

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, ATIVIDADE ENZIMÁTICA E NITROGÊNIO EM  
SOLOS APÓS 21 ANOS DE TRATAMENTO COM LODO DE ESGOTO**

**Nayara Rose da Conceição Lopes**

Engenheira Agrônoma

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, ATIVIDADE ENZIMÁTICA E NITROGÊNIO EM  
SOLOS APÓS 21 ANOS DE TRATAMENTO COM LODO DE ESGOTO**

**Nayara Rose da Conceição Lopes**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo**

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias – UNESP, Campus de  
Jaboticabal, como parte das  
exigências para obtenção do título  
de Mestre em Agronomia (Ciência  
do Solo).

2019

L864a

Lopes, Nayara Rose da Conceição

Atributos biológicos, atividade enzimática e nitrogênio em solos após 21 anos de tratamento com lodo de esgoto / Nayara Rose da Conceição Lopes. -- Jaboticabal, 2019  
63 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Wanderley José de Melo

1. Atividade microbiana. 2. Enzimas do solo. 3. Amônio. 4. Nitrato. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, ATIVIDADE ENZIMÁTICA E NITROGÊNIO EM SOLOS APÓS 21 ANOS DE TRATAMENTO COM LODO DE ESGOTO**

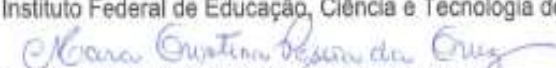
**AUTORA: NAYARA ROSE DA CONCEIÇÃO LOPES**

**ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO  
Departamento de Tecnologia / FCAV/UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / Campus Matão/SP

  
Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 20 de agosto de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Nayara Rose da Conceição Lopes nascida em Barreiros/PE, em 10 de dezembro de 1995, formada como Técnica em Agropecuária graduou-se em engenharia agrônômica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – Campus Vitória de Santo Antão em 2018, onde participa, desde o segundo período de graduação, do Grupo de Estudos e Pesquisas em Fertilidade do Solo e Agroenergia coordenado pelo Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos. Em Março de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), nível mestrado pela UNESP, Campus de Jaboticabal/SP, sendo orientada pelo Prof. Dr. Wanderley José de Melo.

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu. Tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de colher o que se plantou.

Eclesiastes 3.1 e 2 (Bíblia Sagrada)

### **Dedico**

Ao meu Deus, Todo Poderoso, que em todos os momentos esteve ao meu lado e quando o cansaço me abateu Ele me carregou em seus braços.

Aos meus pais Maria e Josemir e toda minha amada família, por todo amor, incentivo e cuidado, a base da minha vida e minha maior motivação para continuar correndo atrás dos meus sonhos.

### **Ofereço**

Aos meus irmãos Nandson e Naylso, e a meu amor, Jeconias Bernardo, por toda paciência, compreensão, companheirismo e por sonhar comigo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, autor e consumidor da minha fé, a quem eu concedo todo o mérito das minhas conquistas.

Aos meus pais, minha base, Maria e Josemir, pelo apoio e dedicação, e aos meus irmãos Naylso e Nandson pela parceria e companheirismo, eu amo vocês.

A toda minha família amada, por toda motivação, apoio e compreensão, tenho orgulho de vocês e agradeço a Deus pelo lar onde nasci.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela oportunidade e infraestrutura para realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Wanderley José de Melo, pelos ensinamentos, orientação, disponibilidade em responder minhas dúvidas, paciência, e por acreditar na minha capacidade de desenvolver o trabalho, muito obrigada.

Ao meu noivo Jeconias Bernardo, não é fácil a distância, mas você me provou que é possível amar e ser amada mesmo longe, obrigada por toda compreensão, incentivo e por sonhar os meus sonhos, eu te amo.

As queridas irmãs do círculo de oração da IEADPE – Barreiros/PE, o povo guerreiro que tanto orou por mim, principalmente minha congregação Piabas.

A minha amiga Maria Alves, com quem dividi o mesmo teto desde a graduação até o final do mestrado, quase sete anos, quantas coisas já vivemos juntas, obrigada por toda ajuda durante todos esses anos e por me ensinar todos os dias.

Ao meu eterno mentor, Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos, por não desistir de mim, por todo incentivo, eu não tenho palavras, o senhor é parte de tudo isso, muito obrigada!

Aos meus amigos e companheiros que embarcaram nessa jornada comigo, Juca e Victor, e aos amigos que conquistei aqui, principalmente Denise e Antônio, obrigada por toda ajuda.

Aos professores da FCAV por toda contribuição no meu aprendizado, em especial a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mara Cristina Pessôa Cruz, por toda paciência em sanar dúvidas e por ceder o laboratório de Fertilidade do Solo sempre que eu precisava.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia e aos meninos do Laboratório de Biogeoquímica, Rodrigo e Tiago, por toda ajuda com equipamentos e metodologias.



Aos queridos irmãos da Igreja Assembleia de Deus (Ministério Belém) em Jaboticabal, em especial ao meu pastor presidente Eliel Ferreira e sua esposa irmã Rosália, por todo acolhimento e ensinamentos, vocês fizeram desse período aqui mais leve e agradável.

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

A todos que de alguma forma me ajudaram na realização desse trabalho, mesmo que indiretamente, seria impossível citar todos os nomes.

**MUITO OBRIGADA!**

## SUMÁRIO

	Páginas
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 Lodo de Esgoto .....	2
2.2 Lodo de Esgoto na Agricultura.....	3
2.3 Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo.....	4
2.3.1 Atividade Biológica.....	5
2.3.2 Atividade Enzimática.....	8
2.4 Nitrogênio.....	11
2.5 Nitrogênio no Solo.....	11
2.6 Disponibilidade de Nitrogênio no Solo com Uso do Lodo de Esgoto.....	12
<b>3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
3.1 Hipótese.....	14
3.2 Objetivos Gerais.....	14
3.3 Objetivos Específicos.....	15
<b>4. MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>16</b>
4.1 Localização do Experimento.....	16
4.2 Histórico do Experimento.....	17
4.3 Instalação e condução do Experimento no 21º ano (2017/18).....	18
4.4 Análises Laboratoriais.....	22
4.4.1 Protease.....	22
4.4.2 Celulase.....	22
4.4.3 Desidrogenase.....	23
4.4.4 Carbono Orgânico (C <sub>org</sub> ).....	23
4.4.5 Carbono na Biomassa Microbiana (C-BMS).....	23
4.4.6 Respiração Basal.....	23
4.4.7 Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	24
4.4.8 Nitrogênio Total, Amônio e Nitrato no Solo.....	24
4.4.9 Nitrogênio Total na Folha Diagnose.....	24
4.5 Análises Estatísticas.....	24
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>

5.1 Atividade Enzimática.....	25
5.2 Atividade Biológica.....	27
5.3 Teores de Amônio, Nitrato e Nitrogênio Total nos Solos.....	30
5.4 Nitrogênio Total na Folha Diagnose do Milho.....	33
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Histórico da área experimental.....	18
<b>Tabela 2.</b> Fertilidade do LVef e LVd antes da aplicação do Lodo de esgoto no 21 ano de experimento.....	19
<b>Tabela 3.</b> Doses de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O aplicada aos tratamentos, no vigésimo primeiro ano de aplicação de lodo de esgoto em LVef e LVd.....	20
<b>Tabela 4.</b> Quantidade de N e K fornecidas pelo lodo de esgoto e adubação complementar com KCl, em sementeira, no LVef e LVd no 21º ano de experimento.....	21
<b>Tabela 5.</b> Quantidade de N e K fornecidas em cobertura, para atender a necessidade da cultura, no LVef e LVd no 21º ano de experimento.....	21
<b>Tabela 6.</b> Atividade enzimática nos solos LVef e LVd na profundidade de 0,0 – 0,10 m no 21º ano de tratamento com LE.....	25
<b>Tabela 7.</b> Carbono orgânico (C <sub>org</sub> ), carbono na biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) na profundidade de 0,0 – 0,10 m, em um LVef e LVd submetido a tratamento com doses LE no 21º ano.....	27
<b>Tabela 8.</b> Teores de amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e nitrogênio total (N Total) na profundidade de 0,0 – 0,10 m, em um LVEf e LVd submetido a tratamento com doses LE no 21º ano.....	31
<b>Tabela 9.</b> Teores de nitrogênio total (N Total) na folha diagnose do milho cultivado em um LVef e LVd submetido a tratamento com doses LE no 21º ano.....	33

## ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, ATIVIDADE ENZIMÁTICA E NITROGÊNIO EM SOLOS APÓS 21 ANOS DE TRATAMENTO COM LODO DE ESGOTO

**RESUMO-** A aplicação de lodos de esgoto na agricultura tem sido sugerida como uma saída que apresenta muitos benefícios por ser esse um resíduo que apresenta potencial tanto de condicionador do solo como de fertilizante. Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto (LE) em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) no 21º ano de aplicação sobre a atividade das enzimas protease, desidrogenase e celulase, o teor de carbono orgânico ( $C_{org}$ ), o carbono na biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal, quociente metabólico ( $qCO_2$ ), nitrogênio total (N total), teores de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) e também N total na folha diagnose do milho. Para isso foi desenvolvido um experimento na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP/Campus de Jaboticabal – SP, utilizando quatro tratamentos com doses de lodo de esgoto, em blocos casualizados e com 5 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos no 21º ano foram: controle (fertilização mineral, sem aplicação de LE), 5 Mg ha<sup>-1</sup> LE, 10 Mg ha<sup>-1</sup> LE e 20 Mg ha<sup>-1</sup> LE, todos na base seca. A atividade da protease, nos dois solos estudados, foi influenciada pelas doses de LE variando de 1,33 a 4,98 mg de Tirosina/kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup> no LVef e 1,21 a 4,55 mg de Tirosina/kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup> no LVd. Os tratamentos com as doses 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE influenciaram na atividade da desidrogenase apenas no LVd. O  $qCO_2$  no LVef, assim como a respiração basal do solo, apresentou maior valor no tratamento com a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE. Os teores de N total, amônio e nitrato no solo foram influenciados pelos tratamentos atingindo valores de 2,029 g kg<sup>-1</sup>, 0,432 mg kg<sup>-1</sup> e 5,803 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, com a maior dose de LE. De modo geral, a aplicação de lodo de esgoto aumentou o carbono orgânico nos solos e promoveu aumento da qualidade do solo.

**Palavras-chave:** atividade microbiana, enzimas do solo, amônio, nitrato, resíduo orgânico.

## BIOLOGICAL ATTRIBUTES, ENZYMATIC ACTIVITY AND NITROGEN IN SOILS AFTER 21 YEARS OF TREATMENT WITH SEWAGE SLUDGE

**ABSTRACT-** The application of sewage sludge in agriculture has been suggested as an outlet that has many benefits as it is a residue that has both soil conditioner and fertilizer potential. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the application of sewage sludge (SS) doses on a eutroferic Red Latosol (eRL) and a dystrophic Red Latosol (dRL) in the 21st year of application on the activity of protease enzymes, dehydrogenase and cellulase, organic carbon (Corg) content, carbon in soil microbial biomass (C-BMS), basal respiration, metabolic quotient ( $qCO_2$ ), total nitrogen (total N), ammonium ( $NH_4^+$ ) and nitrate content ( $NO_3^-$ ) and also total N in maize diagnostic leaf. For this, an experiment was developed at the Teaching and Research Farm of UNESP / Campus of Jaboticabal - SP, using four treatments with sewage sludge doses, in randomized blocks with 5 replications, totaling 20 plots. The treatments in the 21st year were: control (mineral fertilization without application of SS), 5 Mg ha<sup>-1</sup> SS, 10 Mg ha<sup>-1</sup> SS and 20 Mg ha<sup>-1</sup> SS, all in dry basis. Protease activity in both soils was influenced by SS rates ranging from 1.33 to 4.98 mg Tyrosine / kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup> in eRL and 1.21 to 4.55 mg Tyrosine / kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup> in the dRL. The treatments with doses 10 and 20 Mg ha<sup>-1</sup> of SS influenced the dehydrogenase activity only in the dRL. eRL  $qCO_2$ , as well as soil basal respiration, presented higher value in the treatment with the 20 Mg ha<sup>-1</sup> dose of SS. The total N, ammonium and nitrate contents in the soil were influenced by the treatments reaching values of 2.029 g kg<sup>-1</sup>, 0.432 mg kg<sup>-1</sup> and 5.803 mg kg<sup>-1</sup>, respectively, with the highest SS dose. In general, the application of sewage sludge increased organic carbon in soils and promoted increased soil quality.

**Keywords:** microbial activity, soil enzymes, ammonium, nitrate, organic waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico e o crescimento demográfico mundial, intensificaram-se as atividades industriais e agrícolas, bem como o extrativismo mineral e a urbanização, o que causou aumento considerável dos níveis de contaminantes no solo, pelos resíduos resultantes desses processos. Já existem no mundo grandes extensões de áreas contaminadas por agentes diversos como moléculas orgânicas, todavia, o incremento da circulação de metais pesados tóxicos, advindos dessas origens, no solo, na água e no ar, e sua inevitável transferência para a cadeia alimentar humana representa um importante problema ambiental com riscos muitas vezes desconhecidos (Nriagu e Pacyna, 1988).

Na agricultura, a aplicação de lodos de esgoto tem sido sugerida como uma saída que apresenta mais benefícios do que prejuízos ao ambiente, pois, ao mesmo tempo em que se evita a poluição, dando um destino correto o passivo ambiental, adiciona-se ao solo material que pode melhorar suas características. Em consequência de sua riqueza em nutrientes, principalmente nitrogênio (N), o lodo de esgoto tem sido utilizado em muitos países como fertilizante (Binder et al., 2002).

Quando aplicados aos solos, a atividade dos microrganismos é um agente regulador da taxa de decomposição do lodo, e principalmente, da ciclagem dos elementos que contém. Deste modo, ocorrem transformações de compostos com carbono (C), fósforo (P) e N, que são importantes para nutrição das plantas. No processo de decomposição atuam enzimas que apresentam grande potencial como indicadores de qualidade do solo por serem sensíveis às variações induzidas por fatores ambientais e de manejo, e porque sua determinação é relativamente simples e rápida (Balota et al., 2004; Tejada et al., 2006).

A matéria orgânica (MO) além de fornecer nutrientes para a planta e para os organismos do solo também atua como condicionadora do solo, melhorando suas características químicas, físicas e biológicas (Tsutiya, 2001). Assim, devido a riqueza nutricional e pela composição em MO, o lodo de esgoto tem sido sugerido para a aplicação na agricultura como condicionador do solo e fertilizante (Bezerra et al., 2006; Tamanini et al., 2008). Portanto, o objetivo com esse estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto (LE) em um Latossolo Vermelho

eutroférico (LVef) e em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) no 21º ano de aplicação na atividade enzimática e biológica, e também no N total na folha diagnose do milho.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Lodo de Esgoto (LE)**

Lodo de esgoto (LE) é um resíduo semissólido resultante do tratamento do esgoto, cuja composição, predominantemente orgânica, varia em função da sua origem, do sistema de tratamento adotado e do condicionamento final (Melo e Marques, 2000). O esgoto que sai das residências, é coletado nas redes de saneamento e destinado às estações de tratamento de esgoto (ETE), onde, inicialmente, é retirado o material grosseiro, e a partir daí, o esgoto passa por processo de biodegradação, no qual os microrganismos, principalmente as bactérias, alimentam-se da matéria orgânica rica em nutrientes, promovendo a sua decomposição (Yada, 2014).

Esse processo de biodegradação ocorre naturalmente no meio ambiente, mas na ETE, ele ocorre de maneira concentrada, com maior eficiência e mais acelerada. Após a biodegradação, o esgoto é separado pelo processo de decantação em duas fases: líquida, que é denominada de efluente líquido, e a sólida, denominada lodo de esgoto. Esses tratamentos são necessários para adequar o lodo aos padrões de lançamento impostos pela legislação vigente, removendo ou reduzindo as concentrações de substâncias presentes no esgoto que poderiam causar impacto ao ambiente (Saito, 2007).

Em razão da grande quantidade de LE gerado, é importante identificar alternativas para utilização desse resíduo, com agregação de valor, maior benefício à sociedade e menor impacto ao ambiente. As opções atuais mais viáveis, sob os



aspectos ambientais, econômico, técnico e operacional, são o uso agrícola e a disposição em aterro sanitário ou industrial licenciado (Godoy, 2013; Sampaio, 2013). Outras alternativas de tratamento e disposição final adotadas no cenário mundial, como incineração (Xu et al., 2015), biomassa para geração de energia (Koga et al., 2007) e mistura para fabricação de materiais de construção (Okuno et al., 1997; Jordán et al., 2005; Matsumiya, 2012), são empregadas de forma incipiente no Brasil, principalmente em pesquisas.

## **2.2 Lodo de Esgoto na Agricultura**

Pela composição rica em matéria orgânica (MO), nitrogênio (N) e fósforo (P), o lodo de esgoto tem sido sugerido para a aplicação na agricultura como condicionador e fertilizante. Em geral, o lodo de esgoto pode fornecer nutrientes como o N às plantas em quantidades satisfatórias, além de outros elementos, como P, Ca, Mg, Zn e Cu (IPT/CETESB, 1983; Oliveira, 2000; Tsutyia, 2002; Galdos et al., 2004). Também possui considerável quantidade de matéria orgânica, podendo ser utilizado na recuperação de solos e de áreas degradadas (Navas et al., 1999; Bezerra et al., 2006; Tamanini et al., 2008). A MO além de fornecer nutrientes para a planta e para os organismos do solo também atua como condicionadora do solo, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas, que afetam positivamente o desenvolvimento das plantas (Melfi e Montes, 2001; Tsutiya, 2001).

Apesar das vantagens, o lodo de esgoto também pode conter metais pesados e outras substâncias inorgânicas e orgânicas poluentes, com potencial de causar impactos negativos ao ambiente e a populações humanas e animais eventualmente expostas, assim como agentes patogênicos. O CONAMA estabeleceu os limites legais para utilização do lodo de esgoto na agricultura, através da Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006, para que o resíduo seja usado com segurança. Entre os requisitos de qualidade do lodo, são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos (Brasil, 2006).

O lodo de esgoto tem apresentado bons resultados como fertilizante para diversas culturas, dentre elas soja e trigo (Brown et al., 1997), milho (Silva et al., 1997, Quintana et al., 2009), feijão e girassol (Deschamps e Favaretto, 1997), espécies florestais (Soares, 2003; Velasco-molina 2004) e cana-de-açúcar (Bertoncini, 2002; Oliveira et al., 2002) . Em virtude da baixa concentração de potássio (K) no LE, advinda de sua alta solubilidade em água, o elemento precisa ser suplementado com fertilizantes minerais, quando da utilização do LE para adubação (Ross et al., 1990; Melo et al., 1997), dependendo do teor de K no solo.

### **2.3 Indicadores Biológicos de Qualidade do solo**

O solo é um ambiente dinâmico, heterogêneo e rico em microrganismos que são essenciais para a manutenção e desenvolvimento do sistema solo-planta. A qualidade do solo é a capacidade deste em sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais, e manter a qualidade ambiental (Doran e Parkin, 1994). Os processos que ocorrem no solo são fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres. Os microrganismos são responsáveis por disponibilizar e reciclar, por meio da decomposição dos resíduos orgânicos, nutrientes para o desenvolvimento das plantas (Kandeler et al., 2007).

Os microrganismos do solo, por sua abundância e atividade bioquímica, também proporcionam respostas mais rápidas a mudanças ambientais e por isso têm sido utilizados como indicadores de qualidade do solo. A respiração e a atividade enzimática estão entre os principais indicadores (Araújo e Monteiro, 2007). As enzimas secretadas pelos microrganismos atuam na decomposição e mineralização dos compostos orgânicos do solo, liberando nutrientes para os vegetais (Ahn et al., 2009; Fansler et al., 2005).

Fatores como o manejo e propriedades do solo, temperatura, umidade, vegetação de cobertura e ações antrópicas, interferem diretamente na atividade biológica do solo. Alterações na atividade microbiana do solo podem ser determinadas por meio de análises do carbono orgânico do solo, da atividade

microbiana do solo por meio da biomassa; respiração basal; quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e atividade enzimática (Brookes, Siqueira e Moreira, 2007).

### **2.3.1 Atividade Biológica**

#### **Carbono Orgânico ( $C_{org}$ )**

Em áreas que não sofreram ação antrópica o carbono orgânico encontra-se estável, porém, quando esses solos são submetidos ao manejo intensivo sofrem perdas na sua qualidade e quantidade (Addiscot, 1992). Isso provoca a diminuição da proteção física da matéria orgânica do solo. Considerando que a quantidade de matéria orgânica no solo é determinada pelo balanço entre a adição de material orgânico e a taxa de decomposição, maiores adições de carbono ao solo aumentam os teores de MO, desde que, as perdas de carbono, proporcionadas pelo manejo do solo, sejam menores do que às quantidades adicionadas (Brown e Dickey, 1970; Sommerfeldt e Chang, 1985; Gonçalves e Ceretta, 1999).

Os autores Marchiori Júnior e Melo (1999) encontraram diferenças significativas para o  $C_{org}$  em diferentes sistemas. Os valores encontrados pelos autores variaram de 23,5 para 15,6  $g\ kg^{-1}$  na camada de 0-10 cm do solo. No entanto, os valores não diferiram significativamente entre os solos de mata nativa (23,5  $g\ kg^{-1}$ ) e os solos cultivados com pastagem por 20 anos (22,6  $g\ kg^{-1}$ ).

#### **Biomassa Microbiana do solo**

A biomassa microbiana do solo (BMS) ou carbono da biomassa microbiana (C-BMS) é definida, conceitualmente, como a parte viva da matéria orgânica do solo excluindo-se as raízes e animais maiores do que aproximadamente  $5 \times 10^3\ \mu m^3$  e, funcionalmente, atua como agente de transformação da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia. Contém, em média, de 2 a 5 % do C orgânico do solo (Jenkinson e Ladd, 1981; Wardle, 1992). A BMS é mais sensível as

mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica do solo do que a determinação de  $C_{org}$  (Jenkinson e Rayner, 1977; Powlson et al., 1987; De-polli e Guerra, 1997).

A BMS não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular. Os valores de C-BMS indicam o potencial de reserva de C no solo, que participa do processo de humificação. Portanto, quanto maior a biomassa microbiana, maior será a reserva de carbono do solo, o que expressa menor potencial de decomposição de matéria orgânica (Rodrigues, 1997).

Com o objetivo de avaliar os efeitos de plantios de *Acacia mangium*, localizados no Cerrado do Estado de Roraima, no  $C_{org}$  e C-BMS, Simões et al. (2010), observaram que o plantio em fileiras duplas proporcionou aumento da biomassa microbiana do solo em relação ao plantio homogêneo e ao Cerrado de referência, com valores variando de 322,3 a 191,6 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0-20 cm do solo. Souza et al. (2006) observaram que o C-BMS sofreu reduções de 80, 68, 56 e 38% para as áreas sob nabo, sorgo, milho e pastagem, respectivamente, em relação ao cerrado.

### **Respiração Basal do Solo (RBS)**

A respiração basal do solo (RBS) corresponde à soma total de todas as funções metabólicas nas quais do CO<sub>2</sub> é produzido e ocupa posição importante no ciclo do C nos ecossistemas. Os principais responsáveis pela maior liberação de CO<sub>2</sub> são as bactérias e os fungos, através da degradação da matéria orgânica (MO). A disponibilidade de C no solo tem sido descrita por Cattelan e Vidor (1990) como fonte contribuidora para o aumento da RBS.

A avaliação da RBS é uma técnica frequentemente empregada para quantificar a atividade microbiana (Alef e Nannipieri, 1995). Na medida em que determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos carbono é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração basal e uma fração significativa de carbono é incorporada à biomassa microbiana (Insam e

Domsch, 1988). O aumento na RBS pode ser o primeiro sinal de estresse. Durante um estresse há direcionamento de mais energia para a manutenção celular, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO<sub>2</sub> (Araújo e Monteiro, 2007).

Silva et al. (2007) encontraram repostas significativas nos valores de respiração basal do solo com relação aos sistemas de manejo e às épocas de amostragem. Observou-se que o solo sob plantio direto apresentou maior valor médio de RBS nas amostragem feita nas épocas de pré-plantio das culturas de cobertura do solo, no pré-plantio do feijoeiro e na floração do feijoeiro, sendo os valores respectivamente, 13,0, 5,6 e 2,2 mg C kg<sup>-1</sup> de solo dia<sup>-1</sup> para cada época.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2008) os autores observaram maior liberação de CO<sub>2</sub>, na profundidade de 0–10 cm, no cerrado nativo, cerca de 275,7 µg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, indicando maior atividade da microbiota, possivelmente estimulada pela constante deposição de substratos orgânicos e grande quantidade de raízes. Por sua vez, os menores valores de respiração basal ocorreram no cultivo convencional com milho (104,3 µg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>) e no cultivo convencional com eucalipto (114,4 µg g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>). Entretanto, segundo os autores essa variável não foi um indicador eficiente para refletir o efeito dos diferentes sistemas de manejo do solo.

### **Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)**

O quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>) é utilizado como sensível indicador de estresse quando a C-BMS é afetada, sendo obtido pela razão entre a RBS por unidade de C-BMS e tempo, muito importante no entendimento das transformações e perdas nos compartimentos orgânicos do solo (Silva et al., 2007). O qCO<sub>2</sub> prediz que a biomassa microbiana se torna mais eficiente a partir do momento que menos C é perdido na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração, possibilitando assim, maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos (Dionísio et al., 2016), assim, valores mais elevados de qCO<sub>2</sub> indicam maior consumo de C prontamente mineralizável, elevando a perdas de CO<sub>2</sub>, o que não é desejável (Tótola e Chaer, 2002).

Menores valores de  $qCO_2$  indicam biomassa eficiente, que se encontra num ambiente equilibrado, podendo estar relacionados com áreas de maior diversidade vegetal (Anderson, 2003). A biomassa microbiana “eficiente” tem menor taxa de respiração basal em relação à biomassa microbiana “ineficiente” (Wardle, 1994). Assim, a respiração basal e o quociente metabólico associados ao carbono da biomassa constituem um bom indicador da funcionalidade do sistema, portanto um bom indicador da qualidade do solo (Carvalho, 2005).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) indicou que a biomassa microbiana foi menos eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando mais C na forma de  $CO_2$  e incorporando menos C aos tecidos microbianos, nos sistemas caracterizados por manejo mais intensivo do solo, em trabalho desenvolvido por Silva et al. (2008) em Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, sob Cerrado nativo e diferentes sistemas de manejo, na região Campos das Vertentes (MG).

### **2.3.2 Atividade Enzimática**

#### **Protease**

Estima-se que cerca de 40% do N total do solo é material oriundo de proteínas, glicoproteínas, peptídeos e aminoácidos. As proteases são enzimas que catalisam a hidrólise de proteínas, liberando no estágio final de hidrólise, uma mistura de aminoácidos. Os aminoácidos liberados são passíveis de sofrer desaminação, liberando o nitrogênio na forma amoniacal (Peixoto, 2010). Assim, a hidrólise das proteínas constitui o primeiro passo na mineralização do nitrogênio protéico que chega ao solo através da incorporação dos restos culturais, fertilizantes orgânicos ou pela morte de organismos.

O comportamento da microbiota do solo depende da qualidade da e da quantidade dos resíduos que são adicionados ao mesmo (Silva, 2009), e a atividade de enzimas como a protease tem sido citadas como sensíveis indicadores de mudanças no solo induzidas pelo manejo, devido a forte relação com a MO do solo (Tejada et al., 2006).

Em estudo realizado por Alves et al. (2010), os autores observaram que a aplicação de doses crescentes de bio sólidos em dois tipos de solos aumentou a bioatividade das proteases, tendo maior incremento com as doses situadas entre 10 e 15 t ha<sup>-1</sup> declinando sensivelmente nas doses maiores. Zago et al. (2016) encontraram resposta da protease ao tipo de manejo, tipo de cultura implantada no solo e sazonalidade, sendo os maiores valores de atividade da enzima encontrados em áreas de mata mesófila e área de cana-de-açúcar sob cultivo orgânico adubado com torta de filtro e vinhaça diluída, em estudo realizados em municípios do Estado de Goiás.

Avaliando os efeitos da lotação de ovinos (LO) a atividade proteolítica, Garcia e Nahas (2007) determinaram que a atividade enzimática variou de 922,1 a 3.075,64 µg g<sup>-1</sup> de tirosina no solo seco, havendo diminuição significativa da atividade proteolítica na seguinte ordem: pastos com baixa LO > controle > pastos com alta LO, concluindo assim que, pastos com baixa lotação de ovinos propiciaram na atividade enzimática do solo.

## **Desidrogenase**

As desidrogenases são enzimas que catalisam a oxidação de substratos orgânicos pela remoção de elétrons e hidrogênios, os quais são recebidos por uma coenzima como NAD<sup>+</sup> ou FAD<sup>+</sup> (Melo et al., 2010). A atividade das desidrogenases no solo reflete a atividade oxidativa total da microbiota, e como são enzimas endocelulares, estão presentes somente em células viáveis sendo de baixa atividade quando em estado livre no solo, assim, podem atuar como um bom indicador da atividade biológica (Costa, 1997). Desse modo, as desidrogenases têm sido consideradas um indicador sensível da atividade biológica em resposta às mudanças impostas pelo uso e manejo do solo (Ceccanti et al., 1994; Roldán et al., 2005).

Estudando a atividade da desidrogenase em resposta a aplicação de adubo orgânico durante 16 anos, Chu et al. (2007) constataram que essa fertilização aumentou a atividade de desidrogenase. Omidí et al. (2008) observaram que a atividade da desidrogenase aumentou sob práticas conservacionistas do solo e, por

detectar efeitos para além da camada superficial do solo, foi apontada como bom indicador de qualidade do solo.

Araújo et al. (2009) estudaram em condições de casa de vegetação, o efeito de doses de lodo de esgoto e constataram que o aumento da atividade da desidrogenase no solo apresentou correlação significativa com o aumento das doses de lodo aplicadas ao solo, concluindo que as doses de lodo avaliadas estimulam a atividade enzimática no solo.

## **Celulase**

A celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose em unidades de celobiose, que é um dissacarídeo formado por unidades de glicose em ligação glicosídica  $\beta$  1,4. A celobiose é posteriormente hidrolisada pela  $\beta$ -glicosidase, de tal modo que a hidrólise total da celulose resulta em muitas moléculas de glicose (Pancholy e Rice, 1973; Peixoto, 2010).

O LE no solo atua como fonte de energia para o desenvolvimento dos microrganismos. Através deste estímulo, a atividade da celulase é aumentada e a degradação dos carboidratos fornece o substrato prontamente disponível. As celulases estão envolvidas na ciclagem do C pela decomposição e liberação de fonte de energia como a glicose (Deng e Tabatabai, 1996). Bilgo et al. (2007) após cinco anos de experimentos, encontraram alta atividade de celulase nas parcelas que passaram por pousio do que naquelas cultivadas em estudo na África, o que atribuiu à sensibilidade da enzima ao manejo do solo.

Cordeiro et al. (2012) encontraram resposta positiva para atividade da celulase. Segundo os autores a atividade enzimática no solo rizosférico foi consideravelmente maior (85 %) do que no solo não rizosférico, sendo que no primeiro a cultura do milho promoveu maior atividade enzimática ( $334 \mu\text{g glicose g}^{-1}$  solo  $24 \text{ h}^{-1}$ ), maior resultado encontrado entre as culturas estudadas pelos autores.



## 2.4 Nitrogênio

Cerca de 78,3% do nitrogênio está presente na atmosfera, na forma molecular  $N_2$ , sendo esta, o maior reservatório desse nutriente. O N é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais, sendo assim considerado um macronutriente, e faz parte de várias estruturas nas plantas superiores, como constituinte de aminoácidos, estimula a formação e desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, promove maior vegetação e perfilhamento e aumenta o teor de proteína (Novais et al., 2007), entre outras propriedades.

É absorvido via solo pelas plantas como cátion ( $NH_4^+$ ) ou ânion ( $NO_3^-$ ), sendo a segunda mais abundante (Epstein e Bloom, 2004), estando sujeito a diversas reações no solo (Malavolta, 2006). Conseqüentemente, ele é o elemento com maior número de pesquisas no que se refere à nutrição de plantas, bem como à dinâmica no solo, com ênfase para as perdas das formas nitrogenadas iônicas (Hansen et al., 2000; Mantovani et al., 2007).

Calcula-se que a eficiência de seu uso em cereais, no mundo, seja de apenas 33% (Raun e Johnson, 1999) e que o seu custo é o mais elevado dentre os nutrientes utilizados na adubação. Neste sentido, fontes alternativas, como os adubos orgânicos, são apontadas como formas de minimizar as perdas de nitrogênio e o custo com o fertilizante químico. Isto porque, os adubos orgânicos disponibilizam os nutrientes gradativamente, à medida que são mineralizados. Nessa questão o lodo de esgoto apresenta-se como uma alternativa.

## 2.5 Nitrogênio no Solo

No solo, o N pode estar presente na forma inorgânica ou orgânica, sendo esta última não assimilada pelas plantas e representa cerca de 98% do N total do solo (Raij, 1991). Assim, para que o nutriente seja absorvido ele deve passar por um processo de mineralização (Carvalho e Zobot, 2012). Dessa forma, com a atuação de fungos e bactérias heterótrofos presentes no solo, compostos orgânicos ligados a MO como proteínas, aminoácidos e outros são hidrolisados, originando amônio

( $\text{NH}_4^+$ ). Esse processo de quebra e liberação de N proteico é chamado aminização, e a transformação de N proteico em  $\text{NH}_4^+$  é denominado amonificação.

O nitrogênio produzido na forma de  $\text{NH}_4^+$  pode ser perdido por volatilização, ser imobilizado a partir da absorção pelas plantas, da utilização pelos microrganismos em processos metabólicos ou pela adsorção nos coloides ou na MO do solo. Pode ser transformado em  $\text{NO}_3^-$  (Camargo et al., 2008). Essa transformação se dá pelo processo de nitrificação que ocorre por ação de bactérias autotróficas dos gêneros *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, que usam o nitrogênio mineral e carbono inorgânico ( $\text{CO}_2$ ) como forma de energia (Usepa, 2009). Sendo assim, o  $\text{NH}_4^+$  é oxidado a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e posteriormente a  $\text{NO}_3^-$ , conforme condições aeróbicas do meio, e assim disponibilizado às plantas (Townsend, 2011).

O  $\text{NO}_3^-$  é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos e, devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável dos solos tropicais, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece a sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (Ceretta e Fries, 1997), sendo esta, no geral, a principal forma de perda do nitrogênio no solo (Ward et al., 2007). A movimentação descendente do nitrato não é desejável abaixo da zona das raízes, pois, além dele não ser absorvido pelas plantas, pode contaminar as águas subterrâneas (Broussard e Turner, 2009).

## 2.6 Disponibilidade de Nitrogênio no Solo com Uso do Lodo de Esgoto

A fixação industrial (Haber-Bosch) e a fixação biológica de nitrogênio FBN possuem maior potencial de fornecimento de N no sistema solo-planta, sendo a primeira um processo com custos elevados para produção de fertilizantes nitrogenados e a FBN contribui de 139 e 170 milhões de toneladas de N por ano (Prado, 2008). Por ser o N um elemento requerido em grandes quantidades pela planta, a adição do nutriente ao solo dá-se em grandes proporções o que aumenta o custo de produção em áreas agrícolas e a possibilidade de perda do nutriente no

ambiente. Assim, a utilização de resíduos orgânicos em áreas agricultáveis se torna indispensável.

Na agricultura, a aplicação de lodos de esgoto tem sido sugerida como uma saída que mais apresenta benefícios do que prejuízos ao ambiente. Isso porque, ao mesmo tempo em que se dar um destino correto a um passivo ambiental, adiciona-se ao solo um material que pode melhorar seus atributos químicos, físicos e bioquímicos (Gu et al., 2013; Singh e Agrawal, 2008), ao promover junto ao sistema solo-planta a reciclagem de energia e de nutrientes. Em consequência de sua riqueza em nutrientes, principalmente N, o lodo de esgoto tem sido utilizado em muitos países como fertilizante (Binder et al., 2002).

Dependendo da sua origem e da qualidade do tratamento empregado ao LE, a disponibilidade de nitrogênio pode variar entre 0% a 11% (Stephenson, 1955, Serna e Pomares, 1992, Boeira et al., 2002). Considerando que 50–90% do conteúdo de nitrogênio total presente no LE está na forma orgânica, principalmente proteínas e aminoácidos (Andrade, 2004), o conhecimento dos principais processos envolvidos nas transformações desse nutriente no solo é de grande importância. Assim, não somente a concentração de N presente no lodo determina o fornecimento do nutriente para as culturas, sendo necessário conhecimento relacionado à degradação microbiológica do N orgânico do resíduo a fim de prever seu comportamento no solo e, com isso, a definição de parâmetros úteis ao estabelecimento das doses máximas a serem aplicadas aos solos, em função do N disponibilizado às plantas (Boeira et al., 2002).

A Resolução CONAMA 375/2006 estabelece que as doses de LE devem atender as necessidade de N das plantas, porém, em quantidade que não gere excesso de  $\text{NO}_3^-$ . Tsutiya (2001) alerta que quantidades acima de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de LE podem ser inadequadas, principalmente ao admitir o potencial de acumulação após repetidas aplicações. Luczkiewicz (2006) constatou que compostos nitrogenados como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , como também alguns elementos traço (níquel e cádmio) provenientes do LE podem ser lixiviados e atingir profundidades superiores a 0,8 m do solo, podendo a vir contaminar águas subterrâneas.

Aplicações sucessivas do LE permitem aumentar o teor de N potencialmente mineralizável, incrementando significativamente a disponibilidade do nutriente no solo, e proporcionando maior eficiência na disponibilidade de N em longo prazo (Pires et al., 2015). Boeira e Maximiliano (2009) sugerem que há efeito das aplicações anteriores sobre o potencial de mineralização do nitrogênio, e recomendam cuidado ao considerar o efeito residual dessas aplicações.

### **3. HIPÓTESES E OBJETIVOS**

#### **3.1 Hipóteses**

Por se tratar de um resíduo que promove incremento na matéria orgânica do solo e devido a sua riqueza em nutrientes como o nitrogênio, supõe-se que, ao ser aplicado durante 21 anos em áreas agrícolas o lodo de esgoto:

- Melhore a qualidade do solo pela influencia na atividade biológica e intensificação enzimática.
- Influencie nos teores de nitrogênio no solo, o que conseqüentemente disponibiliza quantidades satisfatórias de nitrogênio para a nutrição adequada da cultura do milho, causando incremento nos teores do nutriente na folha diagnose.

#### **3.2 Objetivo Geral**

O objetivo com esse estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto (LE) sobre a atividade enzimática e biológica na profundidade de 0,00 – 0,10 m em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) no 21º ano de aplicação, e também N total na folha diagnose do milho.

### 3.3 Objetivos Específicos

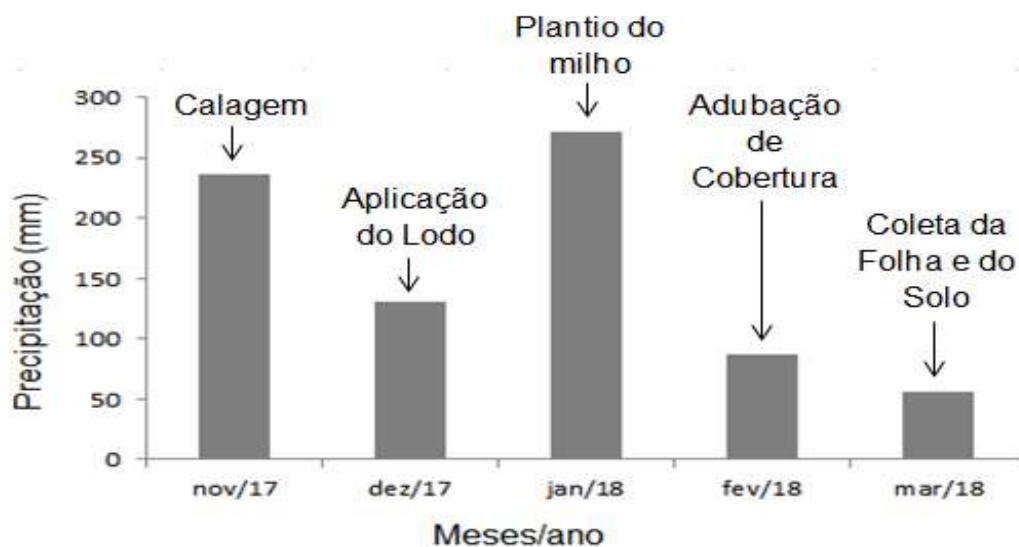
- Determinar a atividade das enzimas protease, desidrogenase e celulase na camada superficial (0,00 – 0,10 m) dos solos LVef e LVd no 21° ano de tratamento com lodo de esgoto;
- Estimar do solo: carbono orgânico ( $C_{org}$ ), carbono na biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) na camada de 0,00 – 0,10 m dos solos LVef e LVd no 21° ano de tratamento com lodo de esgoto;
- Determinar os teores de N total, amônio e nitrato, na camada de 0,00 – 0,10 m dos solos LVef e LVd no 21° ano de tratamento com lodo de esgoto;
- Determinar o teor de N total na folha diagnose do milho no 21° ano de tratamento com doses de LE.

## 4. MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Localização do Experimento

O experimento foi inicialmente instalado, em campo, em novembro de 1997, e vem sendo conduzido em duas áreas na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Campus de Jaboticabal – SP, localizado a 550 m acima do nível do mar, nas coordenadas geográficas 20°10'46,81” S e 48°17'07,85” W. O solo de textura muito argilosa é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e o outro solo de textura média é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006). O material geológico de formação dos solos é o basalto do Grupo São Bento, formação Serra Geral (IPT, 1983).

O Clima é classificado como subtropical, segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), com chuvas de verão e inverno relativamente seco (Aw), temperatura média de 22,3° e médias anuais de 1.423,9 mm de precipitação pluviométrica. A precipitação durante o período do experimento de novembro a março no ano agrícola 2017/2018 foi de 779,9 mm e encontra-se detalhada na Figura 1 assim como também, as atividades realizadas em cada mês.



**Figura 1.** Precipitação durante o período de novembro de 2017 a março de 2018. Fazenda Experimental FCAV, UNESP, Jaboticabal/SP.

#### 4.2 Histórico do Experimento

Durante os 21 anos de experimento, as áreas estudadas vêm recebendo anualmente doses de lodo de esgoto, adotando-se no início do experimento os tratamentos: Controle (sem aplicação do lodo de esgoto); 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>; 5 Mg ha<sup>-1</sup> e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em base seca. Devido à falta de resposta da dose 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> em relação as demais, esta dose foi substituída para uma dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> no ano agrícola 2000/2001. As áreas já foram cultivadas com girassol, crotalária e milho, e já recebeu LE advindo de Estações de Tratamentos de Esgoto (ETEs) das cidades de Barueri, Franca e Monte Alto no Estado de São Paulo. Na Tabela 1 estão descritos as culturas utilizadas e os tratamentos, como também as estações de Tratamento de Esgoto de onde originou o lodo de esgoto em todos os anos de experimento.

**Tabela 1.** Histórico da área experimental.

Ano Agrícola	Doses de LE <sup>1</sup> (ha <sup>-1</sup> )				Cultura	Origem do Lodo
	T1	T2	T3	T4		
1997/1998	0	2,5	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
1998/1999	0	2,5	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
1999/2000	0	2,5	5,0	10,0	Girassol	Barueri/SP
2000/2001	0	20,0	5,0	10,0	Crotalária	Barueri/SP
2001/2002	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2002/2003	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2003/2004	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2004/2005	0	20,0	5,0	10,0	Girassol	Barueri/SP
2005/2006	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Franca/SP
2006/2007	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Franca/SP
2007/2008	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2008/2009	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2009/2010	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Barueri/SP
2010/2011	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2011/2012	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2012/2013	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2013/2014	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2014/2015	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Franca/SP
2015/2016	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2016/2017	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP
2017/2018	0	20,0	5,0	10,0	Milho	Monte Alto/SP

<sup>1</sup> Lodo de esgoto na base seca.

### 4.3 Instalação e Condução do Experimento no 21° Ano (2017/18)

Antes da instalação do experimento em campo, foi realizada a amostragem do solo para análise química da fertilidade (Tabela 2), coletando 10 amostras simples em cada parcela para formação da amostra composta. A calagem foi feita cerca de 60 dias antes da semeadura, com calcário a PRNT 67%, objetivando elevar a saturação por base do solo a 70%. O lodo de esgoto foi advindo da ETE de Monte



Alto (SP), com umidade  $0,46 \text{ g g}^{-1}$ , contendo  $42,9 \text{ g kg}^{-1}$  de N e  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$  de K, e foi incorporado com grade, ao solo, 45 dias após a calagem.

**Tabela 2.** Fertilidade do LVef e LVd antes da aplicação do Lodo de esgoto no 21º ano de experimento.

TRATAMENTO	pH	MO	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al	Soma Bases	CTC	Sat. Bases
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-- mg dm <sup>-3</sup> ---	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								V%
<b>LVef</b>												
T0	5,0	25,5	31,2	53,6	27,4	11,9	1,8	1,3	32,0	41,2	73,2	55,3
T5	5,2	20,6	28,9	11,9	36,5	15,1	1,5	0,2	24,4	53,1	77,5	68,4
T10	5,0	24,7	41,2	15,4	37,6	15,9	2,2	0,6	30,5	55,8	86,4	64,2
T20	4,8	27,6	83,5	24,4	24,6	10,5	2,5	0,8	35,6	37,6	73,3	50,7
<b>LVd</b>												
T0	4,9	20,3	37,1	13,6	24,8	9,2	1,5	0,6	25,4	35,6	61,0	58,3
T5	5,0	21,7	36,2	5,2	29,6	11,0	1,6	0,3	23,1	42,3	65,5	64,7
T10	5,0	26,8	74,3	5,9	27,0	11,9	1,5	0,7	27,8	40,4	68,2	59,0
T20	4,8	22,9	93,9	10,9	23,5	10,4	1,3	1,0	34,8	35,2	70,1	48,8

A cultura estudada foi o milho (*Zea mays* L.), cuja semeadura foi mecanizada na profundidade de 0,05 m, utilizando espaçamento de 0,9 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. O ensaio foi disposto em delineamento de blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais com dimensões 6m x 10m, total 60m<sup>2</sup> e uma área útil de 32 m<sup>2</sup> em cada parcela. Os tratamentos foram escolhidos visando à necessidade nutricional de N da cultura, sendo 50%, 100% e 200% da necessidade de nitrogênio. Assim, as doses de lodo de esgoto aplicadas em cada tratamento foram 0, 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>. O tratamento controle (0 Mg ha<sup>-1</sup>) seguiu a fertilização mineral NPK na semeadura, tanto no LVef como no LVd, de acordo com a necessidade da cultura e recomendação do Boletim 100 (Raij et al., 1997), como descrito na Tabela 3.

**Tabela 3.** Doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicada aos tratamentos, no vigésimo primeiro ano de aplicação de lodo de esgoto em LVef e LVd.

<b>Nutrientes</b>	0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	10 (Mg ha <sup>-1</sup> )	20 (Mg ha <sup>-1</sup> )
<b>LVef</b>				
<b>Adubação de Semeadura kg ha<sup>-1</sup></b>				
N	30	----	----	----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	70	----	----	----
K <sub>2</sub> O	50	40	50	50
<b>Adubação de Cobertura kg ha<sup>-1</sup></b>				
N	140	----	----	----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	----	----	----	----
K <sub>2</sub> O	40	80	40	40
<b>Nutrientes</b>	0 (Mg ha <sup>-1</sup> )	5 (Mg ha <sup>-1</sup> )	10 (Mg ha <sup>-1</sup> )	20 (Mg ha <sup>-1</sup> )
<b>LVd</b>				
<b>Adubação de Semeadura kg ha<sup>-1</sup></b>				
N	30	----	----	----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	70	----	----	----
K <sub>2</sub> O	50	40	50	50
<b>Adubação de Cobertura kg ha<sup>-1</sup></b>				
N	140	----	----	----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	----	----	----	----
K <sub>2</sub> O	40	40	80	80

N= sulfato de amônio (20% N), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e K= cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O). LVef= Latossolo Vermelho eutrófico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

Tanto a adubação de semeadura quanto a de cobertura foram aplicadas em dose única. Nos tratamentos que receberam as doses de lodo de esgoto e não atingiram necessidade nutricional de K foi suplementado com cloreto de potássio (KCl) até a dose ser atingida (Raj et al., 1997). Nas Tabelas 4 e 5 está descrito a quantidade de N e K fornecidas pelo lodo de esgoto, assim como a suplementação com KCl na semeadura e a adubação mineral de cobertura.

**Tabela 4.** Quantidade de N e K fornecidas pelo lodo de esgoto e adubação complementar com KCl, em sementeira, no LVef e LVd no 21º ano de experimento.

Quantidade de N e K Fornecida pelo LE na Sementeira		
LVef e LVd		
Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> )	N ----- kg ha <sup>-1</sup> -----	K
0	-	-
5	214,44	15,00
10	428,88	30,00
20	857,75	60,00
Adubação Complementar com KCl (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	-	-
5	-	43,1
10	-	34,5
20	-	-

LE= Lodo de esgoto na base seca. K= cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O). LVef= Latossolo Vermelho eutroférico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

**Tabela 5.** Quantidade de N e K fornecidas em cobertura, para atender a necessidade da cultura, no LVef e LVd no 21º ano de experimento.

Adubação de Cobertura		
Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> )	N -----kg ha <sup>-1</sup> -----	K
LVef		
0	700,00	68,95
5	-	137,9
10	-	68,97
20	-	68,97
LVd		
0	700,00	68,97
5	-	68,97
10	-	137,9
20	-	137,93

N= sulfato de amônio (20% N) e K= cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O). LVef= Latossolo Vermelho eutroférico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

Cerca de 60 dias após a sementeira foi feita coleta da folha diagnose e de solo para análise das variáveis. Foram coletadas 12 folhas da linha 2 e 5, sendo a folha abaixo e oposta à primeira espiga (Malavolta et al., 1997). Com o auxílio do trado tipo holandês, foram coletadas 5 amostras simples de solo nas entrelinhas de cada parcela a cerca de 5 cm de distância da planta, na profundidade 0,0 – 0,10 m,

camada de maior atividade microbiológica (Campbell,1982; Correa et al., 2009), e a partir das amostras simples foi feita a amostra composta.

No laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Tecnologia (UNESP/FCAV – Jaboticabal) o solo coletado foi seco e peneirado em peneira de 2 mm para a obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar). Anteriormente uma subamostra foi retirada da amostra composta de 0,0 – 0,10 m e acondicionada em freezer para determinação da atividade enzimática da protease. As folhas diagnose foram lavadas numa solução de ácido clorídrico (HCl) a 0,3% e depois em água deionizada, e secas na estufa de circulação forçada de ar á 65°. Depois de secas, as folhas foram trituradas em moinho de facas e retiradas subamostras para determinação de N total.

#### **4.4 Análises Laboratoriais**

##### **4.4.1 Protease**

Para atividade da protease, adicionou-se solução tampão Tris (pH 8,0) e caseína como substrato em 1g de solo que, posteriormente, foi incubado a 50 °C sob agitação por 2 h, segundo a metodologia proposta por Alef e Nanipieri (1995).

##### **4.4.2 Celulase**

Para a avaliação da atividade da celulase (Pancholy e Rice,1973) as amostras de solo foram incubadas por 24 h a 30 °C com o substrato de carboximetilcelulose a 1 % e solução tampão acetato fosfato. Para cada amostra fez-se um controle, ao qual não adicionou-se o substrato. No final da incubação retirou-se 1 mL do filtrado para tubos de ensaio e adicionou-se o reativo de cobre. Os tubos foram vedados com esferas de vidro e incubados em banho-maria, a 100 °C. Foi feita leitura da absorbância em espectrofotômetro.

#### **4.4.3 Desidrogenase**

A desidrogenase foi determinada por método proposto por Alef e Nannipieri (1995). O método consiste em incubar amostra de solo com cloridrato de trifeniltetrazólio (TTC) a 30 °C por 24 horas, avaliando-se, após o período de incubação, a quantidade de trifenilformazan (TPF) por espectrofotometria.

#### **4.4.4 Carbono Orgânico (C<sub>org</sub>)**

O teor de C orgânico foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado (Raij, 2001). A oxidação do carbono da amostra de solo é feita com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a titulação é feita com sulfato ferroso amoniacal 0,4 mol L<sup>-1</sup> e, no cálculo, usa-se o fator de correção 1,33 para compensar a oxidação parcial.

#### **4.4.5 Carbono na Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)**

O C-BMS foi avaliado pelo método proposto por Mendonça e Matos (2005) o qual consiste no uso de energia eletromagnética (micro-ondas), causando efeito na transferência de energia e temperatura, levando ao rompimento celular com liberação dos compostos intracelulares. Para cada amostra, foram usadas duas subamostras, uma fumigada e outra não-fumigada. As subamostras fumigadas foram irradiadas em forno micro-ondas da marca LG durante 13 minutos com potência de 700 W. Nas subamostras irradiadas e não irradiadas determinou-se o teor de C orgânico pelo método de Walkley & Black modificado (EMBRAPA, 1997).

#### **4.4.6 Respiração Basal (RBS)**

A estimativa da atividade respiratória foi determinada segundo Alef e Nannipieri (1995). O método consiste em incubar as amostras de solo por 3 dias a 25° C. As amostras de solo foram acondicionados no fundo de um frasco hermético fechado, contendo solução de NaOH (0,05 mol L<sup>-1</sup>).

#### **4.4.7 Quociente Metabólico ( $qCO_2$ )**

O cálculo do  $qCO_2$  foi feito com base em Anderson e Domsch (1993), que consiste na razão entre a respiração basal e o C-BMS.

#### **4.4.8 Nitrogênio Total, Amônio e Nitrato no Solo**

A determinação do teor de nitrogênio total do solo deu-se pelo método de N-Kjeldahl, segundo metodologia de Melo (1974).

Os teores de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  foram determinados por extração com KCl  $1\text{ mol L}^{-1}$ , metodologia descrita em Bremner e Keeney (1965) e modificada por Raij (2001). Desse extrato, utilizaram-se 20 ml para destilação em meio alcalino com óxido de magnésio e o volume recolhido após a destilação, cerca de 30 ml do destilado foi titulado em meio ácido para determinação do teor de  $NH_4^+$ . Ao volume restante ainda existente no balão de destilação, adicionou-se liga de Devarda. O volume coletado após a destilação foi titulado em meio ácido e determinou-se o teor de  $NO_3^-$ .

#### **4.4.9 Nitrogênio Total na Folha Diagnose**

O método utilizado foi o de micro Kjeldahl, descrito por Sarruge e Haag (1974).

### **4.5 Análises Estatísticas**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando observado resultado significativo, aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo software AgroEstat® (Barbosa e Maldonado Júnior, 2010).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Atividade Enzimática

A atividade da enzima protease, nos dois solos estudados, foi influenciada pelas doses de LE (Tabela 6).

**Tabela 6.** Atividade enzimática nos solos LVef e LVd na profundidade de 0,0 – 0,10 m no 21º ano de tratamento com LE.

Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> )	Protease (mg Tirosina/kg <sup>-1</sup> TFSE h <sup>-1</sup> )	Celulase (mg de glicose kg <sup>-1</sup> TFSE h <sup>-1</sup> )	Desidrogenase (µg TPF g <sup>-1</sup> 24h <sup>-1</sup> )
<b>LVef</b>			
0	1,33 d	5,50 a	153,99 a
5	2,21 c	6,17 a	127,52 a
10	3,00 b	4,22 a	140,06 a
20	4,98 a	4,73 a	138,81 a
CV(%)	11,32	23,78	13,56
<b>LVd</b>			
0	1,21 d	6,31 a	55,41 b
5	1,92 c	4,95 a	88,06 b
10	12,95 b	6,83 a	129,08 a
20	4,55 a	4,85 a	124,61 a
CV (%)	11,95	19,76	18,90

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. LE= lodo de esgoto base seca. LVEf= Latossolo Vermelho eutroférico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

É possível observar que a atividade da enzima aumentou em função do aumento das doses de LE. Esse resultado é satisfatório considerando que as propriedades do LE melhoram a qualidade biológica do solo por meio da matéria orgânica e dos nutrientes presentes em sua composição (Annabi et al., 2011; Roig et al., 2012).

No LVef os valores da atividade enzimática das proteases variaram de 1,33, no tratamento controle, a 4,98 mg de Tirosina/kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup> na dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> no LVd eles variaram de 1,21 a 4,55 mg de Tirosina/kg<sup>-1</sup> TFSE h<sup>-1</sup>, no controle a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse aumento na atividade da enzima, possivelmente ocorreu devido à função da protease de hidrolisar compostos orgânicos intensificando a sua atividade com o aumento da disponibilidade de

substrato proteico por meio da MO advinda do LE (Kandeler et al., 1999; Frade Júnior, 2007).

Ao longo desses 21 anos de experimento o LE tem desempenhado um papel importante na microbiota dos solos. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira (2008) no 8º ano de experimento com doses de LE nas mesmas áreas LVef e LVd, onde o objetivo foi estudar os efeitos da adição de lodo de esgoto na atividade enzimática nos dois Latossolos cultivados com milho. O autor observou que a atividade da protease no LVef e LVd foi crescente a partir do controle, tendo no segundo solo um leve decréscimo no tratamento  $127,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , na camada de 0 – 0,20 m do solo. Em contrapartida, na camada de 0,20 – 0,40 m a atividade da enzima foi reduzida.

Resultados semelhantes também foram observados por outros autores: Lavezzo et al. (2016) encontraram respostas significativas da atividade proteolítica com a dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  no 18º ano de experimento no LVef e Silva et al. (2009) encontraram maior atividade da enzima com a dose de LE advindo da unidade de tratamento de Franca (SP), utilizando a dose duas vezes do recomendado para N na cultura do milho AG4051, em experimento conduzido em Latossolo Vermelho distroférico na Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP).

A atividade da celulase não foi influenciada pelas doses de LE (Tabela 6). A celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose em unidades de celobiose, resultando, no final da hidrólise, em muitas moléculas de glicose (Peixoto, 2010). Assim, esse resultado pode ser atribuído, possivelmente, ao baixo teor de celulose no resíduo, que pode ter sido digerido durante o tratamento do esgoto na ETE. Resultados semelhantes foram obtidos por Yada et al. (2015) no 17º ano de experimento tanto no LVef quanto no LVd.

O LE influenciou na atividade da desidrogenase apenas no LVd. Os maiores valores foram nos tratamentos com as doses  $10$  e  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $129,08$  e  $124,61 \mu\text{g TPF g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ , respectivamente.

A atividade das desidrogenases no solo reflete a atividade oxidativa total da microbiota. Essas enzimas podem ser estimuladas pela adição de resíduos orgânicos ao solo ou por contaminantes presentes no resíduo. Em solos



contaminados a atividade da microbiota pode ser maior em decorrência do maior consumo energético para garantir a sobrevivência (Fraser et al., 1988).

## 5.2 Atributos Biológicos

Os valores de  $C_{org}$  variaram de 9,40 a 12,62 g kg<sup>-1</sup> no LVef e de 7,06 a 12,71 g kg<sup>-1</sup> no LVd, sendo que no primeiro, o tratamento com 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE proporcionou teores maiores, e no segundo não houve diferença entre as duas maiores doses de LE (Tabela 7).

**Tabela 7.** Carbono orgânico ( $C_{org}$ ), carbono na biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) na profundidade de 0,0 – 0,10 m, em um LVef e LVd submetido a tratamento com doses LE no 21º ano.

Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> )	C <sub>org</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	C-BMS (mg kg <sup>-1</sup> C)	Resp. Basal (mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup> )	qCO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> mg C-BMS h <sup>-1</sup> )
<b>LVef</b>				
0	9,40 c	352,92 a	4,67 c	0,01 b
5	10,52 b	283,59 a	4,71 c	0,02 a
10	11,15 b	345,47 a	5,48 b	0,02 a
20	12,62 a	336,87 a	7,02 a	0,02 a
CV (%)	4,28	17,57	3,60	17,30
<b>LVd</b>				
0	7,06 c	391,88 b	6,24 c	0,01 b
5	9,80 b	285,31 c	6,70 bc	0,02 a
10	11,73 a	488,13 a	7,26 ab	0,01 b
20	12,71 a	464,06 a	7,68 a	0,01 b
CV (%)	8,54	9,13	7,07	11,78

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. LE= lodo de esgoto base seca. LVef= Latossolo Vermelho eutrófico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

No 13º ano de experimento no LVef, Silva (2012) encontrou teores de C orgânico variando de 17,5 a 21,4 g kg<sup>-1</sup>. Em estudo realizado por Marchiori Júnior e Melo (1999) verificaram as alterações nos teores de  $C_{org}$ , em um solo de alta fertilidade natural mantido sob pastagem por 20 anos, pastagem por 25 anos e algodão por 10 anos, em relação ao mesmo solo sob mata natural. Os autores observaram que o teor de  $C_{org}$  foi afetado de modo significativo pelo tipo de uso de solo e pela profundidade de amostragem com valores de 22,6, 19,2, 15,6 e 23,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, na camada de 0-10 cm. Souza et al. (2006) observaram

reduções no  $C_{org}$ , em relação ao cerrado, de 4%, 14%, 14% e 25% para as áreas cultivadas com nabo forrageiro, milheto, sorgo e pastagem, respectivamente.

Os valores de C-BMS no LVef não variaram com as doses de LE (Tabela 7). Sullivan et al. (2006) ao avaliarem o efeito de doses de LE na biomassa microbiana do solo, também não observaram alterações, atribuindo os resultados a uma rápida adaptação da microbiota do solo. Considerando que a área deste trabalho já possui 21 anos de aplicações sucessivas de LE a população microbiana pode estar adaptada à presença do LE acarretando menores flutuações na biomassa para alcançar um novo equilíbrio.

Albiach et al. (2001) estudaram o efeito da aplicação de doses de LE durante 10 anos e também não encontraram diferenças entre os tratamentos. Resultados semelhantes a este também foram encontrados por Silva (2012) no 13º ano de aplicações das doses de LE no LVef e por Yada (2014) no 16º ano de experimento.

Entretanto, no LVd os resultados aumentaram com as doses de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  e não diferiu na de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Semelhantemente, Lopes (2001) encontrou um aumento inicial no C da biomassa de solos com a maior quantidade de resíduos orgânicos adicionada, atribuindo isso ao incremento no conteúdo de matéria orgânica e nutrientes no solo, o que favorece o crescimento microbiano. Esses resultados também corroboram com Quadros et al. (2011) que, visando avaliar as mudanças microbiológicas ocorrentes em um Argissolo Vermelho-Amarelo após a aplicação de dejetos suíno e calcário, os autores constataram que o C-BMS aumentou pela aplicação de dejetos suínos até as doses 12 e de  $18 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Possivelmente, o aumento no  $C_{org}$  pelas duas maiores doses de LE influenciou na biomassa microbiana neste trabalho. Santos et al. (2011) encontraram aumentos na biomassa microbiana após a aplicação de doses crescentes de resíduos industriais em virtude da disponibilidade de substratos orgânicos e nutrientes. Em experimento realizado por Trannin et al. (2007), após dois anos consecutivos da aplicação de LE no cultivo de milho, foram constatadas alterações na matéria orgânica do solo e aumento na biomassa microbiana.

A RBS em ambos os solos foi influenciada pelas maiores doses de LE, atingindo 7,02 e 7,68 mg de C-CO<sub>2</sub>/kg<sup>-1</sup> solo/ hora<sup>-1</sup> com a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, no LVef e LVd, respectivamente (Tabela 7).

Esse resultado demonstra que a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionou menor eficiência à biomassa microbiana do solo na utilização da MO fazendo com que mais C fosse perdido na forma de CO<sub>2</sub> quando comparado com os outros tratamentos. Insam e Domsch (1988) relataram que na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração basal e uma fração de carbono é incorporada à biomassa microbiana.

Resultados semelhantes a este foram obtidos por Yada (2014) no 16º ano de tratamento com LE no LVef e LVd. A autora atribuiu o aumento da respiração basal do solo no tratamento que recebeu a dose 20 Mg ha<sup>-1</sup> às elevadas concentrações de elementos-traço e de matéria orgânica presentes no LE, pois, o aumento na respiração sem o respectivo aumento na biomassa microbiana sugere a ocorrência de efeito tóxico do lodo de esgoto, nas doses mais elevadas, na microbiota do solo.

Lopes (2002) também observou aumento na respiração basal do solo com o incremento no conteúdo de matéria orgânica e nutrientes. A adição de matéria orgânica aumenta a liberação de CO<sub>2</sub>, atribuída, principalmente, às populações metabolicamente ativas, que são as mais afetadas pelo excesso de elementos-traço no solo (Insam et al., 1996).

O qCO<sub>2</sub> no LVef, apresentou maior valor no tratamento com a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE e diferiu apenas do tratamento controle. Já no LVd, o maior valor de qCO<sub>2</sub> foi observado na dose de 5 Mg ha<sup>-1</sup> devido ao menor valor de C-BMS nesse tratamento (Tabela 7). O qCO<sub>2</sub> é a relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado do solo e a unidade de carbono da biomassa microbiana, por unidade de tempo, assim a perda de C na forma CO<sub>2</sub> significa menor incorporação do carbono no tecido microbiano indicando que o ambiente pode estar sob estresse. Isso pode ser um claro indicativo da qualidade e eficiência dos microrganismos do solo (Anderson e Domsch, 1993).

O menor valor de  $qCO_2$  no tratamento com o controle no LVef mostram uma biomassa mais eficiente, em comparação com as demais doses, uma vez que foi observada menor perda de  $CO_2$  pela biomassa do solo, corroborando com o descrito por Yada (2014) no 16º ano de experimento. No LVd, os valores de  $qCO_2$  demonstram eficiência da biomassa microbiana, com exceção da que recebeu a dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , indicando que o sistema está em equilíbrio, otimizando os efeitos da atividade microbiana e liberando menos  $CO_2$  para a atmosfera (Gama-Rodrigues et al., 1997). Entretanto, de modo geral, os valores de  $qCO_2$  encontrados nos dois solos não estão elevados.

Estudando o efeito das doses de LE no 13º ano de experimento no LVef, Silva (2012) observou aumento no  $qCO_2$  com as doses de 10 e  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Souza et al. (2006) encontraram alto valor de  $qCO_2$  somente na área cultivada com sorgo sob plantio direto ( $0,0457 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{g C g}^{-1} \text{ solo}$ ), em relação as áreas de cerrado e pastagem.

Jakelaitis et al. (2008) verificaram que, em solo mantido sob vegetação nativa ou quando houve intercalação entre agricultura e pecuária, os valores obtidos para  $qCO_2$  foram baixos, enquanto que, para pastagem exclusiva ou cultivo de milho os valores foram bem mais elevados, denunciando ambiente com maior grau de distúrbio ou que apresentam comunidade microbiana sob condições desfavoráveis ou submetidas a impactos negativos.

### **5.3 Teores de Amônio, Nitrato e Nitrogênio Total nos Solos**

Os teores de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  no LVef foram maiores com a dose de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com valores variando de 0,114 a  $0,432 \text{ mg kg}^{-1}$  e 0,450 a  $5,803 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo que para o primeiro não houve diferença significativa no resultado com a dose de 5 e  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo (Tabela 8).

**Tabela 8.** Teores de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrogênio total (N Total) na profundidade de 0,0 – 0,10 m, em um LVEf e LVd submetido a tratamento com doses LE no 21º ano.

<b>Tratamentos</b> (Doses de LE $\text{Mg ha}^{-1}$ )	<b><math>\text{NH}_4^+</math></b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b><math>\text{NO}_3^-</math></b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b>N Total</b> ( $\text{g kg}^{-1}$ )
<b>LVEf</b>			
<b>0</b>	0,114 b	0,450 c	1,372 b
<b>5</b>	0,257 ab	1,140 c	1,380 b
<b>10</b>	0,414 a	2,615 b	1,477 b
<b>20</b>	0,432 a	5,803 a	2,029 a
<b>CV%</b>	35,29	45,11	6,25
<b>Tratamentos</b> (Doses de LE $\text{Mg ha}^{-1}$ )	<b><math>\text{NH}_4^+</math></b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b><math>\text{NO}_3^-</math></b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b>N Total</b> ( $\text{g kg}^{-1}$ )
<b>LVd</b>			
<b>0</b>	0,369 a	0,227 c	1,286 b
<b>5</b>	0,214 a	0,484 bc	1,354 b
<b>10</b>	0,294 a	1,591 b	2,005 a
<b>20</b>	0,351 a	3,065 a	2,092 a
<b>CV%</b>	39,57	47,58	9,92

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. LE= lodo de esgoto base seca. LVEf= Latossolo Vermelho eutroférico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

Nisso, observa-se que a maior dose de LE proporcionou maior quantidade de nitrogênio inorgânico no solo em comparação com a adubação mineral, o que atinge diretamente a planta, pois, é o N inorgânico que será absorvido e desempenhará suas funções na planta. Pires et al. (2015) encontraram resultados crescentes na concentração de N inorgânico em solos incubados sob aplicação sucessivas de lodo de esgoto em trabalhos feitos no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC – SP) e na Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna – SP).

O comportamento observado no N amoniacal pode estar relacionado com a maior atividade da protease nestes tratamentos (Tabela 6), visto que, a atividade dessa enzima origina uma mistura de aminoácidos, que em decorrência de reações de desaminação, resultam em  $\text{NH}_4^+$  (Karaca et al., 2002; Peixoto, 2010). No LVd os teores de N-  $\text{NH}_4^+$  não mostraram diferenças significativas nos tratamentos, entretanto, os teores de N- $\text{NO}_3^-$  também foram maiores com a dose máxima (Tabela 8). É possível observar que os valores de N nítrico em ambos os solos estudados

foram maiores em relação ao N amoniacal, com exceção do tratamento com a dose 0 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado é esperado, pois, no solo aerado o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> passa por processo de nitrificação, no qual é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pela ação de bactérias quimioautotróficas (Cantarella, 2007).

Ao analisar os teores de N amoniacal e nítrico no 18<sup>o</sup> ano de experimento no LVd, Delarica (2016) obteve resultado semelhante ao encontrado no 21<sup>o</sup> ano, em que, em função das doses, houve diferença significativa somente entre 5 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> na camada arável, encontrando-se a maior concentração de amônio no tratamento que recebeu a maior quantidade do resíduo. Já para os teores de nitrato os valores variaram de 2,29 mg kg<sup>-1</sup> no controle a 4,59 mg kg<sup>-1</sup> no tratamento 20 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade do solo, sendo essa a maior concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nessa profundidade.

Os teores de N total no solo foram mais significativos nos tratamentos com as maiores doses de LE. No LVef, o teor total de N foi de 2,029 g kg<sup>-1</sup> com a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto que no LVd, os valores variaram de 1,286 a 2,092 g kg<sup>-1</sup>, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos com as doses 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 8). Esse resultado era esperado considerando que a MO que se acumula nessa região mais superficial do solo devido aos restos culturais que ficam sobre o solo de um ano para o outro e, também o aumento de MO pela aplicação do LE aumentou a quantidade de N orgânico influenciando assim no teor de N total. É importante considerar que a mineralização do N orgânico através da atividade da protease também pode ter tido efeito direto na quantidade de N inorgânico e consequentemente no N total.

Os resultados obtidos por Macedo et al. (2011) no 11<sup>o</sup> ano de experimento no LVef, corroboram com os encontrados nesse trabalho. Segundo os autores, a dose acumulada de 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de LE proporcionou maior quantidade de N total no solo, sendo a camada mais superficial (0–0,10 m) a de maior concentração. Entretanto, os valores encontrados pelos autores variam de 0,0632 g kg<sup>-1</sup>, no controle, a 0,0777 g kg<sup>-1</sup> na maior dose acumulada, o que diferem dos resultados encontrados no 21<sup>o</sup> ano, sendo mais baixos do que os apresentados nesse trabalho (Tabela 7). Possivelmente, a quantidade de LE depositado no solo ao longo dos dez

anos posteriores proporcionou maior acúmulo de MO e conseqüentemente de N no solo.

#### 5.4 Nitrogênio Total na Folha Diagnose do Milho

A avaliação do estado nutricional da folha diagnose de milho não foi influenciada estatisticamente pelas doses de LE aplicados (Tabela 9), porém, os teores de nitrogênio encontrados estão dentro da faixa adequada, para a cultura do milho, (27,5 a 32,5 g kg<sup>-1</sup>) de acordo com Malavolta et al. (1997).

**Tabela 9.** Teores de nitrogênio total (N Total) na folha diagnose do milho cultivado em um LVef e LVd submetido a tratamento com doses LE 21<sup>o</sup> ano.

N Total na Folha Diagnose (g kg <sup>-1</sup> )		
Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> )	LVef	LVd
0	28,08 a	27,62 a
5	27,64 a	27,90 a
10	27,44 a	29,14 a
20	26,50 a	29,86 a
CV%	3,97	10,71

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. LE= lodo de esgoto base seca. LVef= Latossolo Vermelho eutroférico. LVd= Latossolo Vermelho distrófico.

Resultados semelhantes foram encontrados por Macedo et al. (2011) e Delarica (2016) em folhas diagnose de milho no 11<sup>o</sup> e 18<sup>o</sup> ano de experimento, respectivamente, sendo que, para o primeiro, o teor de N na folha ultrapassou a faixa ideal e para o segundo os teores de N foram suficientes de acordo com Malavolta et al. (1997). Os resultados obtidos nesse trabalho comprovam a capacidade do LE de fornecer N ao milho em quantidade suficiente para seu aproveitamento nutricional tanto quanto a adubação química convencional.

## 6. CONCLUSÕES

A enzima protease apresentou maior atividade com a dose máxima de lodo de esgoto, 20 Mg ha<sup>-1</sup>, tanto no LVef quanto no LVd. As doses de 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE influenciaram na atividade da desidrogenase apenas no LVd. A atividade da celulase não foi influenciada pelo LE.

A aplicação de lodo de esgoto aumentou o carbono orgânico nos solos.

A dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, na base seca, promoveu incremento na respiração basal e no quociente metabólico do solo LVef. No LVd o LE promoveu aumento no carbono na biomassa microbiana, respiração basal e não influenciou no quociente metabólico, podendo ser associado com o aumento da qualidade do solo.

As maiores doses de lodo de esgoto proporcionaram maiores quantidades de nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito e nitrogênio total no LVef.

No LVd, o lodo de esgoto não influenciou nos teores de nitrogênio amoniacal, no entanto, as maiores doses de lodo de esgoto proporcionaram aumento nos teores de nitrogênio nítrico e nitrogênio total.

As concentrações de nitrogênio na folha diagnose de milho não foram influenciadas pelas doses de lodo de esgoto, mas se encontram suficientes para o aproveitamento da cultura.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, M-Y.; ZIMMERMAN, A. R.; COMERFORD, M. B.; SICKMAN, J. O.; GRUNWALD, S. (2009) Carbon mineralization and labile organic carbon pools in the sandy soils of a north Florida watershed. **Ecosystems**, Secaucus, v. 12, n. 4, p. 672–685. Disponível em: <[http://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/home/PDFs/Ecosystems\\_Ahnetal\\_SFR\\_W\\_2009.pdf](http://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/home/PDFs/Ecosystems_Ahnetal_SFR_W_2009.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ALBIACH, R.; CANET, R.; POMARES, F.; INGELMO, F. (2001) Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 2, p. 109-114. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00166-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00166-8)>.

ALEF, K. (1995) Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate. In: ALEF, K., NANNIPIERI, P. (Eds.), **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, London., p. 232 – 238.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Ed. (1995) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, p.232 – 233.

ALVES, M.J.; OLIVEIRA, L.R.; GONTIJO, V.T.C.; BRITO, L.F.; MELO, V.P.; MELO, W.J.; MELO, G.M.P. (2010) Bioatividades das proteases e arilsulfatases em solos tratados com biossólidos e cultivados com girassol. **Revista Ceciliana**, 2010, p.27-29.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. (2013) Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711–728.

ANNABI, M.; LE BISSONNAIS, Y.; VILLIO-POITRENAUD, M.; LE, H.S. (2011) Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. **Agric. Ecosyst. Environ.** v.144, p.382–389.

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. (2007) A microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 21-39.

ANDRADE, C. A. (2004) **Fração Orgânica de Biossólidos e Efeitos no Estoque de Carbono e Qualidade da Matéria Orgânica de Um Latossolo Cultivado com Eucalipto**. 121p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. (1993) The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 393-395.

ANDERSON, T.H. (2003) Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.98, p.285-293.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. (2007) Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.23, p.66-75.

ARAÚJO, F.F.; GIL, F.C.; TIRITAN, C.S. (2009) Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, p.1-6.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JÚNIOR, W. (2016) **Experimentação agrônômica & Agroestat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Multipress, p. 396.

BALOTA E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. (2004) Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p. 300-306.

BERTONCINI, E. I. (2002) **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com Biossólido: Extração sequencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 195 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BEZERRA, F.B.; OLIVEIRA, M.A.C.L.; PEREZ, D.V.; ANDRADE, A.G.; MENEGUELLI, N.A. (2006) Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 469-476.

BILGO, A.; MASSE, D.; SALL, S.; SERPANTIÉ, G.; CHOTTE, J-L.; HIEN, V. (2007) Chemical and microbial properties of semiarid tropical soils of short-term fallows in Burkina Faso, West Africa. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, n. 3, p. 313-320. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00374-006-0107-4>>.

BINDER, D.L.; DOBERMANN, A.; SANDER, D.H.; CASSMAN, K.G. (2002) Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. **Soil Science Society of American Journal**, v. 66, p. 531-543.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. (2002) Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.1639-1647.

BOEIRA, R. C; MAXIMILIANO, V. C. B. (2006) Dinâmica da Mineralização de Nitrogênio de Lodos de Esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **de Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 125-136. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14961/dinamica-da-mineralizacao-de-nitrogenio-de-lodos-de-esgoto>

BOEIRA, R.C.; MAXIMILIANO, V.C.B. (2009) Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.711-722.

BRASIL. (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 25 jan 2019.

BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. (1965) Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. In: Black CA (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

BROWN, S.; ANGLE, J.S. & CHANEY, R.L. (1997) Correction of limed biosolid induced manganese deficiency on a long term field experiment. **J. Environ. Qual.**, v. 26, p.1375-1384.

BROUSSARD, W. & TURNER R.E. A (2009) century of changing land-use and water-quality relationships in the continental US. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, p. 302-307.

CAMPBELL, C.A. (1982) Changes in mineral N and numbers of bacteria and actinomycetes during two years under wheat-fallow in southwests saskatchewan. **Canadian Journal Soil Science, Ottawa**, v. 62, p.125-135.

CAMARGO, F.A.O.; SILVA, L.S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. (2008) Nitrogênio Orgânico do Solo. In:SANTOS, G. de A.; da SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.;CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria organica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. (2.ed. rev. e atual. ) Porto Alegre: Metrópole, cap. 07. p.645.

CANTARELLA, H. (2007) VII- Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. **Fertilidade do Solo**. Editora SBCS. 2007, p. 1017.

CARNEIRO, M. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. (2008) Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276- 283.

CARVALHO, F. (2005) Atributos bioquímicos da qualidade de solo em florestas de *Araucária angustifolia* (Bert.). O. Ktze. No estado de São Paulo. 2005. 79 f. **Dissertação (mestrado)**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, N.L.D.; ZABOT, V. (2012) Nitrogênio: nutriente ou poluente? *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* (e-ISSN: 2236-1170), v.6, n.6, p. 960 – 974.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. (1990) Flutuacoes na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em funcao de variacoes ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14, 133-142.

CECCANTI, B.; PEZZAROSSA, B.; GALLARDO-LANCHO, F.J. e MASCIANDARO, G. (1994) Bio-tests as markers of soil utilization and fertility. **Geomicro biology Journal**, v. 11, p. 309-316.

CERETTA, C.A & FRIES, M.R. (1997) Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Lages Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, p. 111-120.

CORREA, M.L.P.; GALVÃO, J.C.C.; FONTANETTI, A.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, M.M. (2009) Atividade Microbiana Enzimática (Fda) como Indicador Microbiológico da Qualidade de Solos em Sistemas de Plantio Direto de Milho Orgânico e Convencional. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 4, n. 2.

CORDEIRO, M. A. S.; CORÁ, J. E. NAHAS, E. (2012) Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1794-1803.

CHU, H.; LIN, X.; FUJI, T.; MORIMOTO, S.; YAGI, K.; HU, J.; ZHANG, J. (2007) Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, n. 11, p. 2971-2976. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>>.

DELARICA, D. L. D. (2016) **Carbono, Nitrogênio E Fósforo Em Latossolo Após Aplicação De Lodo De Esgoto Por Dezoito Anos Consecutivos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal (SP).

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. (1996) Effect of tillage and residue management on enzymes activities in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 22, n. 3, p. 202-207. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1007/BF00382514>>.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. (1997) **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo**: Método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. (2016) **Capítulo XIII: Biomassa Microbiana**. 78-80p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1044431/biomassa-microbiana>

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B.A. Ed Defining soil quality for a sustainable environment. **Madison: Soil Science Society of America**. p. 107-124. (Special Publication number, 35)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (1997). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, (2006) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Serviço de Produção de Informação, Brasília: **Embrapa**, p. 306.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. (2004) **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2 ed. Sunderland. Sinauer Associates, 380 p.

FRADE JUNIOR, E. F. (2007) **Atividade enzimática em lodo de esgoto contaminado com cádmio e uso em solo cultivado com sorgo**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

FRASER, D.G.; DORAN, J.W.; SAHS, W.W.; LESOING, W. (1988) Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.17, p.585-590.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. (1997) Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.361-365.

GARCIA, M.R.L.; NAHAS, E. (2007) Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 31:269-276.

GODOY, L.C. de. (2013) A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-line Tecnologia, Gestão, Humanismo**, v. 2, n. 1. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCOTGH/article/view/43/27>>. Acesso em: 02/05/2019.

GU, C.; BAI, YANCHAO; T., TIANYUN; CHEN, G.; SHAN, Y.(2013) Effect of Sewage Sludge Amendment on Heavy Metal Uptake and Yield of Ryegrass Seedling in a Mudflat Soil. **Journal of Environmental Quality**. v. 42 n. 2.

HANSEN, B.; KRISTENSEN, E.S.; GRANT, R.; HØGH-JENSEN, H.; SIMMELSGAARD, S.E.; OLESEN, J.E. (2000) Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems – a systems modeling approach. **European Journal of Agronomy**, v. 13, p. 65-82.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. (1988) Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v.15, p.177-188.

INSAM, H.; HUTCHINSON, T.C.; REBER, H.H. (1996) Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, p. 691-694.

IPT/CETESB. Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Aproveitamento do resíduo orgânico como fertilizante**, São Paulo, 1983.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R. (2008) Qualidade da camada superficial do solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 39 (2): 118-127.

JENKINSON, D.S.; RAYNER, J.H. (1977) The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Science**, Baltimore, v.123, p.298-305.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. (1981) Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker. p.415-471.

JORDÁN, M.M.; ALMENDRO-CANDEL, M.B.; ROMERO, M.; RINCÓN, J.M. (2005) Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. **Applied Clay Science**, v. 30, n. 3-4, p. 219-224.

KANDELER, E.; PALLI, S.; STEMMER, M.; GERZABEK, M.H. (1999) Tillage changes, microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 31, n.9, p.1253-1264.

KARACA, A.; NASEBY, D.C.; LYNCH, J.M. (2002) Effect of cadmium contamination with sewage sludge and phosphate fertiliser amendments on soil enzyme activities, microbial structure and available cadmium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.35, p.428-434.

KOGA, Y.; OONUKI, H.; AMARI, T.; ENDO, Y.; KAKURATA, K.; OSE, K. (2007) Biomass Solid Fuel. Production from Sewage Sludge with Pyrolysis and Co-firing in Coal Power Plant. **Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review**, v. 44, n. 2. Disponível em: <[https:// www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e442/e442043.pdf](https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e442/e442043.pdf)>. Acesso em: 02/05/2019.

LAVEZZO, L. F. et al. (2016) Atividade da Protease em Solos com 18 Anos de Aplicações Anuais de Lodo de Esgoto. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal (SP), v. 8, Número Especial (ISSN 2178-9436).

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. (2011) Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.132-138.



LOPES, E. B. M. (2001) **Diversidade metabólica em solo tratado com biossólido**. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 66p.

LOPES, R.A.P. (2002) **Monitoramento de propriedades físicas do solo sob dois sistemas de preparo na sucessão soja-milho no período de três anos**. Cascavel, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 73 p. (Dissertação de Mestrado).

LUCZKIEWICZ, A. (2006) Soil and groundwater contamination as a result of sewage sludge land application. **Polish J. of Environ. Stud.**; v.15, n. 6, p. 869.

MACEDO, F.G.D.; MELO, W.J.D.; MERLINO, L.C.S.; TORRES, L.S.; GUEDES, A.C.T.P.; MELO, G.M.P.D.; CAMACHO, M.A. (2011) Lodo de esgoto como fonte de nitrogênio: concentração no perfil do solo e em plantas de milho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.3, p.263-268.

MALAVOLTA E, VITTI GC, OLIVEIRA S.A. (1997) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997: 319.

MALAVOLTA, E. (2006) **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres, p. 631.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L. Adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 5, 2007, p. 887-895.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. (1999) Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, núm. 2, p. 257-263.

MATSUMIYA, Y. (2012) **Green Energy Production from Municipal Sewage Sludge in Japan**. Japan Sewage Works Association. 14 p. Disponível em: <<http://gcus.jp/wp/wp-content/uploads/2011/10/b9d3da09628478f76161e05c89b06be91.pdf>>. Acesso em: 02 abril 2018.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. (2005) **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 107p.

MELO, W.J. (1974) **Varição do N-amoniaco e N-nítrico em um Latossolo Roxo cultivado com milho (*Zea mays L.*) e com lablab (*Dolichos lablab L.*)**. 1974. (Tese doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo; 1974.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C. & BOARETTO, A.E. (1997) Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro. **Palestras**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (2000) Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. p.109-141.

MELO, W. J.; Melo, G M. P.; ARAÚJO, A. S. F.; MELO, V.P. (2010) Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. Marcia Vale Barreto Figueiredo, Hélio Almeida Burity, José de Paula Oliveira, Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos, Newton Pereira Stamford. (Ed.) **Biotecnologia aplicada à agricultura: Textos de apoio e protocolos experimentais**. Brasília, DF:Embrapa informações tecnológicas; Recife, PE: Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

MELFI, A.J.; MONTES, C.R. (2001) Impacto dos bio-sólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). **Bio-sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap.9, p.243-272.

MONDINI, C.; CAYUELA, M. L.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; BROOKES, P. C. (2006) Soil microbial biomass activation by trace amounts of readily available substrate. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, n. 6, p. 542-549.

NRIAGU, J.O & PACYNA, J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, v. 333, p. 134 - 139.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. (2007) **Fertilidade do Solo**. Editora SBCS. 1017p.

OKUNO, N.; URIU, M.; HORII, T.; MIYAGAWA, K. (1997) Evaluation of Thermal Sludge Solidification. **Water Science and Technology**, v. 36, n. 11, p. 227-233.

OLIVEIRA, F.C. (2000) **Disposição de “resíduo orgânico” e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, p.247.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. (2002) Efeitos de Aplicações Sucessivas de Lodo de Esgoto em um Latossolo Amarelo Distrófico Cultivado com Cana-de-açúcar: Carbono Orgânico, Condutividade Elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 505-519.

OLIVEIRA, L. R. (2008) **Metais Pesado e Atividade Enzimática em Latossolos Tratados com Lodo de Esgoto e Cultivados com Milho**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal (SP).

OMIDI, H.; TAHMASEBI, Z.; TORABI, H.; MIRANSARI, M. (2008) Soil enzymatic activities and available P and Zn as affected by tillage practices, canola (*Brassica napus* L.) cultivars and planting dates. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 4, p. 443-450. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.05.002>>.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L. (1973) Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase and urease. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, n. 1, p. 47-50.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A.; SOUZA, N. A. P.; CARMO, J. B.; COSCIONE, A. R.; CARVALHO, C. S. (2015) Disponibilidade e Mineralização do Nitrogênio Após Aplicações Sucessivas de Lodo de Esgoto no Solo, Estimadas Por Meio de Incubação Anaeróbica. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.50, n.4, p.333-342.

PEIXOTO, F. G. T. (2010) **Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos do Estado de São Paulo sob vegetação nativa e cultivados**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal – SP.

POVESAN, R.P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V.; REISSMANN, C.B.(2009) Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.757-766.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C; CHRISTESEN, B.T. (1987) Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v.19, p.159- 164.

PRADO, R. M. (2008) **Nutrição de Plantas**. 1.ed. São Paulo: Editora UNESP, v.1. 300p

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D. CASTILHOS, M. R. V.; VIVIAN, G. (2011). Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suínos. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.17, n.1-4, p.85-93.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. (2009) Viabilidade Econômica do Uso de Lodo de Esgoto na Agricultura, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v.39, n.6, p. 31-36.

RAIJ, B. V. (1991) **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo. Piracicaba: Ceres, Postafos, 343p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (1997) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 285 (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. (1999) Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, p. 357-363.

ROSS, C.A.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. (1990) Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia + ervilhaca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23. Santa Maria, 1990. **Resumos**. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.20.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCIA, J.R.; ALGUACIL, M.M.; DÍAZ, E & CARAVACA, F. (2005) Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. **Geoderma**, 129:178-185.

ROIG, N.; SIERRA, J.; MARTÍ, E.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L. (2012) Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.158, p.41-48.

STEPHENSON, R. J. (1955) Availability of Nitrogen in Sewage Sludges." **Sewage and Industrial Wastes**, v. 27, n.1 p.34-39.

SAITO, M. L. O. (2007) **Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Documentos 64.

SAMPAIO, A. (2013) Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, n. 193, p. 16-27. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_193\\_n\\_1503.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1503.pdf)>. Acesso em: 02/05/2019.

SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAÚJO, A. S. F. (2011) Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass in two different soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 1, p. 146-151.

SARRUGE JR, HAAG HP. (1974) **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, USP.

SERNA, M.D.; POMARES, F. (1992) Nitrogen mineralization of sludge-amended soil. **Bioresource Tech.**, v.39, p. 285–290.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. (2007) **Determinação da respiração basal (RBS) quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ )**. Seropedica: Embrapa Agrobiologia. 4p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

SILVA, C. M. M. S.; VIEIRA, R. F.; VILELA, E. S. D.; SILVA, V. P. C. DA; LEITE, J. M. (2009) Atividade de enzimas ligadas ao ciclo do nitrogênio em solo submetido a frequentes aplicações de lodo de esgoto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/577608/atividade-de-enzimas-ligadas-ao-ciclo-do-nitrogenio-em-solo-submetido-a-frequentes-aplicacoes-de-lodo-de-esgoto>

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. (2010) Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 34, núm. 5, p. 1585-1592.

Silva, E.F.L. (2012) **Plantas daninhas, atributos biológicos e elementos-traço em Latossolo tratado com lodo de esgoto por treze anos consecutivos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

SIMÕES, S. M. O.; ZILLI, J. E.; COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F. C. (2010) Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, vol. 40, p. 23-30.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. (2008) Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste management**, v.28, n.2, p. 347-358.

SOARES, M. T. S. (2003) **Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio e alterações da fertilidade do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com Biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis***. 143p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. (2006) Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol. 28, núm. 3, p. 323-329.

SULLIVAN, T. S.; STROMBERGER, M. E.; PASCHKE, M. W.; IPPOLITO, J. A. (2006) Long-term impacts of infrequent biosolids applications on chemical and microbial properties of a semi-arid rangeland soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, n. 3, p. 258-266. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00374-005-0023-z>>.

TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V.; DOETZER, B.H. (2008) Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 643-655.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.T.; GARCIA, C. (2006) Application of two organic amendments on soil restoration: effects on the soil biological properties. **Journal of Environmental Quality**, 35: 1010-1017.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. (2002) In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFEER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W. Ed. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**. v.2, p. 195-276.

TOWNSEND, C. R.A. (2011) **Nitrogênio em sistemas pastoris**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 29 p. (Documentos / Embrapa Rondônia, ISSN 0103-9865; 138).

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

TSUTIYA, M.T. (2001) Alternativas de disposição final de bio sólido. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, p.133-180.

TSUTIYA, M.T. (2002) Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. **Biossólido na agricultura**. São Paulo, p.89-131.

VELASCO-MOLINA, M. (2004) **Nitrogênio e metais pesados em Latossolo e Eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação de Biossólido**. 66p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

XU, H.; WANG, C.; WANG, K. (2015) Full-Scale Plant Study of the Innovative Spray-Drying-Based Sludge Incineration (SDSI) Process: Behavior of Heavy Metals. **Energy Fuels**, v. 29, n. 6, p. 3908-3912.

YADA, M. M. (2014) **Metais pesados, atributos químicos e bioquímicos em latossolos e plantas de milho após aplicação de lodo de esgoto por dezesseis anos consecutivos**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal.

YADA, M. M.; CARLO, R. S.; LAVEZZO, L. F.; DONHA, R. M. A.; MELO, V. P.; MELO, W. J. (2015) Carbono da biomassa microbiana e atividade da celulase em Latossolos tratados com lodo de esgoto por dezessete anos consecutivos. In: **XXXV Congresso Brasileiro De Ciência do Solo**, Natal (RN).

WARDLE, D.A.A. (1992) A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, 67:321-358.

WARDLE, D.A. (1994) In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa, 542p.

WARD, M.H.; RUSIECKI, J.A.; LYNCH, C.F.; CANTOR, K.P. (2007) Nitrate in public water supplies and the risk of renal cell carcinoma. **Cancer Causes Control**, v. 18, n. 10, p. 1141-115.

ZAGO, L.M.S.; OLIVEIRA, R.N.; BOMBONATTO, A.K.G.; MOREIRA, L.M.O.; MELO, E.N.P.; CARAMORI, S.S. (2016) Enzimas Extracelulares de Solos de Cerrado como Bioindicadores de Qualidade em Áreas Agricultáveis em Goiás, Brasil. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.5, n.1, p. 104-127.



ZUBA JUNIOR, G.R.; SAMPAIO, R.A.; NASCIMENTO, A.L.; SANTOS, G.B.; SANTOS, L.D.T.; FERNANDES, L.A. (2013) Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.706–712.