

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

**Max Kleber Laurentino Dantas**

**BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE  
TRIGO E MILHO EM SOLO COM HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DE  
FONTES ORGÂNICAS E MINERAL**

**Santa Maria, RS**

**2016**

**Max Kleber Laurentino Dantas**

**BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE TRIGO E MILHO  
EM SOLO COM HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DE FONTES ORGÂNICAS E  
MINERAL**

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

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta**

**Santa Maria, RS  
2016**

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

Dantas, Max Kleber Laurentino

Biomassa, atividade microbiana e produtividade de trigo e milho em solo com histórico de aplicação de fontes orgânicas e mineral / Max Kleber Laurentino Dantas.-2016.  
59 p.; 30cm

Orientador: Carlos Alberto Ceretta

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

1. Atividade microbiana 2. Biomassa microbiana 3. Enzimas extracelulares 4. Produtividade de grãos I. Ceretta, Carlos Alberto II. Título.

**Max Kleber Laurentino Dantas**

**BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE TRIGO E  
MILHO EM SOLO COM HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DE FONTES ORGÂNICAS  
E MINERAL**

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

**Aprovado em 15 de Fevereiro de 2016:**



**Carlos Alberto Ceretta, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**Paulo Ademar Avelar Ferreira, Dr. (UFSM)**



**Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, Dr. (UFSC)**

**Santa Maria, RS**  
**2016**

*Antonio Laurentino Filho e Maria  
Zilda Dantas.*

**Dedico este trabalho a vocês**

*“Não deixe o barulho da opinião dos outros abafar sua voz interior. E mais importante, tenha a coragem de seguir seu coração e sua intuição. Eles de alguma forma já sabem o que você realmente quer se tornar. Tudo o mais é secundário”.*

**Steve Jobs**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me ofertar boas oportunidades e sempre colocar boas pessoas em meu caminho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e a Capes, por me proporcionarem estrutura e apoio financeiro para a realização deste curso.

Aos meus pais Antonio Laurentino Filho e Maria Zilda Dantas, que sempre me apoiaram e incentivaram nos meus estudos.

Aos meus irmãos Michael e Mayenne pelo apoio, amizade e sempre boa convivência.

À minha namorada Suany, que me acompanha nesta caminhada desde a graduação e sempre estará ao meu lado me dando forças para continuar. Obrigado por tudo, te amo muito.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, que cumpre o seu papel de forma exemplar, sendo mais do que um orientador, um amigo e acima de tudo um educador, formando profissionais capacitados e com valores morais e éticos. Obrigado pelos ensinamentos, pela amizade e confiança depositada em mim.

Ao professor Gustavo Brunetto pelo apoio e contribuições, não somente deste trabalho mais do grupo de pesquisa como um todo.

Aos Pós-Doutorandos Paulo Avelar e Rafael Couto pelas conversas e pela ajuda na execução de todas as etapas deste trabalho, assim como pela amizade e orientações.

Aos doutores (as) Cledimar e Marlise pelo apoio, contribuições e excelente convivência na fase inicial do curso.

Aos doutorandos (as) e Mestrandos (as) Tadeu, Lessandro, Alessandra, Jéssica e Lucas, Cesar Cella, Gerson, Elci, Mayara, Rogério, Gilmar e Mohsin pelos momentos compartilhados de ciência e descontração.

Aos bolsistas de iniciação científica Bruno, Renan, Lincon, Adriana, Carina, Mylena, Adriéli, Matheus, Luana, Daniela e Rodrigo pelo auxílio na execução do experimento em campo e laboratório.

Ao grande Mestre Luiz Francisco Finamor (*In memoriam*), ou simplesmente “Fina”, sempre contribuindo com alegria na condução dos trabalhos em campo e laboratório. Agradeço a Deus por ter tido a oportunidade de conviver com você, tenha a certeza que sua missão foi cumprida 100% e que estará vivo eternamente em nossos corações.

Ao Heverton, secretário do curso de Pós-graduação, sempre bem humorado, educado e realizando seu trabalho com dedicação e competência.

A todos os professores do Departamento de Solos pela contribuição direta na minha formação profissional.

Aos amigos Luana, Roberto, Jonas, Luíz e Pedro pela convivência e compartilhar momentos de estresse e alegrias.

**Muito obrigado a todos.**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE TRIGO E MILHO EM SOLO COM HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DE FONTES ORGÂNICAS E MINERAL**

Autor: Max Kleber L. Dantas  
Orientador: Dr. Carlos Alberto Ceretta  
Data: Santa Maria, 15 de fevereiro de 2016.

A utilização de resíduos orgânicos oriundo da criação de suínos e bovinos é comumente utilizada para fertilização de lavouras. Sucessivas aplicações dessas fontes nas mesmas áreas ao longo do tempo promovem alterações de ordem física, química e biológica no solo, estas podem desempenhar certa influência sobre a biomassa e a atividade da microbiota do solo, o que pode refletir na disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente na produtividade de culturas. Este trabalho objetivou avaliar como a atividade e a biomassa microbiana do solo podem ser alteradas em solo cultivado sob sistema de plantio direto e com histórico de sucessivas aplicações de fontes orgânicas e mineral. O experimento foi implantado no ano de 2004 e vem sendo conduzido em área do Departamento de solos da UFSM, sob um Argissolo Vermelho Distrófico arênico e em delineamento de blocos ao acaso. Os resultados do presente trabalho correspondem ao período do ano agrícola 2014/2015 onde foi cultivado a sucessão trigo (inverno) e milho (verão). Os tratamentos consistem da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), dejetos líquidos de bovinos (DLB), cama sobreposta de suínos (CSS), adubação mineral (NPK) e um tratamento sem aplicação de fonte de nutrientes (TEST), sendo a quantidade aplicada dessas fontes determinada em função da dose de N requerida pela cultura. Após 11 anos de aplicações sucessivas dos tratamentos, amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm, durante os cultivos do trigo e do milho, em ambos, no período do florescimento e após a colheita das culturas. Parte das amostras seguiram para caracterização química e parte foi armazenada a 4°C para as determinação do C, N e P da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, urease, aril-sulfatase, fosfatase ácida, e hidrólise do FDA. Os resultados evidenciaram diferenças das fontes orgânicas entre si e em relação a TEST e NPK. No cultivo do trigo não houve diferença entre os tratamentos para variável C-BIO. O N-BIO não se diferenciou entre as fontes orgânicas, mas estas foram maiores em relação aos tratamentos TEST e NPK. Os tratamentos CSS e DLB também obtiveram maiores valores para P-BIO. Já no cultivo do milho a CSS e DLB se destacaram em relação aos demais tratamentos para C, N e P-BIO. Nesses mesmos tratamentos se observou as maiores taxas de respiração tanto no cultivo do trigo quanto no milho, entretanto também obtiveram maiores valores de  $qCO_2$ . De maneira geral para todas as enzimas avaliadas neste estudo a CSS e DLB foram os tratamentos que apresentaram as maiores atividades.

**Palavras-chave:** Resíduos orgânicos; Atividade microbiana; Enzimas.

## ABSTRACT

Master Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE TRIGO E MILHO EM SOLO COM HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DE FONTES ORGÂNICAS E MINERAL

Author: Max Kleber L. Dantas  
Advisor: Dr. Carlos Alberto Ceretta  
Santa Maria, february 15<sup>th</sup>, 2016.

The use of organic waste arising from the production of pigs and cattle is commonly used to fertilize crops. Successive applications of these sources in the same areas over time promote changes in physical, chemical and biological soil, they can play some influence on biomass and activity of soil microbes, which may reflect the availability of nutrients and consequently in crop productivity. This study aimed to evaluate how the activity and microbial biomass can be changed in soil under no-tillage system and with a history of successive applications of organic and mineral sources. The experiment was established in 2004 and has been conducted in the experimental area of the Department of UFSM soils under a Ultisol and design of randomized blocks. The results of this study correspond to the period of the agricultural year 2014/2015 which was grown wheat succession (winter) and maize (summer). The treatments consist of application of pig slurry (PS), liquid cattle manure (CS), pig deep-litter (PL), mineral fertilizers (NPK) and a treatment without nutrient source application (TEST), the quantity applied these sources based fertilizer recommendation to the state of RS and determined by the dose N required by the crop. When he turned up 11 years of applying treatments, soil samples were collected at 0-10 cm during the wheat crops and corn, in both the flowering period and after harvesting crops. Part of the samples followed for chemical characterization and part was stored at 4 °C for determination of C, N and P of the microbial biomass, respiration rate and activity of B-glucosidase enzyme, urease, aryl sulphatase, acid phosphatase, and hydrolysis of FDA. The results showed differences from organic sources with each other and with respect to TEST and NPK. In wheat cultivation there was no difference between treatments for C-BIO variable. The N-BIO did not differentiate between organic sources, but these were higher compared to TEST and NPK treatments. PL and CS treatments also had higher values for P-BIO. Already maize cultivation PL and CS stood out in relation to other treatments for C, N and P-BIO. These same treatments was observed the highest respiration rates in both the wheat crop as corn, but also had higher  $qCO_2$  values. In general for all the enzymes evaluated in this study the PL and CS were the treatments with the highest activities.

**Keywords:** Organic waste; Microbial activity; Enzymes.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – Sulfato de prata  
BaCl<sub>2</sub> – Cloreto de bário  
CaCl<sub>2</sub> – Cloreto de cálcio  
C-BIO – Carbono da biomassa microbiana  
Cfa – Clima subtropical úmido  
CQFS – Comissão de química e fertilidade do solo  
FDA – Hidrólise do diacetato de fluoresceína  
KCl – Cloreto de potássio  
MOS – Matéria orgânica do solo  
NaHCO<sub>3</sub> – Bicarbonato de sódio  
NaOH – Hidróxido de sódio  
N-BIO – Nitrogênio da biomassa microbiana  
P-BIO – Fósforo da biomassa microbiana  
PNG – Para nitrofenil glucosidase  
PNP – Para nitrofenil fosfato  
PNS – Para nitrofenil sulfato  
qCO<sub>2</sub> – Quociente metabólico  
qMic – Quociente microbiano  
THAM – Tris hidroximetil aminometano  
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal durante os anos agrícolas 2014/2015.....23
- Figura 2:** Atividade enzimática do solo nos períodos de florescimento e colheita do cultivo do trigo.....38
- Figura 3:** Atividade enzimática do solo nos períodos de florescimento e colheita do cultivo do milho.....40
- Figura 4:** Produtividade de grãos e produção de MS de milho e trigo no ano agrícola 2014/2015.....42
- Figura 5:** teores de carbono orgânico total, nitrogênio total no solo e relação C/N (cultivo cultivos de trigo e milho).....46

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Caracterização físico-química do solo na camada de 0-10 cm, após o cultivo do milho.....23

**Tabela 2:** Biomassa e atividade microbiana entre os diferentes tratamentos e em diferentes épocas de amostragem do solo durante o cultivo do trigo.....38

**Tabela 3:** Biomassa e atividade microbiana entre os diferentes tratamentos e em diferentes épocas de amostragem do solo durante o cultivo do milho.....40

**Tabela 4:** Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no tecido de plantas de trigo e milho.....42

**Tabela 5.** Carbono (C), nitrogênio (N) e matéria seca (MS) adicionados através de restos culturais e dejetos aplicados desde a implantação do experimento.....49

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2. HIPÓTESE</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	17
3.1 Objetivo geral .....	17
3.2 Objetivos específicos .....	17
<b>4. ARTIGO: Biomassa, atividade microbiana e produtividade de trigo e milho em solo com histórico de uso de diferentes fontes orgânicas e mineral</b> .....	18
<b>5. INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>6. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
6.1 Caracterização da área experimental .....	23
6.2 Coleta e caracterização físico-química do solo .....	25
6.3 Biomassa microbiana.....	25
6.4 Atividade microbiana.....	25
6.5 Atividade enzimática do solo.....	27
6.6 Produtividade de grãos e produção de matéria seca .....	27
6.7 Análise estatística .....	30
<b>7. RESULTADOS</b> .....	30
7.1 Atributos físico-químicos do solo .....	31
7.1 Biomassa microbiana do solo .....	28
7.2 Atividade microbiana do solo .....	30
7.3 Produtividade de grãos e produção de matéria seca .....	34
<b>8. DISCUSSÃO</b> .....	43
<b>9. CONCLUSÃO</b> .....	50
<b>10. REFERÊNCIAS</b> .....	51

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil tem sido notório o crescimento nas atividades dos setores pecuário leiteiro e suinícola, cuja evolução vem acompanhada da importância cada vez maior para economia e sociedade, pois são atividades geradoras de emprego e renda. Nesse sentido vale destacar a região Sul do país, que ocupa a primeira e segunda posição no ranking nacional da produção de suínos e de leite, respectivamente (PORTAL BRASIL, 2015). Com aproximadamente 50% do efetivo de suínos e cerca de 32% da produção leiteira nacional, esses dois segmentos concentram, apenas nesta região, mais de 30 milhões de cabeças de animais (IBGE, 2014).

A necessidade do aumento na produção de proteína animal nos últimos anos, tem se dado em partes, devido ao crescimento populacional e também em função do aquecimento do mercado interno e externo. Este cenário tem estimulado um avanço nos sistemas produtivos, sobretudo de carne suína. Essa necessidade juntamente com a pressão de mercado tem possibilitado o surgimento de técnicas que visam um aumento na produtividade em áreas cada vez mais reduzidas, como por exemplo, o regime de confinamento dos animais (CERETTA & GIROTTO, 2009). O confinamento intenso de suínos, que ocorre em menor proporção também na bovinocultura, se intensificou a partir da década de 1990, em partes devido à desmistificação de conceitos relacionados ao consumo da carne suína assim como o avanço nas pesquisas com melhoramento genético e nutrição dos animais (EMBRAPA, 2013; MOLENTO, 2005).

Com isso também vieram à tona discussões sobre o potencial poluidor ambiental dessas atividades, assim se difundiram técnicas alternativas como o caso do sistema de criação em cama sobreposta, onde os animais permanecem durante o processo criatório sobre um material absorvente de fezes e urina, normalmente maravalha ou palha de cereais, gerando um resíduo sólido que facilita o seu manuseio (COSTA et al., 2006).

Mas independente do sistema de criação adotado, o fato é que tanto a bovinocultura leiteira quanto a suinocultura são atividades geradoras de uma grande quantidade de resíduos/dejetos, especialmente a segunda onde no modelo atual de produção se observa um número cada vez menor de propriedades com um número

cada vez maior de animais (MELLO & FILIPPI, 2007). O grande volume de dejetos gerados possui uma carga elevada de nutrientes, pois esses normalmente são pouco aproveitados no metabolismo desses animais, fazendo com que grande parte esteja presente nas dejeções. Sendo assim, em sistemas de produção agrícola, onde boa parte dos nutrientes presentes no solo são exportados pelas plantas, perdidos por diversos processos ou indisponibilizados pela adsorção aos colóides do solo. A utilização de dejetos pode ser considerada uma prática adequada tanto para agricultura quanto para o ambiente, pois favorecem a ciclagem e permanência dos nutrientes no sistema.

O problema da utilização dessa prática é que dificilmente são respeitados critérios técnicos agronômicos para disposição dos dejetos no solo, ela é comumente requerida para a fertilização de lavouras, mas também como forma de descarte dos dejetos acumulados. As características geográficas da região (relevo acidentado) associada à insuficiência de áreas agrícolas das propriedades, são pontos agravantes e que levam a um cenário de aplicações sucessivas nas mesmas áreas. Isso pode provocar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo acarretar em impactos ambientais negativos. Dentro deste contexto, onde se percebe claramente uma preocupação do setor agropecuário em apenas atender as demandas sem se preocupar muito com o meio ambiente, diversas grupos de pesquisa no Brasil e no mundo despertaram interesse em estudar sobre o tema.

Dentre as linhas de pesquisa estudadas pelo grupo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), liderado pelo professor Carlos Alberto Ceretta, está o uso de fontes orgânicas na agricultura, especialmente dejetos líquidos de suínos, onde se busca uma utilização mais eficiente destas, no sentido de maximizar a produtividade das culturas e diminuir o impacto negativo sobre a qualidade das plantas, do solo e da água. Os estudos iniciais do grupo se estenderam de novembro de 1995 a novembro de 1999, no município de Paraíso do sul – RS. Nesta fase os trabalhos foram conduzidos em áreas de pastagem natural sob a hipótese de que a utilização freqüente de dejetos líquidos de suínos (DLS) com doses elevadas comprometeria a produção de matéria seca e alteraria algumas características químicas do solo com implicações agronômicas e ambientais. Como resultados iniciais, se observou que as doses elevadas eram desproporcionais às

quantidades de nutrientes absorvidas pelas plantas, especialmente de fósforo, e que esse elemento juntamente com o nitrogênio, oriundo dos DLS, poderiam comprometer a qualidade do ambiente caso não seja utilizado com critérios (DURIGON et al., 2002; CERETTA et al., 2003).

A partir do ano 2000 até 2008, e com base nos resultados obtidos até o momento, os trabalhos passaram a ser conduzidos em área experimental no campus da UFSM em Santa Maria-RS. Nesta etapa foram testadas doses crescentes de DLS em área manejada sob sistema de plantio direto, nesta etapa foram geradas e publicadas informações importantes acerca do tema. Foram testadas estratégias para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (BASSO et al., 2004); avaliado as perdas de N e P em solução escoada da superfície do solo e percolada no perfil (CERETTA et al., 2005a; BASSO et al., 2005); a eficiência de uso dos nutrientes contidos nos dejetos à nutrição de culturas, em rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro (CERETTA et al., 2005b); o risco potencial de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais devido as alterações no teor e nas formas de fósforo e transferência de nutrientes por escoamento e percolação com aplicação de DLS (BERWANGER et al., 2008; GATIBONI et al., 2008; CERETA et al., 2010); alterações nas propriedades da acidez do solo e acúmulo e transferências de metais pesados, em especial Cu e Zn (LOURENZI et al., 2011; GIROTTO et al., 2010; BASSO et al., 2012).

Após oito anos de condução e da obtenção de informações importantes no tocante ao tema, a referida área experimental foi inutilizada devido a questões institucionais. Assim, a partir do ano de 2008 as pesquisas continuaram em uma nova área, pertencente ao Departamento de Solos da UFSM, que vinha sendo conduzida desde o ano de 2004 pelos professores Celso Aita e Sandro Giacomini, esta possui um novo escopo, pois não é apenas avaliado diferentes doses de DLS. Além da utilização de dejetos líquidos de suínos (DLS) também estão sendo avaliados dejetos líquidos de bovinos (DLB), cama sobreposta de suínos (CSS) e adubação mineral com NPK, onde a quantidade dessas fontes é balizada pela necessidade de N das culturas a serem implantadas. Desta forma, as pesquisas continuarão e ganharão mais relevância ao longo do tempo, uma vez que as aplicações sucessivas dessas fontes caracterizam bem o ambiente onde estas são

aplicadas, e também o efeito residual se torna mais importante com o passar do tempo.

Após oito anos de aplicações dessas diferentes fontes orgânicas se percebeu que as sucessivas aplicações proporcionaram alterações nos atributos químicos no solo, alterações na produtividade de culturas e indicaram um potencial de poluição de águas superficiais e subsuperficiais devido ao escoamento superficial e à lixiviação de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Em comparação a adubação mineral tradicional, as aplicações das fontes orgânicas, com destaque para CSS, promoveram incrementos na produtividade de grãos e matéria seca das culturas, assim como de nutrientes no solo como P, K, Ca e Mg e além disso aumentos nos teores de matéria orgânica e pH do solo. Entretanto, o monitoramento das quantidades e frequências nas aplicações dessas fontes é considerado necessário, uma vez que potencializam as transferências, sobretudo de N e P, por escoamento superficial e percolação no solo (CIANCIO, 2015). Aplicações sucessivas de dejetos podem também alterar características relacionadas à atividade biológica do solo, podendo essas serem benéficas ou não. A biomassa microbiana é o componente vivo da matéria orgânica do solo, sendo este compartimento responsável pela decomposição de restos culturais, ciclagem de nutrientes e fluxos de energia no solo, influenciando nas transformações da MOS e também nos estoques de carbono e nutrientes minerais (MATSUOKA et al., 2003).

Sobretudo quando analisada em conjunto com outras variáveis, como respiração basal e atividade de enzimas, a biomassa microbiana pode ser considerada como um bom indicador de qualidade do solo, podendo refletir diferenças nas práticas de manejo. A respiração basal é um parâmetro indicador de processos catabólicos, em condições aeróbicas, pois demonstra flutuações em função de alterações na disponibilidade de substrato (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é utilizado como índice de eficiência microbiana na conversão do substrato em biomassa, permitindo uma avaliação de condições de estresse no ambiente (ANDERSON & DOMSCH, 2010). As enzimas no solo são sintetizadas principalmente por microrganismos, são importantes na ciclagem de nutrientes, possuem alta especificidade e são sensíveis a alterações no manejo do solo (RAMOS et al., 2010; GIACOMETTI et al., 2013).

A biomassa microbiana do solo, a atividade respiratória e a atividade enzimática do solo, são atributos sensíveis e influenciáveis por teores de carbono e elementos minerais. Portanto são úteis na definição da qualidade do solo e na avaliação de impactos ao solo devido a utilização de resíduos orgânicos ao longo do tempo (MELO, 2007). Assim, aplicações sucessivas de fontes orgânicas de nutrientes, como os DLS, e suas influências na biomassa e atividade dos microrganismos do solo têm sido estudadas em diversas partes do Brasil e no mundo (LALANDE et al., 2000; ROCHETTE et al., 2000; YANG, et al., 2008; LI et al., 2008).

Na região Sul do Brasil, BALOTA et al. (2012) verificaram influências sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, quando da aplicação de doses crescentes de dejetos líquidos de suínos (0, 30, 60 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) durante 3 anos em um Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa, estes sugeriram a formação de uma comunidade microbiana mais eficiente devido ao aumento linear no C-BIO e uma redução no qCO<sub>2</sub> com o aumento da dose aplicada. Entretanto, neste mesmo experimento, BALOTA et al. (2011) observaram reduções na atividade de enzimas do solo como as fosfatases, sobretudo com aplicação da maior dose, e como explicado pelos autores, isso pode ter se dado devido as altas concentrações de P nos dejetos, além da possível formação de sítios anaeróbicos no solo e a pressão de seleção sobre a comunidade microbiana, promovendo o desenvolvimento de microrganismos específicos. Em detrimento a utilização de DLS, a aplicação de CSS ao solo indica uma melhoria na atividade da microbiota do solo devido às características intrínsecas desse material (GIACOMINI & AITA, 2008; GIACOMINI et al., 2013). No entanto ainda é pouco conhecido as influencias desse resíduo sobre a atividade e biomassa microbiana do solo.

O presente trabalho vem de uma ação continuada do grupo de pesquisa e tem como base a importância de se conhecer como que as adições de fontes orgânicas de nutrientes sobre restos culturais alteram o comportamento da microbiota do solo e suas relações com a produtividade de culturas. Poucas são as informações contidas na literatura, especialmente no Brasil e em áreas de plantio direto com aplicação de dejetos de animais. A maioria das informações restringe-se a experimentos avaliando somente doses de dejetos e uma única fonte orgânica de

nutriente, normalmente, em experimentos de curta duração e/ou em condições de laboratório. Resultados sobre o efeito cumulativo das aplicações sucessivas de dejetos ao longo dos anos são importantes, sobretudo com relação ao uso de diferentes fontes orgânicas, sobre a atividade da microbiana do solo. Diante disso, este estudo tem como foco principal conhecer como o uso de fontes orgânicas utilizadas como fonte de nutrientes às plantas podem impactar microbiota do solo, e quais suas relações com a produtividade de culturas em áreas de plantio direto, além de fazer um comparativo do uso destas fontes com a adubação mineral convencional.

## **2. HIPÓTESE**

Sucessivas aplicações de diferentes resíduos orgânicos e mineral alteram os atributos microbiológicos do solo se relacionando com a produtividade de culturas comerciais como trigo e milho.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar atributos microbiológicos do solo em sistema de plantio direto após sucessivas aplicações de fontes orgânicas de origem animal e mineral e a relação desses atributos com a produtividade de trigo e milho.

#### **3.2 Objetivos específicos**

**3.2.1** Quantificar os teores de carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo.

**3.2.2** Determinar a atividade dos microrganismos através da respiração basal.

**3.2.3** Determinar a atividade enzimática total do solo (FDA), assim como de enzimas específicas relacionadas com o ciclo dos elementos N, C, P e S (Urease, *B*-glicosidase, Fosfatase e aril-sulfatase).

**3.2.4** Avaliar a produtividade de grãos e produção de matéria seca de milho e trigo no ano agrícola 2014/2015, assim como sua relação com atributos microbiológicos do solo.

## 4. ARTIGO – BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DE TRIGO E MILHO EM SOLO COM HISTÓRICO DE USO DE DIFERENTES FONTES ORGÂNICAS E MINERAL<sup>1</sup>

### 4.1 Abstract

The use of organic waste arising from the production of pigs and cattle is commonly used to fertilize crops. Successive applications of these sources in the same areas over time promote changes in physical, chemical and biological ground, such changes are likely to play an important role in controlling the activity and biomass of soil microbes, which may reflect the availability of nutrients and consequently the productivity of crops. This study aimed to evaluate how the activity and microbial biomass can be changed in soil cultivated under no-tillage system and with a history of 16 applications from different organic and mineral sources over 145 months. The experiment was established in 2004 and has been conducted in the experimental area of the Department of UFSM soils under a Ultisol and design of randomized blocks. The results of this study correspond to the period of the agricultural year 2014/2015 which was grown wheat succession (winter) and maize (summer). The treatments consist of application of pig slurry (PS), liquid cattle manure (CS), pig deep-litter (PL), mineral fertilizers (NPK) and a treatment without nutrient source application (TEST), the quantity applied these sources based fertilizer recommendation to the state of RS and determined by the dose N required by the crop. When he turned up 11 years of applying treatments, soil samples were collected at 0-10 cm during the wheat crops and corn, in both the flowering period and after harvesting crops. Part of the samples followed for chemical characterization and part was stored at 4 °C for determination of C, N and P of the microbial biomass, respiration rate and activity of B-glucosidase enzyme, urease, aryl sulphatase, acid phosphatase, and hydrolysis of FDA. The results showed differences from organic sources with each other and with respect to TEST and NPK. In wheat cultivation there was no difference between treatments for C-BIO variable. The N-BIO did not differentiate between organic sources, but these were higher compared to TEST and NPK treatments. PL and CS treatments also had higher values for P-BIO. Already maize cultivation PL and CS stood out in relation to other treatments for C, N and P-BIO. These same treatments was observed the highest respiration rates in both the wheat crop as corn, but also had higher qCO<sub>2</sub> values. In general for all the enzymes evaluated in this study the PL and CS were the treatments with the highest activities.

**Keywords:** Organic waste; Microbial activity; Enzymes.

---

<sup>1</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

## 5. INTRODUÇÃO

A região Sul do País é um polo produtivo com maior representação em termos numéricos, tecnológico e econômico nas atividades suinícola e pecuária leiteira (Portal Brasil, 2015; IBGE, 2014). Contudo, a criação de forma confinada desses animais, a que predomina nas propriedades, geram um grande volume de dejetos (Corrêa et al., 2011; Lourenzi et al., 2014a). Esses resíduos são normalmente utilizados em lavouras, servindo como fonte de nutrientes para as plantas e também como uma alternativa de disposição. Assim, devido à dificuldade no manejo, distribuição e transporte destes resíduos, aliado à restrição de áreas agricultáveis, frequentes aplicações são realizadas nas mesmas áreas. Este cenário leva a uma situação de alterações nas propriedades físico-químicas do solo (Ceretta et al., 2003; Scherer et al., 2010; Berwanger et al., 2008; Brunetto et al., 2012), e por consequência também pode afetar parâmetros microbiológicos, tais como a biomassa microbiana, taxa de respiração, e a atividade de enzimas extracelulares do solo (Lalande et al., 2000; Balota et al., 2012; LI et al., 2008).

A biomassa microbiana constitui a menor fração da matéria orgânica do solo (MOS), no entanto é de extrema importância, pois possui papel efetivo nas transformações que ocorrem no solo e que estão envolvidas na nutrição de plantas e na ciclagem de nutrientes (Machado et al., 2012). A decomposição de materiais orgânicos é regulada por atividades microbiológicas, através da ação de várias enzimas extracelulares, e essas estão intimamente relacionadas com a ciclagem de nutrientes importantes no desenvolvimento das plantas e o próprio crescimento microbiano (Araújo et al., 2014). Assim, fatores que influenciam a atividade microbiana do solo como a adição de dejetos, podem regular a produção de enzimas e por consequência contribuir com a disponibilidade de nutrientes e na fertilidade do solo (JIAO et al., 2011). Portanto, a biomassa e a atividade microbiana são variáveis sensíveis e úteis para monitorar as respostas do solo à adição de resíduos orgânicos e avaliar impactos às plantas e ao solo (Matsuoka et al., 2003).

Além de promoverem benefícios nas propriedades químicas, aumento no teor de carbono e atividade da microbiota do solo, a aplicação de fontes orgânicas também promove melhorias na produtividade de grãos e matéria seca de culturas comerciais e de cobertura (Ciancio, 2014). Com o aumento da produtividade das

culturas, maiores quantidades de resíduos vegetais são adicionados ao solo. A decomposição desses resíduos e por consequência a disponibilidade de nutrientes, especialmente em áreas de plantio direto, onde o contato entre microrganismos do solo e restos culturais é dificultado, são alteradas em função da aplicação de dejetos de animais, pois esses são fontes de energia e nutrientes, além de adicionarem diretamente microrganismos ao solo. Entretanto, existe uma escassez de informações pertinentes ao uso de diferentes fontes orgânicas como fonte de nutrientes e o impacto dessas aplicações sobre a ciclagem de nutrientes. Características intrínsecas destas fontes orgânicas, como por exemplo, teor de matéria seca e forma dos nutrientes, são importantes na determinação da taxa de decomposição dos resíduos culturais. Giacomini et al. (2013) observaram uma taxa de mineralização de N orgânico, adicionado via cama sobreposta de suíno (CSS), menor do que a do dejetos líquido de suíno (DLS), sendo o primeiro resíduo caracterizado por uma elevada relação C/N, alto teor de matéria seca e maior proporção de elementos na forma orgânica, em comparação ao segundo. A aplicação de CSS sobre restos culturais pobres em N pode dificultar a degradação e consequentemente a liberação de nutrientes, como observado por Giacomini, et al., 2008, ao compararem o fornecimento de N para a cultura do milho em função da aplicação de CSS e DLS. Entretanto a maior proporção de nutrientes na forma orgânica, da CSS em comparação ao DLS, pode, ao longo do tempo, promover o estímulo à atividade microbiana e de enzimas hidrolíticas, contribuindo assim com a ciclagem de nutrientes e a nutrição de plantas.

Enzimas do solo são excretadas por plantas e principalmente por microrganismos, portanto fatores que influenciam a microbiota do solo certamente irão influenciar na atividade enzimática, afetando a ciclagem de nutrientes, o que poderá refletir na produtividade de culturas. A demanda por nutrientes das culturas pode ser atendida pela ciclagem de nutrientes, nesse sentido a atividade enzimática exerce papel importante. Enzimas como urease, fosfatases e celulasas, participam diretamente nas transformações de N, P e C, respectivamente. B-glicosidase é uma enzima envolvida na degradação da celulose, principal constituinte das plantas, o produto de sua reação gera uma importante fonte de energia para os microrganismos (Paul & Clarck, 1996). As fosfatases estão envolvidas na mineralização de compostos de fósforo orgânico, proporcionando a liberação de

ésteres fosfóricos e urease catalisa a hidrólise de ureia a  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$  (Dick et al., 1996).

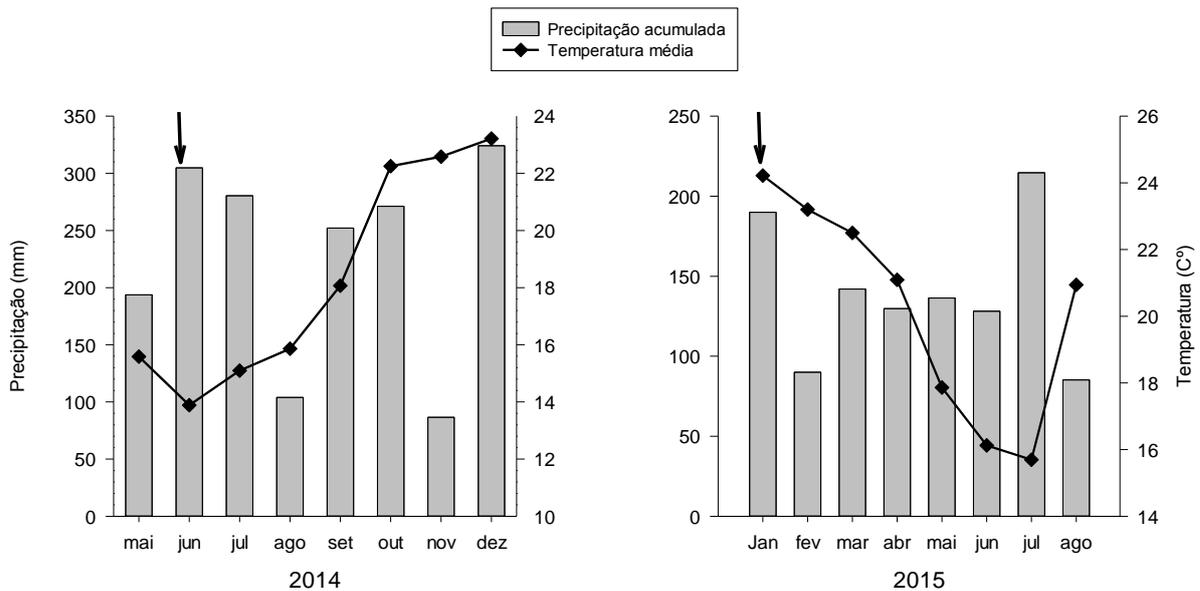
Dentro deste contexto pode-se dizer que da biomassa e atividade microbiana depende a capacidade produtiva do solo (formação de MOS e ciclagem de nutrientes), e que de forma paralela a oxidação do C, presente em compostos orgânicos, a atuação conjunta da população microbiana permite a mineralização de elementos ligados a esse carbono, que são importantes na nutrição das plantas. A maioria das informações em áreas de plantio direto com aplicação de dejetos de animais restringe-se a experimentos avaliando somente doses de dejetos e uma única fonte orgânica de nutriente, normalmente, em experimentos de curta duração. Poucos são os trabalhos que apresentam resultados do efeito cumulativo das aplicações sucessivas de dejetos ao longo dos anos em áreas de plantio direto, com o uso de diferentes fontes orgânicas sobre a ciclagem de nutrientes após a adição de diferentes resíduos vegetais na atividade microbiana. Este trabalho objetivou avaliar como os atributos biológicos do solo são alterados em função de dezesseis aplicações de diferentes fontes orgânicas e se estas alterações têm reflexos na produtividade de culturas de importância comercial como trigo e milho.

## **6. MATERIAL E MÉTODOS**

### **6.1 Caracterização da área experimental**

O trabalho foi realizado em área experimental pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), (latitude de 29° 42' S, longitude 53°42' W e altitude de 89 m). O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen apresenta uma temperatura média anual de 19,3 °C, uma precipitação média anual de 1.561 mm e umidade relativa do ar de 82%. A precipitação e a temperatura média durante a condução deste trabalho se encontra na (Figura 1). A área experimental está localizada na Depressão Central do Estado e o solo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arenico (EMBRAPA, 2013), pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro (Brasil, 1973). No ano da implantação do experimento (2004), o solo apresentava as seguintes características físico-químicas na camada

de 0-10 cm: 55 g kg<sup>-1</sup> de argila; 316 g kg<sup>-1</sup> de silte; 627 g kg<sup>-1</sup> de areia; 22 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH em água de 4,65; 23 mg kg<sup>-1</sup> de P e 32 mg kg<sup>-1</sup> de K (ambos extraídos por Mehlich-1); 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al; 0,65 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca e 0,38 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> de Mg (ambos extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); 2,72 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de H+Al; 1,41 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Capacidade de Troca de Cátions (CTCefetiva); 4,13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de CTCpH 7,0; saturação por Al de 21,27% e saturação por bases de 9,37%.



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal durante os anos agrícolas 2014/2015, onde foram conduzidas as culturas do trigo e milho, respectivamente (Fonte: Inmet – estação meteorológica de Santa Maria-RS). As setas indicam os períodos de plantio das culturas do trigo (2014) e milho (2015).

O experimento foi implantado no ano de 2004 e foi configurado em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas de 5x5 m, totalizando uma área total de 25m<sup>2</sup>. Os tratamentos consistem da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e de bovinos (DLB), cama sobreposta de suínos (CSS), adubação mineral (uréia + superfosfato triplo + cloreto de potássio - NPK) e um tratamento testemunha sem aplicação de nutrientes (TEST). Desde a instalação até o ano de 2009, era realizada uma aplicação anual dos referidos tratamentos, sempre antecedendo a cultura de verão, totalizando seis aplicações até o ano agrícola de 2009/2010. A partir do inverno do ano de 2010 passou-se a realizar duas aplicações anuais com o propósito de simular melhor as aplicações realizadas pelo

produtor no campo, que geralmente realiza duas a três aplicações anuais de dejetos, totalizando dezesseis aplicações até o ano agrícola de 2014.

Antes de definir a dose de dejetos a ser aplicada em cada tratamento, é realizada em laboratório, a análise de cada resíduo orgânico utilizado. A definição da dose a ser aplicada é estabelecida conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS - RS/SC, 2004), com base no teor de N encontrado em cada dejetos e a exigência por nitrogênio da cultura a ser implantada. A adubação mineral (NPK) é realizada a partir de análise de solo de acordo com a recomendação da CQFS-RS/SC (2004). A aplicação das fontes de nutrientes é realizada antes da implantação das culturas de verão e de inverno. A rotação de culturas geralmente é realizada com o cultivo de aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno e milho (*Zea mays*) no verão, mas nos anos agrícolas 2005/2007/2009/ também foi realizada a sucessão rabanete e milho, em 2012 aveia preta e feijão preto e em 2014 trigo e milho. Durante o presente trabalho foram conduzidas as culturas do trigo (*Triticum aestivum* - inverno de 2014) e milho (*Zea mays* - safra 2014/2015).

O DLS e o DLB aplicado foi proveniente de reservatórios anaeróbicos de propriedades localizadas próximas à Santa Maria-RS, sendo composto por fezes, urina, restos alimentares e água de lavagem das instalações. A CSS foi obtida no setor de suinocultura da UFSM, sendo composta por resíduos de palha de arroz, fezes, urina e restos alimentares. Após a homogeneização, alíquotas das fontes orgânicas foram amostradas e secas em estufa com circulação de ar a 65 °C até massa seca constante, também foi determinado os teores de N, P e K segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). As fontes orgânicas foram distribuídas em superfície e sem incorporação. Após a quantificação do N nas amostras de dejetos, calculou-se a quantidade de dejetos a ser aplicada para suprir a demanda de N pelas culturas, considerando o índice de eficiência de cada material orgânico.

## **6.2 Coleta e caracterização físico-química do solo**

No presente trabalho a amostragem do solo foi realizada durante os ciclos das culturas de inverno e verão do ano agrícola 2014/2015, trigo e milho respectivamente, no período do florescimento e no final do ciclo de cada cultura, totalizando quatro amostragens, tendo a área experimental completo onze anos e sendo realizada dezesseis aplicações dos tratamentos. A coleta do solo foi realizada a uma profundidade de 0-10 cm, com um auxílio de um trado calador, sendo que em cada parcela foi coletado seis amostras simples para formar uma amostra composta, desta, uma fração foi separada para realização da caracterização química e o restante foi acondicionada em saco plástico e colocada em caixa térmica até a chegada ao laboratório. Posteriormente, essas amostras foram armazenadas em BOD a uma temperatura de aproximadamente 4°C, até o momento das análises biológicas, descritas a seguir. O solo também foi caracterizado quanto a densidade, porosidade e estabilidade de agregados (Embrapa, 1997). Para isso, amostras indeformadas em anéis volumétricos foram coletadas em cada parcela, ao final do ciclo do milho.

## **6.3 Biomassa microbiana**

### **6.3.1 Carbono da biomassa microbiana**

A biomassa microbiana do solo é uma estimativa da massa microbiana total do solo com base na concentração de algum elemento presente nas células. Neste estudo foi determinado o carbono (C-BIO), nitrogênio (N-BIO) e fósforo (P-BIO). Para a determinação do C-BIO foi utilizada a metodologia de fumigação-extração proposta por Vance et al. (1987), este método é baseado em duas etapas onde a primeira (fumigação) tem o objetivo de promover o rompimento da parede celular liberando os componentes e a segunda (extração) tem o objetivo de quantificar a biomassa microbiana. Para isso, o solo, ainda úmido, foi homogeneizado em peneira de malha 2 mm, onde também foram retirados restos vegetais. Após esse preparo foram pesadas subamostras desse solo onde metade seguiu para fumigação. Esse processo consiste em incubar as amostras em dessecador sob atmosfera de

clorofórmio, retirando-se o ar do interior do dessecador com auxílio de uma bomba de vácuo, repetindo esta operação até a percepção do borbulhamento do clorofórmio. Após 24 horas de fumigação, as amostras fumigadas e não fumigadas seguem para o processo de extração, onde foi transferida para tubos de centrífuga contendo solução de  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  com pH ajustado para 6,5-6,8, na proporção 1:5 solo/extrator, em seguida os tubos foram agitados por 30 minutos, centrifugados e filtrados. Os extratos filtrados foram encaminhados para determinação do Carbono em analisador elementar (Shimadzu, TOC-L/TN).

### 6.3.2 Nitrogênio e fósforo microbiano

Para determinação do nitrogênio da biomassa microbiana (N-BIO) foi utilizado o mesmo processo de fumigação-extração descrito para o C-BIO, e o N também foi determinado através de analisador elementar. O fósforo microbiano foi determinado através do método proposto por Brookes et al. (1982) citado por Mendonça e Matos (2005). O procedimento de fumigação e extração foi como descrito para o C-BIO e N-BIO, com exceção do extrator utilizado, que neste caso foi  $NaHCO_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH aferido para 8,5, e após agitação e filtração foi determinado o teor de P nos extratos fumigados e não fumigados. Também foi determinado paralelamente o teor de P liberado com a fumigação e recuperado por adsorção durante a extração. Em todas as etapas determinou-se o P por espectrofotometria a 882nm, de acordo com Murphy & Riley (1962).

Os cálculos de C, N e P microbiano seguiram da seguinte forma: C-BIO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) =  $(C_f - C_n)/K_c$ , onde  $C_f$ =Carbono solo fumigado,  $C_n$ =Carbono solo não fumigado e  $K_c$ =fator de correção (0,41); N-BIO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) =  $(N_f - N_n)/K_n^{-1}$ , onde o fator de correção  $K_n$ = 0,54; e P-BIO( $\text{mg kg}^{-1}$ ) =  $(P_f - P_n)/K_p * \text{Prec} (\%)$ , onde o fator de correção  $K_p$ =0,41 e  $\text{Prec} (\%)$ = teor de P recuperado durante extração.

## 6.4 Atividade microbiana

### 6.4.1 Respiração basal e quociente metabólico

A respiração basal microbiana foi estimada através da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado do solo durante um período de 7 dias de incubação, utilizando metodologia proposta Stotzky (1965). Para isso, uma porção de solo foi colocada em recipiente de vidro de 1 litro, hermeticamente fechado e incubado em BOD a 26°C. Também foram usados recipientes sem solo como controle. O CO<sub>2</sub> foi captado em 10 mL de solução de NaOH 0,5 M, colocado em frascos menores junto ao solo no recipiente de 1 litro, onde o excesso foi titulado com solução de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, sendo adicionado anteriormente BaCl 10% e o indicador fenolftaleína 1%. Com base nos valores de C-BIO e da emissão de CO<sub>2</sub> descritos acima, foi determinado o quociente metabólico  $qCO_2$ , que representa a razão entre a quantidade de C-CO<sub>2</sub> evoluído por unidade de C-microbiano (Anderson & Domsch, 1993).

## **6.5 Atividade enzimática do solo**

### **6.5.1 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)**

A determinação da atividade enzimática total se deu pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), de acordo com Green et al. (2006). O método tem como princípio a permanência da fluoresceína na célula causando fluorescência intracelular que pode ser quantificada por espectrofotometria. Para isso, 1 grama de solo foi incubado com 20 mL de solução tampão de fosfato de sódio 60 mM e 0,1 mL de solução de FDA 4,8 mM a 25°C sob agitação em câmara incubadora, também foram preparadas amostras controle (solo sem adição da solução de FDA 4,8 mM). Após isso foi adicionado em cada amostra 20 mL de acetona para cessar a reação enzimática e 0,1 mL da solução de FDA nas amostras controle, as mesmas seguiram para centrifugação e filtragem em papel filtro Whatman nº 4. A intensidade da coloração do extrato foi medida em espectrofotômetro a 490 nm, e a concentração de fluoresceína foi calculada a partir da equação da reta obtida através de uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de fluoresceína, sendo a atividade enzimática expressa em µg de fluoresceína liberada por grama de solo seco (µg F g<sup>-1</sup>) por hora.

### 6.5.2 Atividade da Urease

A atividade da enzima urease foi determinada conforme metodologia sugerida por Dick et al. (1996) com adaptações propostas por Verchot & Borelli (2005), o método baseia-se no princípio da determinação do  $\text{NH}_4^+$  liberado após incubação do solo, que contém naturalmente a enzima, com ureia, que é seu substrato. Para isso, 5 gramas de solo foram pesados em tubos de centrifuga e adicionados 9 mL da solução de Tris hidroximetil aminometano (THAM) 0,05M e 1 mL da solução de ureia 0,2M e após isso incubado em BOD a 37°C por duas horas, também foram preparadas amostras controle (solo sem adição da solução de ureia 0,2M). Retirou-se as amostras e foi adicionado 30 mL de solução refrigerada de  $\text{KCl-Ag}_2\text{SO}_4$ . A determinação do  $\text{N-NH}_4^+$  na suspensão de solo foi realizada de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) para análise de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo. A atividade da enzima urease foi expressa em  $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ .

### 6.5.3 Atividade da fosfatase ácida

A atividade da enzima fosfatase ácida foi determinada conforme metodologia sugerida por Dick et al. (1996) com adaptações propostas por Verchot & Borelli (2005). O método é baseado no princípio da determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pela fosfatase de amostras de solo incubado com solução tamponada de p-nitrofenil fosfato (pH 6,5), o procedimento colorimétrico se dá pelo fato de que soluções ácidas de p-nitrofenol e soluções ácidas e alcalinas de p-nitrofenil fosfato serem incolores e soluções alcalinas de p-nitrofenol terem coloração amarelada. Para isso, foi adicionado em 1 grama de solo, 4 mL de tampão MUB pH 6,5 (Tris + ácido malêico + ácido cítrico + ácido bórico – dissolvido em solução de  $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e 0,1 mL de solução de PNP  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (p-nitrofenil fosfato dissódico), e após isso o incubado em BOD a 37°C por uma hora, também foram preparadas amostras controle (solo sem adição da solução de PNP). Passado esse período foi adicionado 4 mL de solução de  $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e 1 mL de  $\text{CaCl}_2 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , isso para cessar a atividade da fosfatase, desenvolver a cor amarela utilizada para estimar a quantidade de fenol e recuperar quantitativamente o p-nitrofenol do solo. Após isso as amostras foram filtradas em papel filtro Whatman

nº4. A intensidade da coloração amarela do extrato foi determinada em espectrofotômetro a 410 nm e a quantidade de p-nitrofenol formada na amostra foi determinada com base em uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol. A atividade da enzima fosfatase foi expressa em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol liberado por  $\text{g}^{-1}$  solo  $\text{h}^{-1}$ .

#### **6.5.4 Atividade da $\beta$ -glicosidase**

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase foi realizada com base na metodologia proposta por Dick et al. (1996), com adaptações propostas por Verchot & Borelli (2005). O método é baseado na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pela enzima  $\beta$ -glicosidase quando o solo é incubado com uma solução tampão e o substrato para a mesma, sendo o p-nitrofenol extraído após adição de  $\text{CaCl}_2$  e THAM. Diferentemente da atividade da fosfatase, onde se utilizou  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{NaOH}$ , é utilizado o THAM pelo fato de o substrato da  $\beta$ -glicosidase (PNG) é hidrolisado na presença de hidróxido de sódio. Para tanto, foi adicionado 4 mL de tampão MUB (pH 6,0) e 1 mL de solução PNG 0,5M (p-nitrofenil-  $\beta$ -D-glicosidase) em um grama de solo, incubando-se por 1 hora em BOD a 37°C. Após esse período, adicionou-se 1 mL de  $\text{CaCl}_2$  0,5M e 4 mL de tampão THAM (pH 12), também foram preparadas amostras controle (solo sem adição da solução PNG). Em seguida a suspensão foi filtrada e o conteúdo de p-nitrofenol determinado através de uma curva de calibração com concentrações conhecidas, após a leitura dos extratos em espectrofotômetro a 410 nm. A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase foi expressa em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol liberado por  $\text{g}^{-1}$  solo  $\text{h}^{-1}$ .

#### **6.5.5 Atividade da arilsulfatase**

A atividade da enzima arilsulfatase também seguiu metodologia proposta por Dick et al. (1996) e com adaptações propostas por Verchot & Borelli (2005). O procedimento usa o p-nitrofenil sulfato como substrato (PNS) que via hidrólise libera sulfato e p-nitrofenol, o qual pode ser quantificado colorimetricamente. Assim em 1 grama de solo se adicionou 4 mL de tampão acetato pH 5,8 (acetato de sódio + ácido acético glacial) e 1 mL de solução de PNS, incubando-se por 1 hora em BOD

a 37°C, também foram preparadas amostras controle (solo sem adição da solução PNS). A determinação e expressão dos resultados se procedeu como descrito para análise da  $\beta$ -glicosidase.

### **6.6 Produtividade de grãos e produção de matéria seca**

O período de avaliação foi de junho de 2014 a maio de 2015, onde foi cultivado em sucessão trigo e milho. O trigo foi semeado a lanço, utilizando-se densidade de 350 sementes por m<sup>2</sup>, o milho foi semeado no espaçamento de 0,70 m entre linhas e 5 plantas m<sup>-1</sup> linear. Para a colheita de grãos de trigo e milho foram coletados, após a maturação fisiológica, plantas na área útil de cada parcela, e os grãos tiveram a umidade corrigida para 13%. Para a determinação de matéria seca do trigo e milho foram coletadas aleatoriamente, cinco plantas por parcela, no pleno florescimento das culturas. As amostras foram secas em estufa com ar forçado a 65 °C até massa constante, moídas e analisadas quanto aos teores de N, P e K segundo (Tedesco et al., 1995).

### **6.7 Análise estatística**

Os resultados dos atributos avaliados foram submetidos à análise de variância e quando ocorreram diferenças significativas pelo teste F, se aplicou às médias, o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. Realizou-se também o teste de correlação para os dados microbiológicos em função da produtividade das culturas de trigo e milho.

## **7. RESULTADOS**

### **7.1 Atributos físico-químicos do solo**

A caracterização físico-química demonstrou maiores valores de pH do solo nos tratamentos que receberam resíduos orgânicos (DLB, DLS, CSS) com destaque para CSS, onde se observou os maiores valores. A mesma tendência foi observada para os teores de P, K e Ca. Já o Mg não apresentou diferença significativa entre os

tratamentos. Os menores teores de Al trocável também foram observados nos tratamentos adubados com resíduos orgânicos (Tabela 1).

Os valores de Ds obtidos no tratamento CSS diferiram significativamente dos demais tratamentos, onde este obteve o menor valor. O tratamento CSS também se destacou em relação aos valores de microporosidade, com diferença significativa para os demais tratamentos. Já para os valores de DMG não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Caracterização físico-química do solo na camada de 0-10 cm, após o cultivo do milho.

	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	Ds	Ma	Mi	DMG
		----mg kg <sup>-1</sup> ----		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			g cm <sup>-3</sup>	--cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> --		mm
<b>TEST</b>	4,97b	3,27d	125,51b	1,22d	0,62a	2,70b	1,58a	0,08b	0,31c	0,49a
<b>DLB</b>	5,04b	42,94b	136,51a	3,45b	1,12a	1,46c	1,44a	0,08b	0,38b	0,78a
<b>DLS</b>	4,99b	54,49b	131,01a	2,61c	0,87a	1,96c	1,51a	0,11a	0,34c	0,69a
<b>CSS</b>	5,38a	83,11a	136,51a	5,52a	1,46a	1,69c	1,30b	0,13a	0,43a	0,76a
<b>NPK</b>	4,30c	30,46c	120,01b	1,13d	0,85a	6,88a	1,51a	0,12a	0,32c	0,65a

Ds - densidade do solo; Mi - microporos; Ma - macroporos; DMG - diâmetro médio geométrico. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

## 7.2 Biomassa microbiana

### 7.2.1 Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana

Durante o cultivo trigo, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para variável carbono da biomassa microbiana do solo (C-BIO), tanto para a coleta realizada no período do florescimento da cultura quanto para a realizada no período após a colheita da cultura (Tabela 2). No entanto o C-BIO sofreu alteração dentre as diferentes épocas de coleta para todos os tratamentos

estudados. Em média os teores de C-BIO foram incrementados em 6% no período da colheita em relação ao florescimento, sendo a maior diferença observada no tratamento testemunha (TEST) e a menor no tratamento com adubação mineral (NPK), 82% e 33%, respectivamente.

**Tabela 2:** Biomassa e atividade microbiana entre os diferentes tratamentos e em diferentes épocas de amostragem do solo durante o cultivo do trigo.

<b>C-BIO</b>					
----- <i>mg kg<sup>-1</sup> solo</i> -----					
	TEST	DLS	CSS	DLB	NPK
Florescimento	104,79aB	116,26aB	113,09aB	126,4aB	121,22aB
Colheita	191,31aA	197,15aA	187,37aA	199,87aA	161,99aA
<b>C-CO<sub>2</sub></b>					
----- <i>mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup></i> -----					
Florescimento	0,25bA	0,31bA	0,49aB	0,48aA	0,31bA
Colheita	0,29cA	0,33cA	0,65aA	0,49bA	0,24bA
<b>qCO<sub>2</sub></b>					
----- <i>μg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C-BIO h<sup>-1</sup></i> -----					
Florescimento	2,38bA	2,60bA	4,32aA	3,79aA	2,59bA
Colheita	1,51bB	1,67bB	3,76aB	2,49bB	1,40bA
<b>N-BIO</b>					
----- <i>mg kg<sup>-1</sup> solo</i> -----					
Florescimento	26,45bA	31,49aA	34,77aA	37,28aA	22,62bA
Colheita	30,64aA	29,81aA	32,76aA	34aA	23,73aA
<b>P-BIO</b>					
----- <i>mg kg<sup>-1</sup> solo</i> -----					
Florescimento	3,38bA	3,6bA	5,34aB	5,09aA	5,96aA
Colheita	3,71bA	5,98bA	12,48aA	8,97aA	3,15bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha ou maiúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%. C-BIO: carbono microbiano; C-CO<sub>2</sub>: respiração basal; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; N-BIO: nitrogênio microbiano; P-BIO: fósforo microbiano.

Durante o cultivo do milho o C-BIO foi influenciado pelos diferentes tratamentos e também pelos períodos de amostragem do solo (Tabela 3). No período de florescimento o tratamento DLB obteve o maior valor, correspondendo a um incremento de 29% em relação ao tratamento testemunha. Durante o período da colheita os tratamentos CSS e DLB se destacaram em relação aos demais, com valores que equivaleram a um incremento de 42% e 34% em relação ao tratamento

TEST, respectivamente. Apenas se percebeu diferença significativa entre os períodos de amostragem no tratamento CSS, com aumentos dos teores na ordem de 22% do período da colheita em relação ao florescimento.

**Tabela 3:** Biomassa e atividade microbiana entre os diferentes tratamentos e em diferentes épocas de amostragem do solo durante o cultivo do milho.

<b>C-BIO</b>					
-----mg kg <sup>-1</sup> solo-----					
	TEST	DLS	CSS	DLB	NPK
Florescimento	123,1bA	120,96bA	128,95bB	158,88aA	120,84bA
Colheita	111,14bA	130,2bA	157,52aA	149,07aA	120,6bA
<b>C-CO<sub>2</sub></b>					
-----mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> -----					
Florescimento	0,25bA	0,42bA	0,74aA	0,65aA	0,57aA
Colheita	0,31cA	0,63bA	1,20aA	0,61bA	0,30cA
<b>qCO<sub>2</sub></b>					
-----μg C-CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C-BIO h <sup>-1</sup> -----					
Florescimento	2,02aA	3,47aA	5,72aB	4,09aA	4,71aA
Colheita	2,71cA	4,82bA	7,61aA	4,09bA	2,40cB
<b>N-BIO</b>					
-----mg kg <sup>-1</sup> solo-----					
Florescimento	16,97cA	16,04cA	23,71bA	32,86aA	16,63cA
Colheita	20,26aA	23,68aA	35,72aA	22,25aA	25,83aA
<b>P-BIO</b>					
-----mg kg <sup>-1</sup> solo-----					
Florescimento	6,75bA	9,62aB	8,35bB	12,09aB	10,96aA
Colheita	8,77bA	22,85aA	15,82bA	22,98aA	11,89bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha ou maiúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%. C-BIO: carbono microbiano; C-CO<sub>2</sub>: respiração basal; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; N-BIO: nitrogênio microbiano; P-BIO: fósforo microbiano.

Diferentemente do carbono microbiano, o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BIO) foi influenciado pelos diferentes tratamentos, esse fato foi observado apenas na amostragem do solo realizada durante o período de florescimento da cultura do trigo, na colheita não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2). Da mesma forma não se verificou diferença entre as diferentes épocas de amostragem (florescimento e colheita) para nenhum tratamento estudado. As três fontes orgânicas de nutrientes se destacaram em relação ao tratamento TEST, tendo estes incrementados em 19% 31% e 40% em relação ao mesmo, respectivamente DLS, CSS e DLB. O fósforo da biomassa microbiana do solo (P-

BIO) foi influenciado pelos diferentes tratamentos tanto no período do florescimento quanto da colheita no cultivo do trigo. Nos dois períodos os tratamentos CSS e DLB se destacaram, estes foram incrementados em 57% e 50% respectivamente, em relação ao tratamento testemunha na amostragem do solo realizada no período do florescimento da cultura, já durante o período da colheita os incrementos foram na ordem de 36% e 41% respectivamente para os tratamentos CSS e DLB, em relação ao tratamento TEST. Entre as diferentes épocas foi observado diferença significativa apenas para o tratamento CSS, tanto no período de florescimento quanto da colheita.

No cultivo do milho o N-BIO não houve diferença significativa entre os diferentes períodos de amostragem, foi observado diferença apenas entre os tratamentos no período do florescimento da cultura (Tabela 3). Os tratamentos que se destacaram foram DLB e CSS, respectivamente com incrementos de 94% e 40% em relação ao tratamento testemunha. O fósforo microbiano (P-BIO) durante o cultivo do milho sofreu modificações em função dos diferentes tratamentos, tanto no período do florescimento quanto na colheita, assim como foi influenciado pelos diferentes períodos de amostragem. Dentre as fontes orgânicas de nutrientes os tratamentos DLB e DLS se destacaram, com valores que significaram aumentos na ordem de 79% e 42% no período do florescimento, e 62% e 60% no período da colheita, para os tratamentos DLB e DLS respectivamente, em relação ao tratamento testemunha. Para os três tratamentos de fontes orgânicas houve diferença estatística significativa para os diferentes períodos de amostragem, com aumentos de 37% 89% e 90% no período da colheita em relação ao florescimento, para os tratamentos DLS, CSS e DLB respectivamente.

### **7.3 Atividade microbiana do solo**

#### **7.3.1 Taxa de respiração basal**

A taxa de respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) mostrou se diferenciar em função dos tipos de fontes de nutrientes no cultivo do trigo (Tabela 2). Durante o período do florescimento os tratamentos que se destacaram significativamente foram DLB e CSS, com valores superando em 90% e 97%, respectivamente, o tratamento sem

nenhum tipo de adubação (TEST). No período da colheita o tratamento CSS obteve o maior valor, o que significou um aumento de 25% em relação ao tratamento testemunha. Entre os dois períodos de amostragem se observou diferença significativa apenas no tratamento CSS, onde no período da colheita foi superior em 31% em relação ao período do florescimento da cultura.

Durante o cultivo do milho os valores da taxa de respiração basal se diferenciaram entre os tratamentos nos dois períodos de amostragem, não sendo observado diferença significativa entre os períodos (Tabela 3). Durante o período do florescimento da cultura, se destacaram dentre as fontes orgânicas os tratamentos CSS e DLB, com valores que, em relação a testemunha, significaram incrementos de 97% e 58%, respectivamente. No período da colheita o tratamento CSS se destacou em relação aos demais, com valores que representaram um incremento de 27% em relação ao tratamento testemunha.

### **7.3.2 Quociente metabólico**

A aplicação de diferentes fontes orgânicas de nutrientes no solo provocou diferentes respostas em relação ao quociente metabólico ( $qCO_2$ ), assim como se percebeu diferenças significativas entre as épocas de amostragem do solo no cultivo do trigo (Tabela 2). No período de florescimento da cultura os maiores valores foram observados nos tratamentos CSS e DLB, correspondendo a aumentos na ordem de 83% e 58%, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha. Já no período da colheita o tratamento que se destacou foi a CSS com valor que significou um incremento de 32% em relação a testemunha. De maneira geral se observou que no período da colheita os valores foram significativamente menores, apenas para o tratamento com adubação mineral (NPK) não se observou essa diferença.

Já no cultivo do milho o efeito dos tratamentos foi observado apenas no período da colheita, e dentre as fontes orgânicas apenas a CSS mostrou comportamento diferenciado. No período da colheita esses valores significaram aumentos na ordem de 60% em relação ao tratamento testemunha (Tabela 3).

### 7.3.3 Atividade enzimática do solo

#### 7.3.3.1 Cultivo do trigo

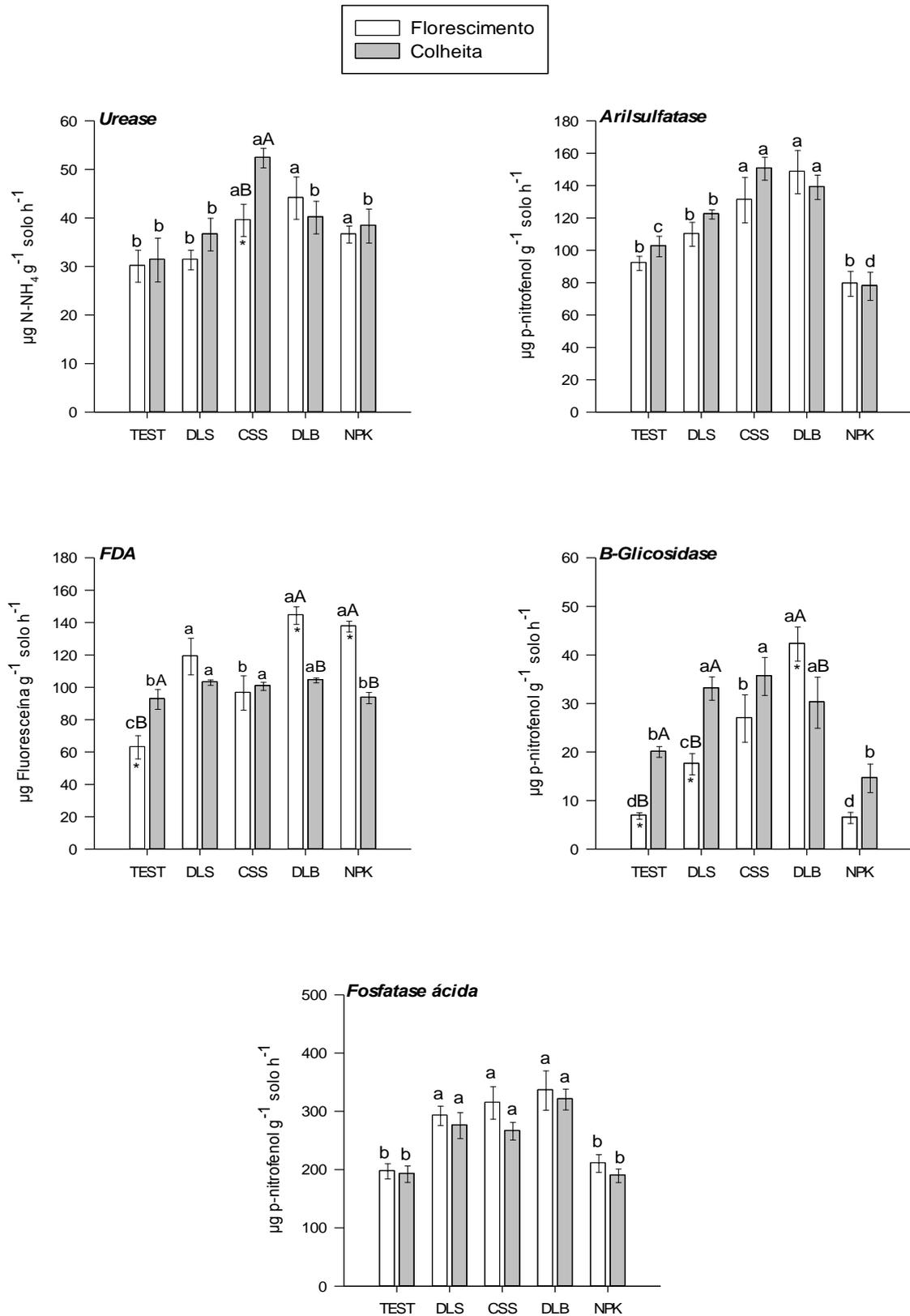
Na figura 2 estão apresentados os valores da atividade das enzimas Arilsulfatase, Urease, B-glicosidase, FDA e fosfatase ácida no solo durante o cultivo do trigo nos períodos de florescimento e colheita da cultura, não sendo observada diferença estatística entre os períodos de coleta. A atividade da enzima aril-sulfatase mostrou variação quando da utilização das fontes orgânicas e mineral de nutrientes, tanto no período do florescimento quanto da colheita no cultivo do trigo. A utilização de CSS e DLB promoveram aumentos na atividade da enzima, em relação aos demais tratamentos, estes apresentaram valores respectivamente de 141,92 e 158,46  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , durante o período de florescimento. A mesma tendência se verificou no período da colheita, onde os valores foram de 149,23 e 133,84  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente, para os mesmos tratamentos.

No período do florescimento da cultura do trigo a aplicação de CSS e DLB também proporcionaram incrementos na atividade da enzima urease, apresentando valores de 37,33 e 43  $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente, o que não diferiu significadamente do tratamento NPK que apresentou valores de 35  $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . Já no período da colheita se destacou apenas o tratamento CSS, em relação aos demais, com valor de 52,5  $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , apenas neste tratamento foi observado diferença significativa entre os diferentes períodos de amostragem do solo, sendo que no período da colheita os valores foram 41% maiores do que no período do florescimento.

A hidrólise do FDA se diferenciou entre os tratamentos para os dois períodos de avaliação na cultura, no período do florescimento não houve diferença significativa entre os tratamentos DLS, DLB e NPK. No período da colheita a atividade da enzima FDA nos tratamentos DLS, CSS e DLB se sobressaíram em relação a testemunha e ao tratamento mineral, com valores de 104,25, 100,33 e 106,08  $\mu\text{g Fluoresceína g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente. Apenas os tratamentos DLS e CSS não apresentaram diferença significativa entre os períodos de avaliação, sendo os valores incrementados no período do florescimento nos tratamentos DLB e NPK, e no período da colheita para o tratamento TEST.

A atividade da enzima B-glicosidase foi incrementada, nos dois períodos de avaliação, devido a aplicação de fontes orgânicas de nutrientes. No período do florescimento o tratamento DLB se destacou em relação aos demais, com valor de  $40,5 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . No período da colheita o tratamento DLB também proporcionou maiores valores na atividade da enzima em relação a testemunha e ao tratamento mineral, contudo não diferenciando estatisticamente dos tratamentos CSS e DLS. Exceto os tratamentos CSS e NPK, os demais apresentaram diferenças significativas em relação ao período de avaliação, destes apenas o DLB apresentou maiores valores no florescimento, no restante se observou uma redução dos valores neste período em relação ao período da colheita.

A atividade da enzima fosfatase ácida não apresentou variação em relação ao período de avaliação para todos os tratamentos, tanto no período do florescimento quanto da colheita as fontes orgânicas de nutrientes se sobressaíram em relação aos tratamentos testemunha e mineral, no entanto essas não se diferenciaram significativamente entre si. No período do florescimento os valores variaram de  $194,17$  a  $340,83 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , já no período da colheita esses valores foram de  $190,41$  a  $310,83 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ .



**Figura 2:** Atividade enzimática do solo nos períodos de florescimento e colheita do cultivo do trigo. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período e maiúsculas comparam os diferentes períodos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

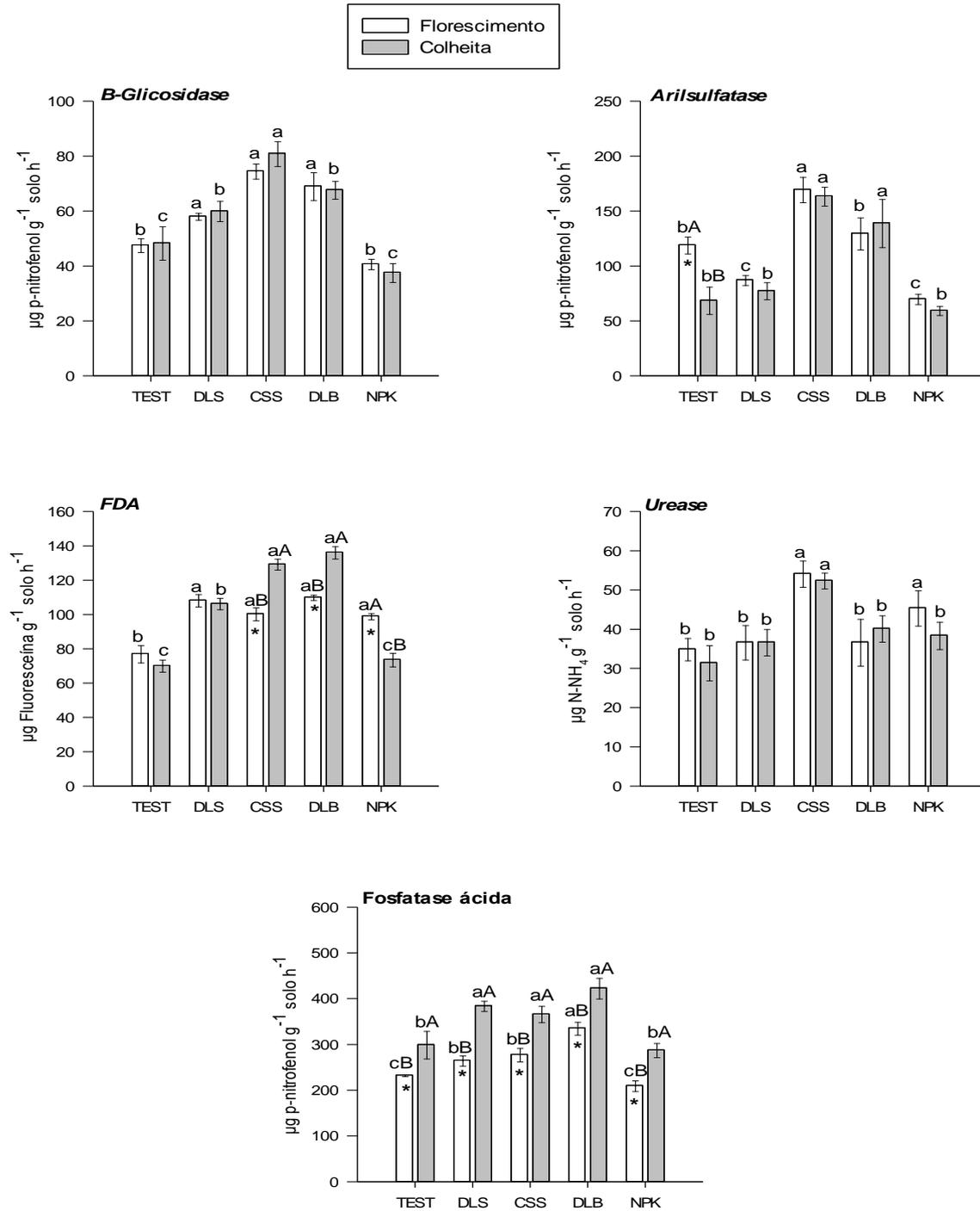
### 7.3.3.2 Cultivo do milho

A figura 3 mostra os resultados da atividade das enzimas B-glicosidase, aril-sulfatase, FDA, Urease e fosfatase ácida do solo no cultivo do milho, nos períodos de florescimento e colheita da cultura. A atividade da enzima B-glicosidase não foi influenciada pelos períodos de avaliação, entretanto os diferentes tratamentos se diferenciaram significadamente, tanto no período do florescimento quanto na colheita. No florescimento da cultura as fontes orgânicas de nutrientes se destacaram em relação a testemunha e ao tratamento mineral, contudo não houve diferença significativa entre essas, os valores foram de 58,21, 74,65 e 69,17  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente para os tratamentos DLS, CSS e DLB. Já no período da colheita o tratamento CSS obteve o maior valor em relação aos demais tratamentos. A atividade da enzima aril-sulfatase foi incrementada quando da utilização de CSS, com valor de 169,81  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$  este se sobressaiu em relação aos demais tratamentos no período do florescimento. No período da colheita os tratamentos que se destacaram foram CSS e DLS, com valores de 163,85 e 139,33  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente. Apenas o tratamento testemunha apresentou diferença em relação aos períodos de avaliação, sendo o maior valor observado no período do florescimento da cultura.

No período do florescimento a hidrólise do FDA não foi influenciada pelas fontes orgânicas e mineral, já no período da colheita os tratamentos CSS e DLB se destacaram em relação aos demais, com valores de 129,5 e 136,4  $\mu\text{g Fluoresceína g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . Houve diferença significativa entre os períodos de avaliação para os tratamentos CSS, DLB e NPK, sendo os maiores valores observados no período da colheita para as duas fontes orgânicas (CSS e DLB) e no florescimento para o tratamento NPK. A atividade da enzima urease não sofreu alteração em função dos períodos de avaliação, entretanto a aplicação de CSS incrementou a atividade da enzima, obtendo os maiores valores em relação aos demais tratamentos.

Durante o período do florescimento a atividade da enzima fosfatase ácida no tratamento que foi aplicado DLB obteve os maiores valores em relação aos demais tratamentos. Já no período da colheita as três fontes orgânicas de nutrientes se destacaram em relação a testemunha e NPK, com valores de 384,75, 367 e 423,5  $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente para DLS, CSS e DLB. Para todos os

tratamentos houve diferença significativa entre os períodos de avaliação, onde o período da colheita se destacou em todos.



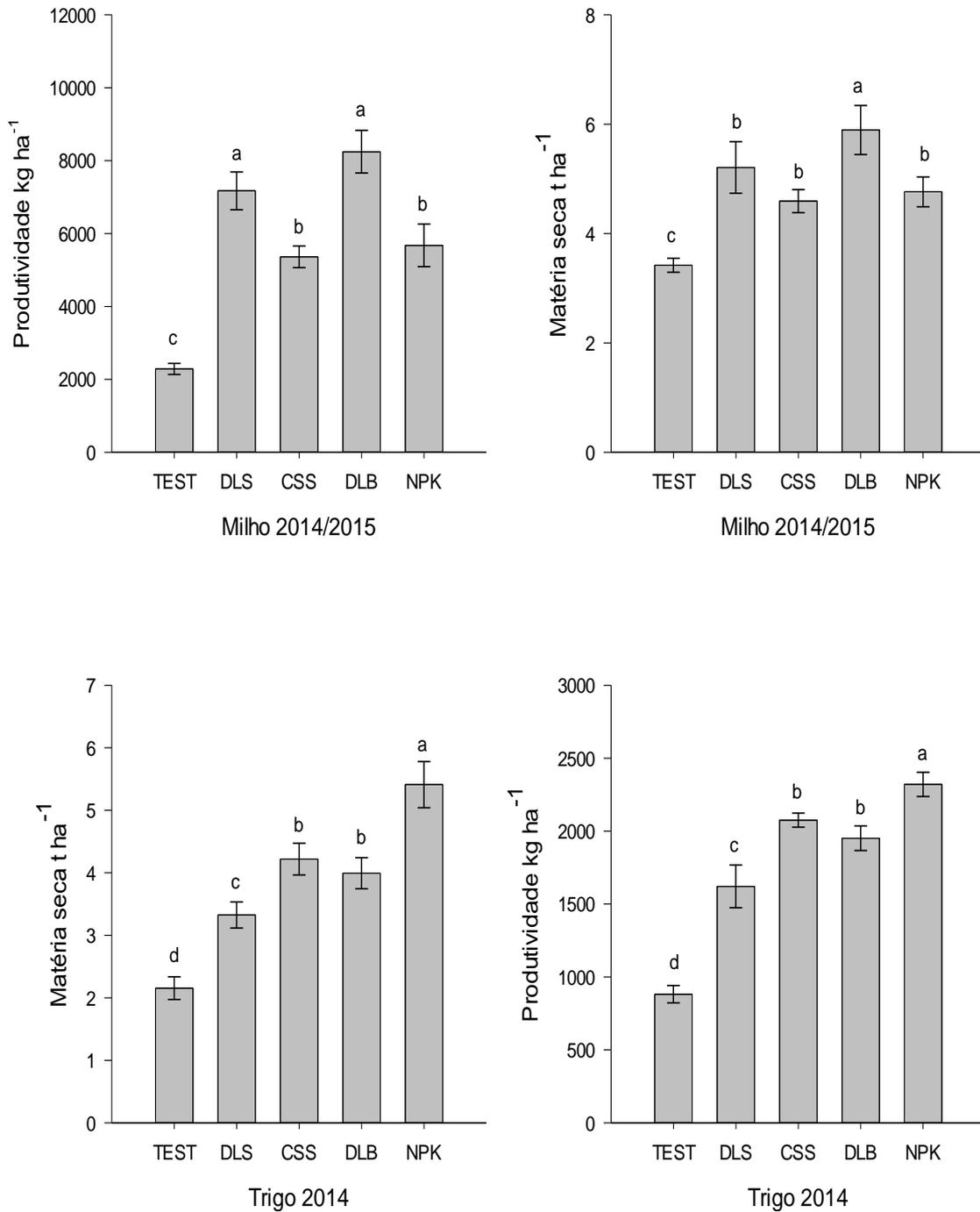
**Figura 3:** Atividade enzimática do solo nos períodos de florescimento e colheita do cultivo do milho. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período e maiúsculas comparam os diferentes períodos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

#### 7.4 Produtividade de grãos e produção de matéria seca

Na safra do trigo, realizada no inverno de 2014, a maior produtividade foi obtida no tratamento com aplicação de fertilizante mineral (NPK), seguida pelos tratamentos que receberam aplicação de CSS e DLB (Figura 4). Com 2320,73 kg ha<sup>-1</sup>, o tratamento NPK superou em 2,63 vezes a produtividade obtida no tratamento testemunha, 881,60 kg ha<sup>-1</sup>. Dentre as fontes orgânicas o tratamento DLB e CSS não diferiram entre si, com produtividade de 1950,73 e 2075,08 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já no cultivo do milho, safra 2014/2015, as fontes orgânicas de nutrientes se destacaram em relação aos tratamentos com adubação mineral e sem adubação (Figura 4). Os tratamentos DLB e DLS se destacaram em relação aos demais, não sendo observada diferença significativa entre eles. Com 8244,87 e 7173,13 kg ha<sup>-1</sup>, estes superaram o tratamento testemunha em 3,6 e 3,13 vezes, respectivamente.

A produção de matéria seca (MS) da cultura do trigo foi coerente com a produtividade de grãos, sendo a maior produção obtida no tratamento com adubação mineral (NPK), 5,41 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Vale ressaltar que a aplicação de DLB e CSS incrementaram a produção de MS em 84% e 95%, respectivamente, em relação ao tratamento sem adubação. Os teores de N, P e K na parte aérea do trigo seguiram a mesma tendência da produtividade e MS, onde os maiores teores foram obtidos no tratamento NPK (Tabela 4). Dentre as fontes orgânicas, os tratamentos DLB e CSS se destacaram, com maiores teores de P e K, não sendo observada diferença significativa entre elas para os teores de N. Para os três elementos as fontes orgânicas foram superiores ao tratamento testemunha.

No cultivo do milho o tratamento DLB foi estatisticamente superior aos demais tratamentos com relação a produção de matéria seca, com 5,89 t ha<sup>-1</sup>, este superou o tratamento testemunha em 72% (Figura 4). Os teores de N, P e K na parte aérea da cultura variou em função da fonte aplicada, para o N houve destaque da adubação mineral (NPK), para os teores de P as fontes orgânicas foram destaque, onde os maiores valores foram encontrados nos tratamentos DLB e CSS e com relação aos teores de K, não se observou diferença significativa entre as fontes orgânicas e mineral (Tabela 4).



**Figura 4:** Produtividade de grãos e produção de matéria seca de milho e trigo no ano agrícola 2014/2015. Tratamentos. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 4:** Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no tecido de plantas de trigo e milho no ano agrícola 2014/2015.

TRAT <sup>(1)</sup>	N	P	K
-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
Trigo			
TEST	31,64 c	10,60 c	31,05 c
DLS	54,11 b	15,78 c	38,35 c
CSS	65,54 b	24,92 b	62,25 b
DLB	55,36 b	23,71 b	54,41 b
NPK	124,15 a	31,99 a	104,80 a
Milho			
TEST	39,92 d	5,42 c	22,62 b
DLS	75,01 b	11,49 b	49,91 a
CSS	56,12 c	16,96 a	56,00 a
DLB	74,65 b	14,82 a	59,56 a
NPK	95,32 a	11,34 b	56,62 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. <sup>(1)</sup> tratamentos.

## 8. DISCUSSÃO

### 8.1 Atributos físico-químicos do solo

A adição das fontes orgânicas (DLS, DLB e CSS) proporcionaram incrementos nos teores de P, K e Ca. Além das próprias fontes, ricas em carbono e nutrientes, o sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo, pode ter contribuído para tais incrementos. É válido observar que as três fontes também contribuíram com incrementos no pH e redução nos teores de Al trocável. Segundo Lourenzi et al., 2011, a decomposição dos resíduos culturais e a adubação orgânica liberam ácidos orgânicos no solo, o que pode promover a adsorção de H<sup>+</sup>, assim como de Al<sup>+3</sup>, podendo ocasionar aumentos no pH e redução no Al<sup>+3</sup>.

A aplicação de dejetos de animais ao solo promoveu efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo (Ds, Ma e Mi). Em solos arenosos, como no caso deste trabalho, esses efeitos podem ser mais perceptíveis. Em geral, o tratamento CSS se

destacou dentre as fontes orgânicas, muito possivelmente devido aos aumentos nos teores de carbono no solo, o que contribui com a atividade biológica do solo, e conseqüentemente com o desenvolvimento do sistema radicular, o que proporciona melhor estruturação ao solo. Barilli (2005) observou redução na Ds, com a adição de dejetos de suínos por um longo período, atribuindo esses efeitos aos incrementos de matéria orgânica proporcionado pelos dejetos. Além disso, o melhor desenvolvimento radicular, agregando MO e proporcionando maior atividade biológica, contribuem para redução na Ds e aumento na porosidade do solo, como observado por Agne et al. (2014).

## **8.2 Biomassa e atividade microbiana**

As diferentes fontes orgânicas de nutrientes (CSS, DLS e DLB), de maneira geral, proporcionaram os maiores teores de C, N e P-BIO, em relação aos tratamentos TEST e NPK. No cultivo do trigo o C e N da biomassa microbiana não sofreram modificações quando da aplicação dessas fontes orgânicas comparadas entre si. Possivelmente as temperaturas amenas do período podem ter reduzido a atividade microbiana entre os tratamentos com aplicações de fontes orgânicas. Pois sob condição de umidade e disponibilidade de substrato adequado, como neste caso, a temperatura poderia ser um fator controlador da atividade microbiana (Rochette & Gregorich, 1998).

Com a reduzida atividade da biomassa microbiana do solo, devido à temperatura, o aporte de carbono como fonte de energia, não foi um fator limitante, já que o experimento vem sendo conduzido em sistema de plantio direto, o que proporciona aporte de material vegetal e sem revolvimento do solo, por isso as diferenças não foram visíveis para C e N-BIO. A aplicação de CSS e DLB se mostraram eficiente em fornecer P à biomassa microbiana, pois estimularam o acúmulo de P-BIO. Este fato se explica pelos teores expressivos de P adicionados através dessas fontes, como ficou evidenciado por Ciancio (2014), em estudo nesta mesma área experimental. O fósforo orgânico no solo é regulado e sustentado pelos microrganismos, podendo este ser rapidamente mineralizado, acarretando em pequeno acúmulo no solo (Ceretta et al., 2010b). Assim a imobilização microbiana

de P se torna fundamental na ciclagem deste elemento no sistema, conferindo proteção ao mesmo, impedindo sua perda, que pode se dar por diversas formas.

Entretanto, em relação à taxa de respiração e o quociente metabólico a diferença entre as fontes orgânicas ficou mais nítida, com os maiores teores verificados nos tratamentos CSS e DLB. A respiração basal indica o estado em que se encontra o metabolismo microbiano no solo, refletindo diretamente a decomposição de resíduos orgânicos, quanto maior a quantidade de carbono respirado maior a atividade microbiana. Assim, altas taxas de respiração podem indicar tanto uma situação adversa como níveis satisfatórios de atividade microbiana no solo (Islam & Weil, 2000).

Há alguns fatores que devem ser levados em consideração quando se busca prever o efeito da aplicação de fontes orgânicas no solo, em sua biomassa e atividade microbiana. Assim, para que ocorra o crescimento e formação de biomassa microbiana no solo é necessária uma fonte de energia (carbono) e de nutrientes, além de condições ambientais favoráveis. As maiores taxas de respiração nos tratamentos CSS e DLB, encontradas no presente estudo, se devem possivelmente aos teores de carbono e também nitrogênio adicionado através dessas fontes, a cada cultivo, o que se percebe através dos valores acumulados ao longo do histórico do experimento (Tabela 5). Além da adição direta de carbono, essas fontes o adicionam também de forma indireta ao proporcionarem incrementos de massa vegetal, que são depositadas no solo após o cultivo (Tabela 5). Isso indica que além do efeito imediato, o residual também se torna importante na manutenção da atividade microbiana do solo.

Da mesma forma os tratamentos CSS e DLB também apresentaram maiores valores de quociente metabólico. Essa variável expressa a relação entre a quantidade de  $\text{CO}_2$  produzido por unidade de biomassa microbiana, permitindo identificar uma biomassa mais eficiente na utilização de carbono no solo, o que é caracterizado por um menor valor de  $q\text{CO}_2$ , ou seja, a medida que a biomassa microbiana do solo se mostra mais eficiente, a quantidade de carbono perdida pela respiração se torna menor e mais C é incorporado nas células microbianas (Anderson & Domsch, 1993).

Apesar de os tratamentos DLB e CSS terem apresentado os maiores valores de  $q\text{CO}_2$  em relação aos demais tratamentos, não representa uma condição

estressante, uma vez que os valores não são elevados, como observado na literatura (Pimentel et al., 2008; Balota et al., 1998; Cardoso et al., 2009; Morales et al., 2016). Couto et al. (2013), avaliando mudanças em atributos microbiológicos do solo após sete anos de aplicações de CSS e DLS, verificaram aumentos na taxa de respiração na CSS em relação ao DLS, e atribuíram esse fato a alta relação C/N da CSS dificultando assim sua degradação, que ocorre de forma mais gradual, já o DLS apresenta características, como a baixa relação C/N, que faz com que rapidamente seja degradado pela biota do solo, porém, não verificaram diferenças nos conteúdos de  $qCO_2$  entre os tratamentos, indicando que o solo poderia estar em equilíbrio. Assim, os maiores valores, tanto de respiração quanto de  $qCO_2$ , encontrados neste estudo, podem estar demonstrando a formação de uma população microbiana tendendo a estabilização, quando da utilização, em especial, da CSS e DLB. Também se pode inferir, com tais resultados, na formação de uma população microbiana mais especializada, possuindo as enzimas específicas necessárias para degradação de compostos orgânicos de mais difícil degradação, aumentando assim a respiração basal microbiana.

**Tabela 5.** Carbono (C), nitrogênio (N) e matéria seca (MS) adicionados através de restos culturais e dejetos aplicados desde a implantação do experimento.

	Via resíduos culturais*			Via dejetos aplicados*		
	N	C	MS	N	C	MS
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		t ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		t ha <sup>-1</sup>
<b>TEST</b>	530	33015	71	-	-	-
<b>DLS</b>	1205,4	72261	155,4	1920	5327	17640
<b>DLB</b>	1012,3	59241	127,4	2505	19690	57143,3
<b>CSS</b>	1041,3	53010	114	2517	42204	149783,6
<b>NPK</b>	998,3	53382	114,8	-	-	-

\*Valores acumulados ao longo do histórico do experimento desde a sua implantação.

No cultivo do milho, quando se assume que houve condições ambientais mais favoráveis à atividade dos microrganismos, se observou a mesma tendência

verificada no cultivo do trigo para as variáveis C, N e P-BIO, respiração basal e  $qCO_2$ . Isso reforça a ideia de que possa estar havendo a formação de populações microbianas mais especializadas, e nesse caso, contribuindo com a formação de MOS. Vale ressaltar que esses resultados foram observados em avaliações pontuais, ou seja, em amostragens do solo realizadas pontualmente, no florescimento e após a colheita das culturas de trigo e milho. Portanto, seriam importante avaliações ao longo do tempo para verificar essa tendência, assim como de formação de grupos microbianos específicos e da qualidade da matéria orgânica do solo nestes tratamentos.

A decomposição de resíduos orgânicos no solo envolve uma diversidade de microrganismos com habilidades diferenciadas, quanto ao tipo de enzima produzida, para degradar a ampla gama de compostos orgânicos presentes. Devido à atuação conjunta dessa população microbiana, o C presente em vários compostos orgânicos é oxidado até  $CO_2$ , e paralelamente ocorre a mineralização daqueles elementos ligados ao C, sobretudo o N, P e S. Além disso uma pequena parte do C, aquela não transformada em  $CO_2$ , contribui para a formação de matéria orgânica do solo (MOS).

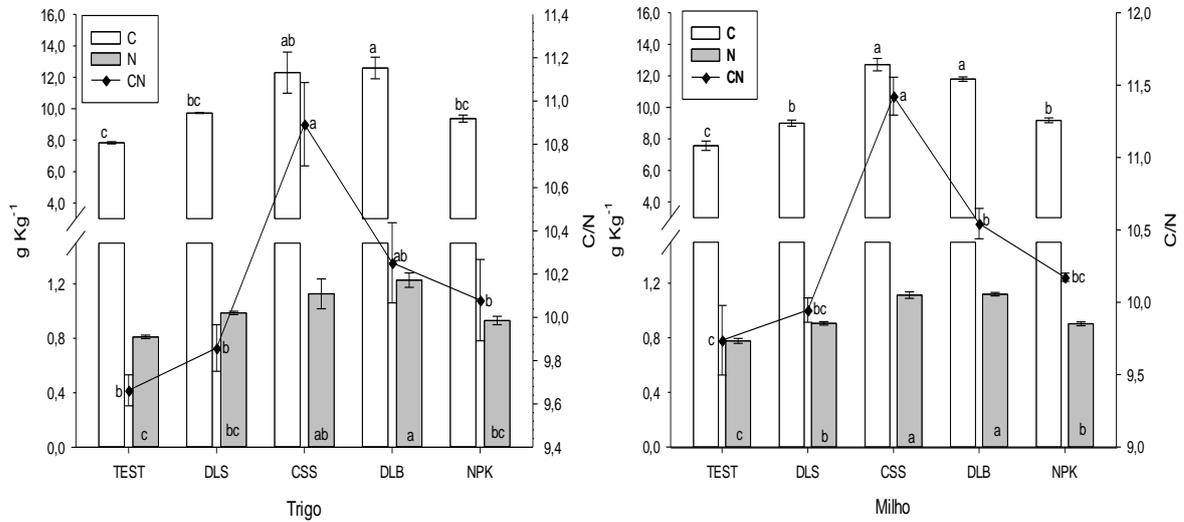
Os resultados do presente estudo mostraram diferenças, entre a atividade das enzimas avaliadas, com destaque para as fontes orgânicas de nutrientes em relação ao NPK e TEST, assim como demonstrou diferenças das fontes orgânicas entre si. A hidrólise do FDA é uma determinação auxiliar que indica a atividade total hidrolítica de células ativas no solo, caracterizando a atividade geral da microbiota do solo (Petry et al., 2012). Já a atividade das enzimas B-glicosidase, urease, fosfatase ácida e aril-sulfatase desempenham papéis importantes e ciclos de elementos de C, N, P e S, e já foi demonstrado em vários trabalhos que suas atividades se correlacionam bem com os teores de carbono e nitrogênio total do solo (Wei et al., 2014).

Poucos são os trabalhos encontrados na literatura que avaliam os efeitos de aplicações contínuas dessas fontes, simultaneamente, nos atributos relacionados a atividade enzimática do solo, a maioria se utiliza de uma única fonte, como por exemplo, dejetos líquidos de suínos. Esses trabalhos são unânimes em demonstrar os efeitos positivos quando da aplicação desses dejetos (Balota et al., 2011; Lalande et al., 2000; KING et al., 2015; LI et al., 2008). De forma geral, foi verificado neste estudo que as maiores atividades dessas enzimas se encontraram nos tratamentos

onde se aplicou fontes orgânicas de nutrientes, sobretudo CSS, em relação ao NPK e TEST. Esses resultados possivelmente se deram em função dos incrementos de C proporcionados ao solo, em função das aplicações de CSS (Figuras 5).

Sabe-se que existem relações entre as enzimas B-glicosidase e urease, com bactérias celulolíticas e biomassa fúngica e bactérias nitrificantes, respectivamente (Aon et al., 2001). Assim, pode-se associar esses resultados com os incrementos de produtividade e conseqüentemente com o aporte de restos vegetais no solo, assim como aos aumentos de nitrato proporcionados ao solo em função da aplicação dessas fontes orgânicas. O aumento na atividade da enzima B-glicosidase pode desencadear incrementos na biomassa e atividade microbiana do solo, pois esta é uma enzima que libera açúcares simples que são de fácil utilização pela microbiota do solo, o que pode explicar os incrementos na atividade e biomassa microbiana verificados nos tratamentos com aplicação de fontes orgânicas, em especial CSS e DLB. Trannin et al (2007) também verificaram tendência semelhante ao avaliarem a aplicação de doses de biossólido industrial, durante dois anos no cultivo de milho.

As maiores atividades da fosfatase ácida, observados neste estudo, nos tratamentos com aplicação de fontes orgânicas, demonstram a maior mineralização do P orgânico refletindo em maior fornecimento desse elemento às plantas, além disso a ciclagem do P na biomassa microbiana permite sua permanência no sistema, diminuindo a susceptibilidade a perdas. A atividade da arilsulfatase também mostrou que pode ocorrer uma maior disponibilidade de enxofre nas áreas com aplicação de CSS e DLB, indicando um suprimento adequado às plantas, pois a maior parte do S no solo encontra-se em forma orgânica, ligado ao carbono, e a conversão deste para formas assimiláveis (inorgânicas) são mediados pela população microbiana, através da produção de enzimas proteolíticas, como arilsulfatase. Apesar de as plantas também contribuírem na produção de algumas enzimas, o que reforça a ideia de a população microbiana ser mais ativa nesses tratamentos é o fato de essa tendência permanecer mesmo após a senescência das plantas, quando não há mais raízes ativas presente. Por fim, a atividade da hidrólise do FDA, utilizada como indicadora da atividade hidrolítica geral no solo, indicou uma atividade microbiana global com maior intensidade nos tratamentos que receberam aplicações de fontes orgânicas, sobretudo CSS e DLB.



**Figura 5:** teores de carbono orgânico total, nitrogênio total no solo e relação C/N (cultivo cultivos de trigo e milho). Amostragem do solo realizada na profundidade 0-10 cm e após a colheita de cada cultura.

### 8.3 Produtividade de grãos e produção de matéria seca

Na maior parte dos cultivos, realizados nessa área experimental até o ano de 2013, a aplicação de CSS proporcionou incrementos na produtividade de grãos, produção de matéria seca e nos teores de N, P e K na parte aérea das plantas, em relação aos tratamentos NPK e TEST (CIANCIO, 2014). Esse fato se deu em função das maiores quantidades de nutrientes adicionados via CSS, em relação aos demais tratamentos, além disso pode ter ocorrido a mineralização gradativa desse resíduo, fazendo com que os nutrientes fossem liberados ao longo do ciclo das culturas.

Com os resultados do presente estudo, se percebeu que, no cultivo do trigo, em 2014, também ocorreu, dentre as fontes orgânicas, maiores produtividades nos tratamentos CSS, juntamente com o DLB, o que foi coerente com a produção de MS e acúmulo de N, P e K na parte aérea. Já no cultivo do milho, a produtividade foi menor da CSS, em relação ao DLS e DLB, também se percebeu menor acúmulo de N na parte aérea da cultura. Durante o cultivo do milho ocorreu uma situação atípica que deve se destacar, devido a problemas com relação a variedade e aplicação de herbicida para tratos culturais, as plantas de milho vieram a morrer, sendo

necessário realizar replantio. Este foi conduzido apenas com efeito residual dos dejetos aplicados, isso pode ter contribuído para redução da produtividade no tratamento CSS. Como foi observado, de maneira geral, alta biomassa (C, N e P-BIO) e atividade microbiana (CO<sub>2</sub>, enzimas) nesse tratamento, pode-se inferir que pode ter ocorrido maior imobilização de nutrientes pelo metabolismo microbiano, além disso a maior parte dos nutrientes solúveis podem ter perdido por lixiviação e/ou percolação, fazendo com que a produtividade fosse reduzida. Tal fato também pode ter contribuído para redução na incorporação de N pelo milho. Giacomini et al. (2008), avaliando o fornecimento de N para a cultura do milho, através da CSS e DLS, também verificaram menor potencial de fornecimento da CSS em detrimento do DLS.

Os índices de correlação de Pearson mostraram interação entre as variáveis avaliadas. Dentre as variáveis microbiológicas apenas o P-BIO, FDA e fosfatase ácida obtiveram correlações positivas com a produtividade (0,74, 0,75 e 0,58) e MS (0,53, 0,60 e 0,56) respectivamente, do cultivo do milho no período do florescimento.

## **9. CONCLUSÃO**

O uso de fontes orgânicas (DLS, DLB e CSS) proporcionam aumentos na atividade e biomassa microbiana do solo em comparação a adubação mineral. Dentre as fontes orgânicas a CSS e DLB se mostraram superiores em relação ao DLS.

O uso de CSS como fonte de nutrientes proporcionaram maiores valores de respiração basal e qCO<sub>2</sub>, indicando que uso sucessivo ao longo do tempo pode contribuir na formação de populações microbianas mais eficientes na utilização de carbono orgânico.

A utilização das fontes orgânicas (DLS, DLB e CSS) incrementaram a produtividade de grãos e produção de matéria seca de trigo e milho, em relação ao tratamento testemunha. E dentre as variáveis microbiológicas apenas P-BIO, FDA e fosfatase ácida apresentaram correlação positiva em relação a produtividade e produção de matéria seca.

## 10. REFERÊNCIAS

Agne, S.A.A.; Klein, V. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.7, p.720–726, 2014.

Aita, C.; Giacomini, S.J.; Hubner, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v.42, n.1, p.95-102, 2007.

Anderson, J. P. & Domsch, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (q CO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

Aon, M.A. & Colanari, A.C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**. v. 18. p. 255-270. 2001.

Araújo, A.S.F.; Oliveira, J.R.; Araújo, R.M.; Gomes, R.L.F.; Biofertilizers on soil microbial and activity. **Agrária – Revista Brasileira de ciências agrárias**. v. 9. p. 545-549. 2014.

Balota, E.L.; Colozzi-Filho, A.; Andrade, D.S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 641-649. 1998.

Balota, E.L.; Machineski, O.; Matos, M.A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.5, p.487–495, 2012.

Balota, E.L.; Machineski, O.; Truber, V. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage Systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 33, n. 4, p. 729-737, 2011.

Barilli, J. Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. **Tese (Doutorado)**. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 77 p. 2005.

Basso, C.J.; Ceretta, C.A.; Durigon, R.; Poletto, N.; Giroto, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**. v.35, n.6, p.1305-1312, 2005.

Basso, C.J.; Ceretta, C.A.; Flores, E.M.M.; Giroto, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**. v.42, n.4, p.653-659, abr, 2012.

Basso, C.J.; Ceretta, C.A.; Pavinato, M.J.S. Perdas de nitrogênio de dejeito líquido de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**. v.34, n.6, p.1773-1778, 2004.

Berwanger, A. L.; Ceretta, C. A.; Rheinheimer, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2525-2532, 2008.

Brasil. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico 30**. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431p.

Brookes, P.C; Powlson, D.S.; Jenkinson, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem**, v.14, p.319-326, 1982.

Brunetto, G.; Comin, J.J; Schmitt, D.E.; Guardini, R.; Mezzari, C.P.; Oliveira, B.S.; Moraes, M.P.; Gatiboni, L.C.; Lovato, P.E. & CERETTA, 49 C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in a Sandy Typic Hapludalf after medium-term pig-slurry

and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36: 1620-1628, 2012.

Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Moreira, F.M.; Curi, N.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesq. agropec. bras.** vol.44. no.6. 2009.

Ceretta, C. A.; Basso, C.J.; Vieira, F.C.B.; Herbes, M.G.; Moreira, I.C.L.; Berwanger, A.L. Dejeito líquido de suínos: I-perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**. v. 35, p. 1296-1304, 2005a.

Ceretta, C.A. & Girotto, E. Estratégias para otimização do poder fertilizante dos dejetos e mitigação do impacto ambiental. **I Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos de animais**. Florianópolis-SC. 2009.

Ceretta, C.A.; Basso, C.J.; Pavinato, P.S.; Trentin, E.E.; Girotto, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**. v.35, n.6, p1287-1295, 2005b.

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. **Pesq. agropec. bras.** v. 38, n. 6, p. 729-735. 2003.

Ceretta, C.A.; Girotto, E.; Lourenzi, C.R.; Trentin, G.; Vieira, R.C.B.; Brunetto, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.139. p. 689–699. 2010.

Ceretta, C.A.; Lorensini, F.; Brunetto, G.; Girotto, E.; Gatiboni, L.C.; Lourenzi, C.R.; Tiecher, T.L.; Conti, L. de; Trentin, G.; Miotto, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.593-602. 2010b.

Ciancio, N.H.R. Fontes orgânicas e mineral: produção de culturas, alteração nos atributos químicos do solo e transferência de formas de nitrogênio e de fósforo. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. 92p. 2015.

Corrêa, J. C.; Barilli, J.; Rebellatto, A.; Veiga, M. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. **Circular técnica**, 58. Embrapa suínos e aves. Concórdia, SC. 2011.

Costa, O.A.D.; Oliveira, P.A.V.; Holdefer, C.; Lopes, E.J.C.; Sangoi, V. Sistema alternativo de criação de suínos em cama sobreposta para a Agricultura Familiar. Embrapa, **Comunicado Técnico 419**. 7p. Concórdia-SC, 2006.

Couto, R.R.; Comin, J.J.; Soares, C.R.F.S.; Filho, L.B.; Moraes, M.P.; Brunetto, G.; Beber, C.L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesq. agropec. bras.** v.48, n.7, p.774-782, jul. 2013.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. **Porto Alegre: SBCS**: NRS: UFRGS, 2004.

Dick, R.P.; Breackwell, D.P.; Turco, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, p.247-241.1996.

Dick, R.P.; Breackwell, D.P.; Turco, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p.247-271.

Durigon, R.; Ceretta, C.A.; Basso, C.J.; Barcellos, L.A.R.; Pavinato, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista brasileira de ciência do solo**. v.26, p. 983-992. 2002.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 2. ed. rev. Atual. 212p. 1997.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **A suinocultura no brasil**. Embrapa suínos e aves Concórdia – SC. 2013. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5:origem-dos-suinos&catid=4:suinos-publico&Itemid=19](http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=5:origem-dos-suinos&catid=4:suinos-publico&Itemid=19) . Acesso em: setembro de 2015.

Gatiboni, L.C.; Brunetto, G.B.; Kaminski, J.; Rheinheimer, D.S.; Ceretta, C.A.; Basso, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas Adições de dejetos líquidos de suínos em Pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32: p.1753-1761. 2008.

Giacometti, C; Demyan, M.S; Cavani, L.; Marzadori, C; Ciavatta, E.K. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. **Applied Soil Ecology**. v.64. p.32-48. 2013.

Giacomini, S.J & Aita, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:195-205, 2008.

Giacomini, S.J.; Aita, C.; Pujol, S.B.; Miola, E.C.C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesq. agropec. bras.** v.48, n.2, p.211-219. 2013.

Giroto, E.; Ceretta, C.A.; Rheinheimer, D.S.; Brunetto, G.; Andrade, J.G.; Zalamena, J. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**. v.40, n.9, p.1948-1954. 2010.

Green, V.S.; Stott, D.E.; Miack, M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.38, n.3, p.693-701, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE-. 2014. **Estatística da produção pecuária**, Junho de 2014.

Islam, K.R. & Weil, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agric. Ecosys. Environ.**, 79:9-16, 2000.

Jiao, X.; Gao, C.; LU, G.; Sui, Y. Effect of Long-Term Fertilization on Soil Enzyme Activities Under Different Hydrothermal Conditions in Northeast China. **Agricultural Sciences in China**. 10 (3). p. 412-422. 2011.

King, T.; Schoenau, J.J.; Malhi, S.S. Effect of Application of Liquid Swine Manure on Soil Organic Carbon and Enzyme Activities in Two Contrasting Saskatchewan Soils. **Sustainable Agriculture Research**. v.4. No. 1; 2015.

Lalande, R.; Gagnon, B.; Simard, R.R.; Côté, D. Soil microbial biomass and enzyme activity following liquid hog manure application in a long-term field Trial. **Can. J. Soil Sci.** 80, 263-269.2000.

Li, J.; Zhao, B.; Li, X.; Jiang, R.; So, H.B. Effects of Long-Term Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on Microbial Biomass, Soil Enzyme Activities and Soil Fertility. **Agricultural Sciences in China**. 336-343, 7(3), 2008.

Lourenzi, C.R.; Ceretta, C.A.; Brunetto, G.; Giroto, E.; Tiecher, T.L.; Vieira, R.C.B.V.; Cancian, A.; Ferreira, P.A.A.F. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 38:949-958, 2014b.

Lourenzi, C.R.; Ceretta, C.A.; Silva, L.S.S.; Trentin, G.; Giroto, E.; Lorensini, F.; Tiecher, T.L.; Brunetto, G. soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35. P.1827-1836. 2011.

Lourenzi, C.R.; Ceretta, C.A.; Brunetto, G.; Giroto, E.; Tiecher, T.L.; Vieira, R.C.B.V.; Cancian, A.; Ferreira, P.A.A. Dejeito líquido de suínos e o acúmulo de nutrientes e

matéria seca e a produção de grãos de culturas diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.38 no.3. 2014a.

Machado, D.M.; Schossler, T.R.; Zuffo, A.M.; Andrade, F.R.; Piauilino, A.C. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia Biosfera**. v.8, n.15; p. 180. 2012.

Matsuoka, M.; Mendes, I.C.; Loureiro, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de primavera do leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:425-433, 2003.

Mello, M.A.; Filippi, E.E. Mudanças técnicas e poluição ambiental difusa no oeste de santa catarina: uma análise a partir da economia ecológica... 2007. **XLV CONGRESSO DA SOBER "Conhecimentos para Agricultura do Futuro"**, Londrina, 2007.

Mello, W.J. Uso de resíduos na agricultura e qualidade ambiental. In: Silveira, A.P.D.; Freitas, S.S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. IAC-Campinas. p. 275-299. 2007.

Mendonça, E. S.; Matos, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107p. 2005.

Molento, C.F.M. Bem-Estar e Produção Animal: Aspectos Econômicos - Revisão. **Archives of Veterinary Science**. v. 10, n. 1, p. 1-11, 2005.

Morales, D.; Vargas, M.M.; Oliveira, M.P.; Taffe, B. L.; Comin, J.; Soares, C.R.F.S.; Lovato, P. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. **Ciência Rural**, v.16. p.260-266.2016.

Moreira, F.M.M.; Siqueira, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 726p.

Murphy, J. & Riley, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, 27: 31-36. 1962.

Paul, E.A.; Clarck, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2.ed. Academic Press. San Diego, CA. 340p. 1996.

Pimentel, M.S.P.; Oliveira, N.G.; Costa, J.R.; Almeida, D.L.; De-Polli, H. Atributos químicos e microbianos do solo sob diferentes manejos no município de seropédica, rj. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.14, n.2, p.307-317.2008.

Portal Brasil. **Rebanho bovino brasileiro cresce e chega a 212,3 milhões de cabeças de gado**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/rebanho-bovino-brasileiro-cresce-e-chega-a-212-3-milhoes-de-cabecas-de-gado>. Acesso em 15/10/2015.

Ramos, M. E.; Benitez, E.; Garcia, P. A. & Roble, A. B. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, 44:6-14, 2010.

Rochette, P., and E.G. Gregorich. Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO<sub>2</sub> evolution after three years of manure application. **Can. J. Soil Sci.** 78:283–290. 1998.

Rochette, P.; Bochove, E.; Prévost, D.; Angers, D. A.; Côté, D.; Bertrand, N. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year: II-Nitrous oxide and mineral nitrogen. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, n. 4, p. 1396-1403, 2000.

Scherer, E.E.; Nesi, C.N.; Massotti, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de santa catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34:1375-1383, 2010.

Stotzky, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (Org.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, v.2. p.1550-1572. 1965.

Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A, Bohnen, H., Volkweiss, S.J. **Analises de solo, planta e outros materiais**. 2ed. (Boletim técnico, 5), Porto Alegre: UFRGS, 1995.

Trannin, I.C.B.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio-sólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31. p.1173-1184. 2007.

Vance, E.D.; Brookes, P.C.; Jenkinson, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.** 19:703-707, 1987.

Verchot, L.V. & Borelli, T. Application of para-nitrophenol (pNP) enzyme assays in degraded tropical soils. **Soil Biol. Biochem.**, 37:625-633. 2005.

Wei D.; Baoku Z.; Xingzhu Ma.; Xueli C.; Junzheng Z. Soil microbial properties of black soil under long-term fertilisation. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, 63:195-199. 2014.

Yang, L.; Li, T.; Li, F.; Lemcoff, J.H.; Cohen, S. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field. **Scientia Horticulturae**. 116, p.21–26, 2008.