores doses (160 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$ ), totalizando valores superiores a 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  na camada 0-20 cm.

Tabela 9 – Desdobramento da interação Dose de N x Tempo para os estoques de  $\text{NO}_3^-$ , na camada 0-20 cm, ao longo dos cinco tempos de amostragem.

Dose N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Dias após semeadura					
	0	34	52	87	117	Média
	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----					
0	24,8 Aa	24,2 Aa	37,5 Aa	27,8 Aa	24,1 Aa	27,7
80	28,6 Aa	23,9 Aa	60,0 Bb	49,9 Bb	22,9 Aa	37,0
160	23,4 Aa	32,4 Aa	102 Cc	65,2 Bc	25,0 Aa	49,6
240	22,5 Aa	34,9 Aa	131 Cd	69,9 Bc	26,0 Aa	56,8
Média	24,8	28,8	83,0	53,2	24,5	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ( $p=0,05$ ), ns não diferem significativamente pelo teste F ( $p<0,05$ )

Aos 85 dias após aplicação de N (E5) pode-se visualizar que os estoques de  $\text{NO}_3^-$  voltam a patamares semelhantes aos que se encontravam no início do monitoramento. Ernani *et al.* (2002) relatam a grande variação em curto espaço de tempo, cujo comportamento dificulta recomendações de fertilização de N através do monitoramento deste íon.

Estudos realizados nos EUA (VANOTTI & BUNDY, 1994) apontam que testes de  $\text{NO}_3^-$  são mais eficientes quando realizados antes da aplicação da fertilização, visando a recomendação complementar do N em cobertura. Testes de nitrato no Brasil são relatados por Rambo *et al.* (2004) sugerem valores críticos de 20  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ . Porém, em trabalhos recentes Isla *et al.*, (2015) mostraram que o uso desta técnica se torna “grosseira” para a diferenciação entre ambientes que estão supridos de N em relação aos deficientes, mas destacam a grande valia desta técnica para a caracterização de excessos.

Fator importante a ser mensurado nas entradas de N no sistema é a contribuição da cultura antecessora. A Figura 14 mostra o comportamento da decomposição da palhada da aveia preta, bem como a liberação de N pela mesma.

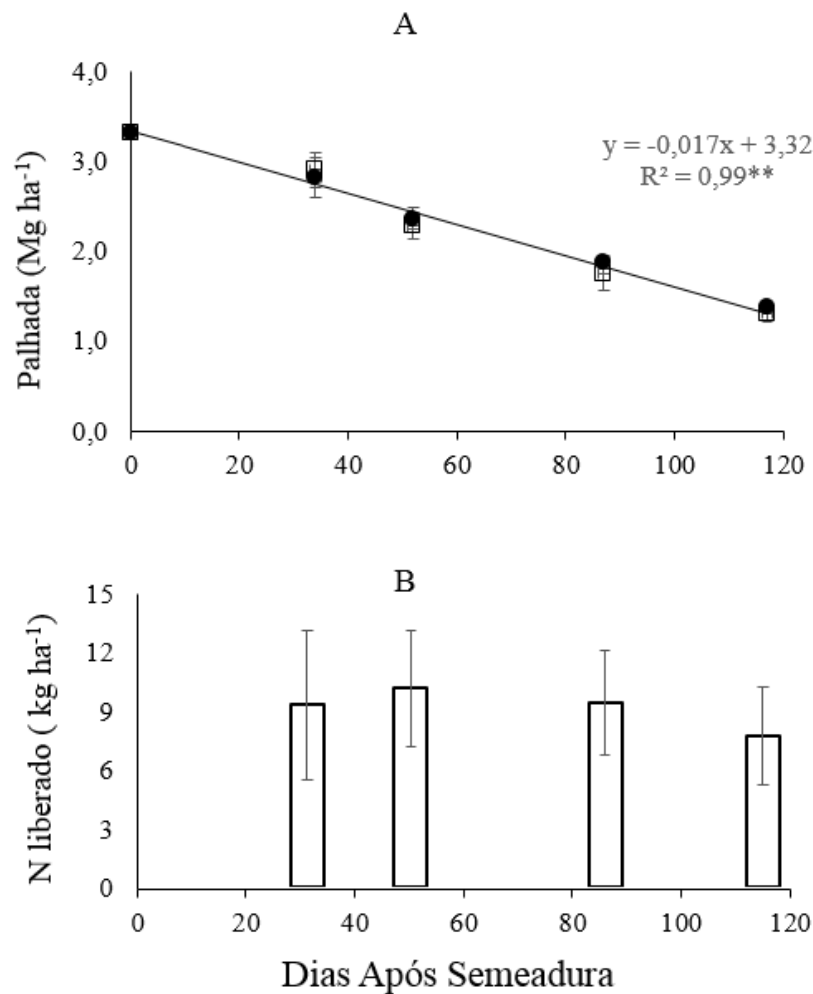


Figura 14 – Variação temporal da quantidade de resíduo cultural (RC) (A) e liberação de nitrogênio (B) oriundo dos resíduos culturais da aveia durante o ciclo da cultura do milho.

A Figura 14.B mostra que a contribuição de fornecimento de N via decomposição da palhada chegou a 36 kg ha<sup>-1</sup> ao final dos 117 DAS e restando 39,7% do resíduo vegetal inicial (FIGURA 14.A). Essa contribuição de 36 kg ha<sup>-1</sup> foi semelhante a valores encontrados por Teixeira *et al.* (1994), Aita *et al.* (2001), Amado *et al* (2000) referentes a leguminosas, ou seja, a liberação de N pela aveia em sistema plantio direto de longo prazo foi equivalente ao cultivo de leguminosas.

### 5.3.2 - Produtividades de grãos e biomassa dos cultivos desde a implantação do experimento.

A única cultura que se mostrou sensível aos tratamentos de uso de gesso interagido com as doses de N foi o trigo. A Figura 15 detalha o comportamento das culturas frente às doses de

N. Percebe-se que a cultura do milho (safra 12/13) respondeu de forma linear ao aumento das doses de N (FIGURA 15A). Cantarella (2007) relata que comportamento semelhante a esse está associado com anos de menores precipitações, tendendo à maiores respostas. A ANOVA mostra que a principal fonte de variação na produção de grãos deste experimento foi Dose de N, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo de ANOVA para as produtividades de grãos para as culturas utilizadas durante o experimento. Culturas em função do período de estudo

Fonte Variação	Milho 12/13	Trigo 13	Soja 13/14	Milho 14/15	Acum.
Gesso	ns	*	ns	ns	ns
Dose N	**	*	**	**	**
Gesso x Dose N	ns	**	ns	ns	ns

ns não diferem significativamente pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \* significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e \*\* altamente significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ )

O cultivo de trigo na safra 13 revelou interação dos fatores de variação, sendo que o uso do gesso associado às maiores doses de N (160 e 240 kg ha<sup>-1</sup>) promoveram quedas na produtividade (FIGURA 15B).

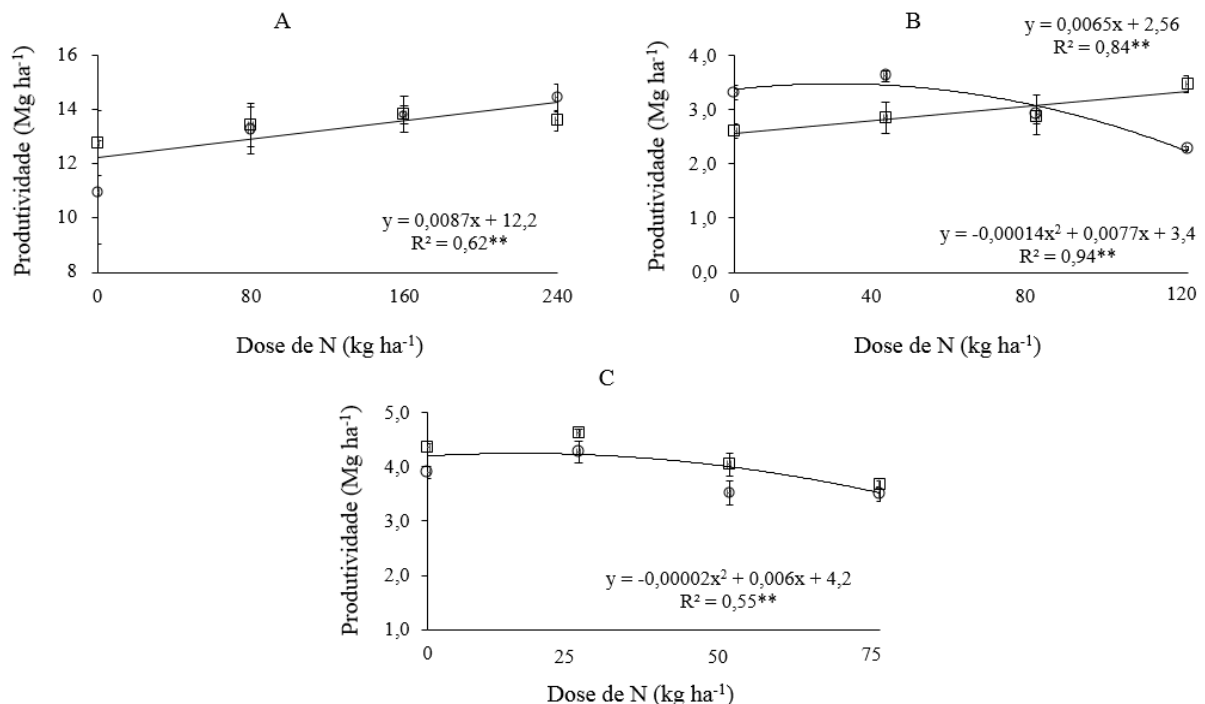


Figura 15 – Resumo das produtividades das culturas utilizadas ao longo do experimento em função das doses de N: Milho na safra 2012/2013 (A), Trigo na safra 2013 (B) e Soja na safra 2013/2014 (C)

Comportamento inverso foi observado no cultivo da soja dentro da safra 13/14, sendo que a máxima produtividade foi alcançada na dose de 26,9 kg ha<sup>-1</sup> de N (FIGURA 15C). Este

modelo indicou decréscimos acentuados na produtividade em função do aumento do N utilizado. O comportamento observado enquadra-se como polêmico e contrastante dentro do meio científico, pois estudos sugerem que o uso do N em soja pode diminuir a produtividade (VARGAS *et al.*, 1982; ALVES *et al.*, 2005; BALBOA *et al.*, 2015; GARCIA *et al.*, 2015) enquanto outra linha demonstra resultados promissores para sojas de alto potencial produtivo (PARENTE *et al.*, 2015).

O milho na safra 14/15 mostrou-se responsivo à adubação com N até 150 kg ha<sup>-1</sup>, indicando seu ponto de máxima produtividade através da derivação da equação demonstrada na Figura 16A. Diferentemente do milho 12/13, a safra 14/15 foi estabelecida em período de bons índices pluviométricos (dados demonstrados no Capítulo I), cuja mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) tende a ser maior e normalmente proporcionando menores respostas à adubação nitrogenada (CANTARELLA, 2007; DARTORA *et al.*, 2013).

Percebe-se que o fator gesso não influenciou o desempenho do milho no quesito produtividade. Através da análise química do solo percebe-se que não existem impedimentos para o bom desenvolvimento e para a busca de altas produtividades. Diferentemente do resultado de Caires *et al.* (2011) que obtiveram incrementos de produção no milho em área corrigida com o uso de gesso, neste trabalho utilizou-se dose mais baixa de gesso, a qual não deve ter ocasionado aumentos expressivos na relação Ca:Mg do solo.

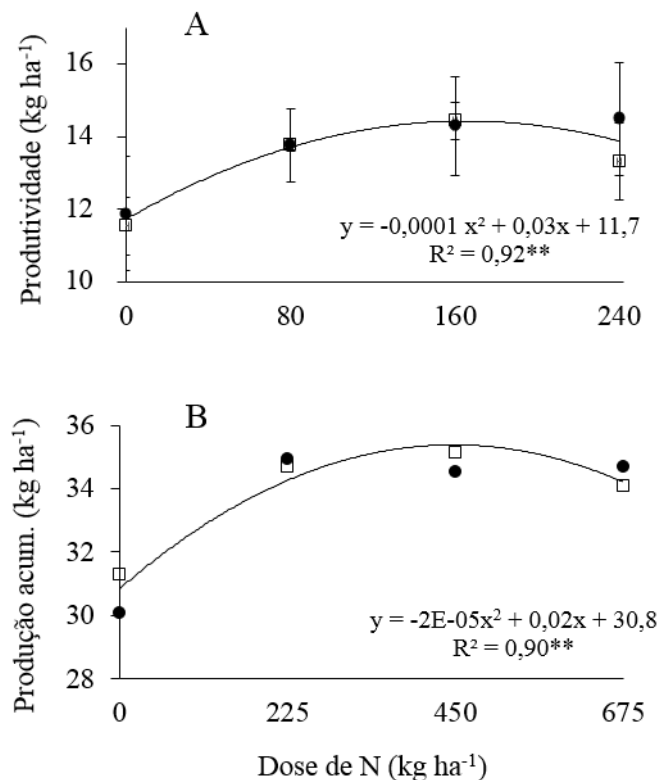


Figura 16 – Produtividade de milho em função das doses de N na safra 2014/2015 (A) e produtividade acumulada

(B) em função do somatório das 4 doses de N para as diferentes culturas.

A Figura 16B resume a produtividade acumulada de todos cultivos, desde implantação do experimento. O gesso não foi um fator significativo dentro das variáveis analisadas, porém o fator Doses de N mostrou-se altamente significativo, promovendo 3 contrastes, sendo a Dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N diferente das outras três. A equação que obteve o melhor ajuste foi quadrática, cujo resultado do ponto de máxima produtividade é encontrado em 500 kg ha<sup>-1</sup> de N para a dose acumulada.

A Figura 17 representa o aporte de fitomassa ao longo do experimento, cujos valores representam a fitomassa oriunda das raízes e parte aérea dos diferentes cultivos estudados. Percebe-se através da equação o ponto de máxima produção corresponde à dose de 450 kg ha<sup>-1</sup> de N.

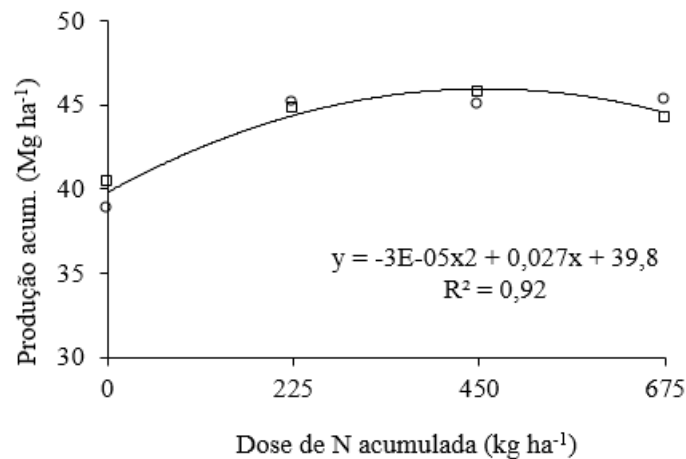


Figura 17 – Produção acumulada de fitomassa em função das doses de N acumuladas ao longo do experimento.

A Tabela 11 traz dados de produtividade de grãos e fitomassa aportada nos cultivos utilizados ao longo do experimento. Percebe-se que as produtividades de milho nas safras de 2012/13 e 2014/15 apresentam grande similaridade nos valores, porém quando se compara as regressões dos dois períodos e faz-se a comparação (FIGURA 15A e FIGURA 16A), pode-se identificar que a primeira safra se mostrou mais responsiva à adubação nitrogenada, pois a equação que melhor se ajustou é linear, enquanto a segunda safra mostra o que o ponto de máxima produtividade é atingido com 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Em uma análise geral das demais produtividades na Tabela 11, soja e trigo apresentaram um desempenho que proporcionaram altos tetos produtivos, evidenciando ainda mais que o potencial da área em questão é de grande magnitude.

Tabela 11 – Produtividades de grãos e fitomassa dos cultivos (Mg ha<sup>-1</sup>) durante o experimento em função das doses de N e ao uso do gesso.

Culturas em cada período	Gesso	Doses de N por cultura (kg ha <sup>-1</sup> )											Média	
		0	0	0	80	40	25	160	80	50	240	120		75
		Milho	Trigo	Soja	Milho	Trigo	Soja	Milho	Trigo	Soja	Milho	Trigo	Soja	
----- Produção de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----														
Milho (2012/13)	Sem	12,8			13,4			13,8			13,6			13,4 <sup>ns</sup>
	Com	10,9			13,3			13,8			14,4			13,1
	Média	11,9 A			13,3 B			13,8 B			14,0 B			
Trigo (2013)	Sem		2,6 a			2,8 a			2,9 a			3,5 b		2,9
	Com		3,3 b			3,6 b			2,9 a			2,3 a		3,0
	Média		3,0			3,2			2,9			2,9		
Soja (203/14)	Sem			4,4			4,6			4,0			3,7	4,2 <sup>ns</sup>
	Com			3,9			4,3			3,5			3,5	3,8
	Média			4,1 B			4,5 C			3,8 A			3,6 A	
Milho (2014/15)	Sem	11,5			13,8			14,4			13,3			13,3 <sup>ns</sup>
	Com	11,9			13,8			14,3			14,5			13,6
	Média	11,7 A			13,8 B			14,4 B			13,9 B			
----- Produção de fitomassa * (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----														
Milho (2012/13)	Sem	17,2			18,1			18,6			18,4			18,1 <sup>ns</sup>
	Com	14,8			17,9			18,7			19,5			17,7
	Média	16,0 A			18,0 B			18,7 B			18,9 B			
Trigo (2013)	Sem		2,9 a			3,1 a			3,2 a			3,8 b		3,2
	Com		3,7 b			4,0 b			3,2 a			2,5 a		3,3
	Média		3,3			3,6			3,2			3,2		
Soja (203/14)	Sem			4,7			5,0			4,4			4,0	4,6 <sup>ns</sup>
	Com			4,3			4,7			3,8			3,8	4,1
	Média			4,5 B			4,9 C			4,1 A			3,9 A	
Milho (2014/15)	Sem	15,6			18,6			19,5			18,0			17,9 <sup>ns</sup>
	Com	16,0			18,6			19,3			19,5			18,4
	Média	15,8 A			18,6 B			19,4 B			18,7 B			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey (p=0,05), ns não diferem significativamente pelo teste F (p<0,05).

\* Estimativa de aporte de fitomassa conforme Sá et al (2014).

### 5.3.3 – Estoques de nitrato e produtividade do milho

Os conteúdos de  $\text{NO}_3^-$  foram mensurados ao longo do experimento e dentro da camada 0-20 cm. Os estoques acumulados, em função das doses utilizadas, mostraram-se sensíveis à regressão linear e com correlação positiva (FIGURA 18A).

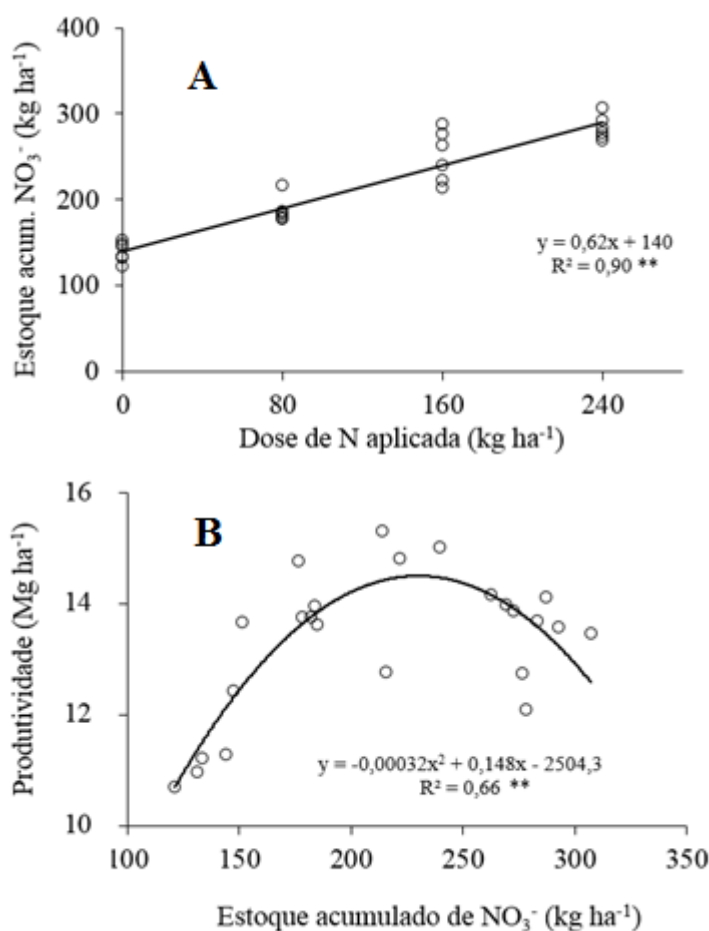


Figura 18 – Estoque acumulado (cinco épocas) de  $\text{NO}_3^-$  na camada 0-20 cm em função das doses de N (A) e correlação do estoque de  $\text{NO}_3^-$  com a produtividade de milho (B). \*\*  $p < 0,01$ .

A Figura 18B revelou relação quadrática entre os estoques de  $\text{NO}_3^-$  e a produtividade de milho, com a máxima produtividade sendo alcançada com 231 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{NO}_3^-$  acumulados no solo (0-20 cm).

Usando como base o ponto de máxima produção do milho em função do estoque de  $\text{NO}_3^-$ , pode-se inferir que a dose de N que representou a máxima produtividade, através da equação da Figura 18A, foi 147 kg ha<sup>-1</sup> de N. Dados semelhantes ao encontrado pela curva de produção (FIGURA 16A) em função das doses de N para o milho da safra 14/15, cujo ponto de máxima é 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

## 5.4 – CONCLUSÕES

Para a camada de 0-20 cm o uso do gesso não influenciou os conteúdos de  $\text{NO}_3^-$ . Esta variável foi influenciada pelo tempo e pelo uso das diferentes doses de N. As fontes de variação Gesso e Doses de N não promoveram alterações. A decomposição da palhada de aveia preta durante o ciclo do milho e a liberação de N pelos resíduos culturais não foram influenciados pela aplicação de gesso e N. A liberação de N pelos resíduos culturais de aveia contribuiu com até  $36 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ao sistema. As entradas de N, com uso da ureia, proporcionaram as maiores variações de produtividade das culturas desde a implantação do experimento. A correlação entre o estoque de  $\text{NO}_3^-$  e as doses de N utilizadas indicou grande dependência entre esses fatores. Além disso, também houve a dependência entre produtividade e estoque de  $\text{NO}_3^-$  no solo (0-20 cm, podendo ser gerada uma recomendação de N para o milho através desta interpretação. Os resultados mostram a possibilidade de serem geradas recomendações de N para a cultura do milho por meio do monitoramento do estoque de  $\text{NO}_3^-$  na camada do solo de 0-20 cm.



## **6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização do gesso foi importante para minimizar o impacto ambiental pela lixiviação de nitrato em solo sem impedimento químico ao aprofundamento do sistema radicular.

Em áreas de alta fertilidade e, conseqüentemente, sem impedimentos químicos para alcançar altos tetos produtivos, doses baixas de gesso não proporcionaram incrementos na produtividade do milho, porém alterações nos compartimentos lábeis do C foram observadas. Portanto, em experimentos que contemplem maior tempo, mudanças devem ser observadas nos estoques de COT e NT e, conseqüentemente, respostas em produção de grãos poderão ser observadas.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.: Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquido de suínos no milho em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2101-2111, 2008

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O.: Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v.25, p.157-165, 2001.

AKAGI, J.; ZSOLNAY, A.; BASTIDA, F.: Quantity and spectroscopic properties of soil dissolved organic matter (DOM) as a function of soil sample treatments: Air-drying and pre-incubation. *Chemosphere*, v.69, n.7. p. 1040-1046, 2007.

ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S., eds. *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília, Embrapa, p.449-469, 1994.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; ARAÚJO, E.S.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MEDEIROS, A.F.A.; DODDEY, R.M. & URQUIAGA, S. Balanço de N em rotação de culturas sob plantio direto em Dourados, MS. *Seropédica, Embrapa Agrobiologia*, 21p, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUC, J; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C.: Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, n.3, p. 679-686, 1999.

AMADO, T.J. et al. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.2, p.241-248, 2002.

BALBOA, G.R.; HODGINS, D.R.; CIAMPITTI, I.A.: Late-season nitrogen fertilizer application in soybean. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, v.1, n.2, 2015.

BALOTA, E. L. et al. Long-term land use influences soil microbial biomass p and s, phosphatase and arylsulfatase activities, and s mineralization in a Brazilian Oxisol. *Land Degradation & Development*, v. 25, n. 4, p. 397-406, 2014.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p. 905-915, 2000.

BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.: Dinâmica do nitrogênio no solo, pré-culturas e o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: Fontoura SMV, Bayer C, editores. Manejo e fertilidade de solos em plantio direto. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária; 2006.

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J.; VIEIRA, F.C.B.; PICOLLO, M.C.; DIECKOW, J.; SIX, J.: Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.146, p. 213-222, 2015.

BLAIR, N. & CROKER, G.J.: Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Australian Journal of Soil Research*, v.38, n.1, p.71-84, 2000.

BLAIR, N.; FAUKNER, R.D.; TILL, A.R.; POULTON, P.R.: Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. *Soil and Tillage Research*, v.91, n.1, p.30-38, 2006.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1*. Madison: American Society of Agronomy. p.363-375, 1986.

BLUM, J.; CAIRES, E.F.; AYUB, A.R.; FONSECA, A.F.; SOZIM, M.; FAUATE, M.: Soil Chemical Attributes and Grape Yield as Affected by Gypsum Application in Southern Brazil, *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, v.42, p.1434-1446, 2011.

BORTOLOTTI, R.P.; BRUNO, I.P.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; SILVA, A.N.; REICHARDT, K.: Nitrate leaching through climatologic water balance in a fertigated coffee plantation. *Ver. Ceres*, v.60, n.6, p. 785-792, 2013.

BRIEDIS, C. Compartimentos da matéria orgânica do solo, agregação, mecanismos de proteção e sequestro de carbono influenciados pela calagem superficial em sistema plantio direto. Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2010. 86. (Dissertação de Mestrado).

CABEZAS, W.A.R.L. TRIVELIN, P.C.O.; CONDORFER, G.H.; PEREIRA, S.: Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.: Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 23, núm. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.: Lime and gypsum application on the wheat crop. *Sci. Agric.*, v.59, p.357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; PADILHA, J.M.: Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.125-136, 2004.

CAIRES, E.F., BARTH, G., GARBUIO, F.J.: Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* v.89, p.3-12, 2006

CAIRES, E.F., GARBUIO, F.J., CHURKA, S., BARTH, G., CORRÊA, J.C.L., Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *Eur. J. Agron.* v.28, p.57–64, 2008.

CAIRES, E.F.C.; MASCHIETTO, E.H.G.; GARBUIO, F.J.; JORIS, H.A.W.: Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. *Scientia Agricola* v.68, n.2, p.209-216, 2011.

CAIRES, E.F.C.; ZARDO FILHO, R.; BARTH, G.; JORIS, H.A.W.: Optimizing nitrogen use efficiency for no-till corn production by improving root growth and capturing  $\text{NO}_3^-$ -N in subsoil. *Pedosphere*, v.26, n.4, p. 474-485, 2016.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Adubação verde no Sul do Brasil. 2ª edição. Rio de Janeiro, Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. 346p.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P.: Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: Galvão JCC, Miranda GV, editores. *Tecnologias de produção do milho*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; p.139-82, 2004.

CANTARELLA, H.: Fontes de nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: p.416-49, 2007.

CARTER, M. Microbial biomass and mineralizable nitrogen in solonchic soils: influence of gypsum and lime amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 18, n. 5, p. 531-537, 1986.

CARTRON, J. M.; WEIL, R. R.; Seasonal trends in soil nitrogen from injected or surface incorporated sewage sludge applied to corn. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 29 (1-2): 121-139. 1998.

CARVALHO, M.C.S. & VAN RAIJ, B.: Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant and Soil*. V. 192. P. 37-48.

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; SOUSA JUNIOR, J.G.A.; VIVALDI, L.J.: Decomposition of plant residues in Latosol under corn crop and cover crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008;

CHANTIGNY, M.H.; ANGERS, D.A.; PRÉVOST, D.; SIMARD, R.R.; CHALIFOUR, F.: Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, v.31, n.4, 1999.

CHANTIGNY, M.H.: Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices, *Geoderma*, v.113, n.3, 2003.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M.: Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/ milho, no Sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.163-171, 2002.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B.;

Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. Pesquisa agropecuária brasileira, v.38, n.6, p.729-735, 2003.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira – grãos – safra 2015/2016 – sétimo levantamento–abril/2016.

CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A.; ROSOLEM, C.A.: Nitrate role in basic cation leaching under no-till. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p1975-1984, 2011.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARTIGIANNI, A.C.C.A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A.C.A.; SORATTO, R.P.; NASCENTE, A.S.; ALVAREZ, R.C.F.: Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. Catena, v. 137, p. 87-89, 2016.

CULMAN, S.W.; SNAPP, S.S.; FREEMAN, M.A.; SHIPANSKI, M.E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRINKWATER, L.E.; FRANZLUEBBERS, A.J.; GLOVER, G.D.; GRANDY, A.S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL, J.E.; MIRKSY, S.B.; SPARGO, J.T.; WANDER, M.M.; Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. Soil Science Society of America Journal, v.76, n.2, 2012

D'ANDREA A.F.; SILVA M.L.N.; CURI N.; GUILHERME, L.R.G.: Carbon and nitrogen storage, and inorganic nitrogen forms in a soil under different management systems. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.179-86, 2004.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D.; SANDER, G.: Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasiliense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.10, p.1023-1029, 2013.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: DYNAMICS of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii, Cap.2, p.33-67. 1989.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2006.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C.: A forma de aplicação da ureia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. Ciência Rural, v.35, n.2, p.360-365, 2002

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G.R.: A Comparison of Strategies for Ameliorating Subsoil Acidity II. Long-Term Soil Effects. Soil Science Society of America. v. 64, n. 2, p. 652-658, 2000.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M. ; FIGUEIREDO, A. G.; BRIEDIS, C.: Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 173-179, 2009.

FERREIRA, A.O.; AMADO, T.J.C.; NORA, D.D.; KELLER, C.; BORTOLOTTI, R.P.: Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em Lotossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. *Ciência del Suelo*, v.31, n.1, p.1-13, 2013.

FERREIRA P.A.A.; GIROTTO E.; TRENTIN G.; MIOTTO, A.; MELO G.W.; CERETTA, C.A.; KAMINSKI, J.; DEL FRARI, B.K.; MARCHEZAN, C.; SILVA, L.O.S.; FAVERSANI, J.C.; BRUNETTO, G.: Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. *Rev Bras Cienc Solo*. v.38, n.5, p.1621-1632 2014.

GARCIA, R.A.; CECCON, G.; KURIHARA, C.H.: Adubação nitrogenada de arranque não influencia a produtividade da soja em diferentes sistemas de produção. *Comunicado Técnico-Embrapa* 201, 2015.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K. W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, v.9, n.35: p.1231-1243, 2003.

GREEN, V. S. et al. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v. 92, n. 1-2, p. 114-121, 2007.

GREGORICH, E.G.; MONREAL, C.M.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; ELLERT, B.: Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil Science*, v.74, n.4, 367-385, 1994.

HARTMAN, D.C.: Dinâmica do carbono e agregação do solo influenciada pelo uso de fósforo em sistema integrado de produção agropecuária. Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016. 89. (Dissertação de Mestrado).

HASSOUNA, M.; MASSIANI, C.; DUDAL, Y.; PECH, N.; THERAULAZ, F.: Changes in water extractable organic (WEOM) in a calcareous soil under field conditions with time and soil depth. *Geoderma*, v.155, n.1, p.75-85, 2010.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Classificação climática-Segundo Köppen. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acesso em: 01 junho. 2014.

INAGAKI, T.M.: Calagem e gessagem como estratégias para aumento do sequestro de carbono em plantio direto. Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016. 76. (Dissertação de Mestrado).

ISLA, R.; SALMERÓN, M.; CAVERO, J.; YAGÜE, M.R.; QUILEZ, D.: Utility of the end-of-season nitrate test for nitrogen sufficiency of irrigated maize under Mediterranean semi-arid conditions. *Spanish Journal of Agriculture Research*, v.13, n.1, 2015

JENKINSON, D.S.; AYANABA, A. Decomposition of carbon-14 labeled plant material under tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.41, p. 912-915, 1977.

JORIS, H.A.W.: Atributos químicos do solo e comportamento da sucessão milho-trigo-soja após longo período da aplicação de calcário e gesso em sistema plantio direto. 2008, 47f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em agronomia) Monografia. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. Nitrogen in agricultural soils. Madison, Soil Science Society of America, p.605-649, 1982

LUCAS, S.T. & WEIL, R.R.: Can a labile carbon test be used to predict crop responses to improve soil organic matter management? *Agronomy Journal*, v.104, n.4, p.1160-1170, 2011.

MELERO, S.; LÓPEZ-GARRIDO, R.; MURILLO, J.M.; MORENO, F.: Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, v.104, n.2, p.292-298, 2009.

MOTA, M.R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D.E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C.M.; DALL'IGNA, L.: Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p. 512-522, 2015

PARENTE, T.L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; PIVETTA, R.S.; SOUZA, L.G.M.; BOSSOLANI, J.W.: Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no cerrado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.10, n.2, p.249-255. 2015.

PAVAN, M.A., M.F. Bloch, H.C. Zempulski, M. Miyazawa, and D.C. Zocoler. 1992. Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. IAPAR Circ. 76. Inst. Agrônomo do Paraná (IAPAR), Londrina, Brasil.

PICCOLO, M.C.; NEILL, C. & CERRI, C.C. Net mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. *Plant Soil*, v.162, p.61-71, 1994.

PÖTTKER, D. & ROMAN, E. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.29, p.763-770, 1994.

PURNOMO, E.; BLACK, A.S.; SMITH, C.J.; CONYERS, M.K. The distribution of net nitrogen mineralisation within surface soil. 1. Field studies under a wheat crop. *Australian Journal of Soil Research*, v.38, p.129-140, 2000.

RAIJ, B.van. Barreira química em subsolos ácidos. In: Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 12 -23, 2008.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; BAYER, C.: Testes de Nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. *Ciência Rural*, v.34, n.4, p. 1279-1287, 2004.

ROCHETTE, P.; GREGORICH, E.G.: Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO<sub>2</sub> evolution after three years of manure application. *Canadian Journal of Soil Science*, v.78, n.2, p. 283-290, 1998.

SÁ, J.C.M., CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; PICCOLO, M.C. e FEIGL, B.E. Soil organic

carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.* V. 104, p.56–64, 2009.

- SÁ, J.C.M.; CARDOSO, E.G.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A.O.; BORSZOWSKI, P.R.; SANTOS, J.B.; MASSINHAM, A.; FERREIRA, C.F.; SIUTA JÚNIOR, D.; BARANEK, E.J.; PICCOLO, M.C.; PAVEI, M.; URQUIAGA, S. Nitrogen dynamics in soil management systems. I - flux of inorganic nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1641-1649, 2011.

SÁ, J.C.M.; SANTOS, J.B.; DE MORAES, A.; TIVET, F.; MACHADO SÁ, M.F.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A.O.; EURICH, G.; FARIAS, A.; FRIEDRICH, T. Soil-Specific Inventories of Landscape Carbon and Nitrogen Stocks under No-till and Native Vegetation to Estimate Carbon Offset in a Subtropical Ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, v.77, p.2094-2110, 2013

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v.136, p.38–50, 2014.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P.R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; HARTMAN, D.C.; BERTOLONI C.G.; ROSA, J.; FRIDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*. v.24, p.115, 2015.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C.: Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ciência Rural*. v. 33. n. 1. p.65-70. 2003.

SILVA, I.R.; FERRUFINO, A.; SANZONOMICZ, C.; SMYTH, T.J.; ISRAEL, D.W.; CARTER JUNIOR, T.E.: Interactions between Magnesium, Calcium and Aluminium on soybean root elongation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.747-754, 2005.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.: Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 p.675-688, 2008.

STIPP, S.R.; PROCHNOW, L.I.; Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada. *Informações Agrônomicas*, n.124, p.1-7, 2008.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface aplication of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, p.1254- 1278, 1986.

TIROL-PADRE, A.; LADHA, J. K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 68, n. 3, p. 969-978, 2004/5 2004.

TISDALL, J.; OADES, J. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, v.33, n.2, p.141–163. 1982.



TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; SÁ, M.F.M.; HARTMAN, D.C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma*, v.209–210, p.214–225. 2013

URQUIAGA, S. & ZAPATA, F. Fertilización nitrogenada em sistemas de producción agrícola. In: URQUIAGA, S. & ZAPATA, F., eds. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe. Porto Alegre, Gênese, p.77-88, 2000

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Foreign Agricultural Service. World corn production, consumption, and stocks [internet]. Acessado em 01 de maio de 2016.

VANOTTI, M. B., & BUNDY, L. G.; Frequency of nitrogen fertilizer carryover in the humid Midwest. *Agronomy journal*, v.86, n.5, p.881-886. 1994.

VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R.: Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para soja em um solo sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.17, n.8, p.1127-1132, 1982.

VIEIRA, F. C. B. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de culturas e adubação nitrogenada. 2007. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 184p. (Tese de Doutorado), 2001.

- VITTI, G.C.; SUZUKI, J.A. A determinação do enxofre - sulfato pelo método turbidimétrico. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 13p, 1978

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E.: Uso do gesso em sistemas de produção agrícola. São Paulo, 104p, 2008.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, p.29-38, 1934.

WAREMBOURG, F.R.; ROUMET, C.; LAFONT, F.: Differences in rhizosphere carbon-partitioning among plant species of different families. *Plant and Soil*, v.256, p.347-357, 2003.

WEBER, M. A. & MIELNICZUK, J.: Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.429-437, 2009

WEIL, R.R., ISLAM, K.R.; STINE, M.A.; GRUVER, J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. of Alt. Agric.*, v.18, p.3–17. 2003.

ZAGONEL J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H.: Nitrogen doses and plant

densities with and without a growth regulator affecting wheat, cultivar OR-1. *Cienc Rural.*, v.32, n.1, p.25-29. 2002

ZSOLNAY, A.; GÖRLITZ, H.: Water extractable organic matter in arable soils: Effects of drought and long-term fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, v.26, n.9, p.1257-1261, 1994.