

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DOUGLAS EDUARDO FRABIO SANTOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE ARROZ E FEIJÃO COM
APLICAÇÃO DE COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO**

**Ilha Solteira
2022**

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

DOUGLAS EDUARDO FRABIO SANTOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE ARROZ E FEIJÃO COM
APLICAÇÃO DE COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Rafael Montanari
Orientador

Ilha Solteira
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237a Santos, Douglas Eduardo Frabio.
Atributos físicos do solo em área de arroz e feijão com aplicação de composto de lodo de esgoto / Douglas Eduardo Frabio Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Rafael Montanari
Inclui bibliografia

1. Física do solo. 2. *Oryza sativa*. 3. *Phaseolus vulgaris* L. 4. Manejo e conservação do solo. 5. Composto de lodo de esgoto.


Raiane da Silva Santos

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Atributos físicos do solo em áreas de arroz e feijão com aplicação de composto de lodo de esgoto

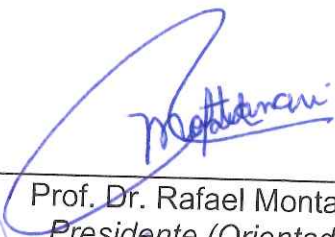
ALUNO: Douglas Eduardo Frabio Santos

RA: 181050811

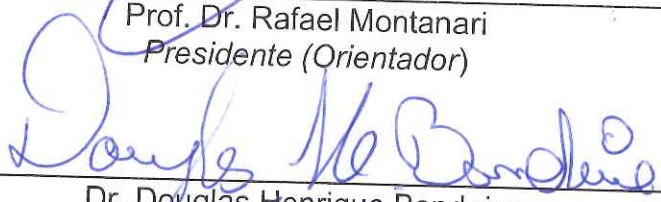
ORIENTADOR: Rafael Montanari

Aprovado ☒ - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 8

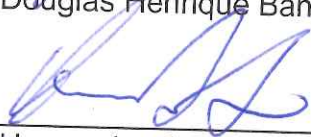
Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Rafael Montanari
Presidente (Orientador)



Dr. Douglas Henrique Bandeira



Me. Hernandez Andrade Queiroz



Douglas Eduardo Frabio Santos

Ilha Solteira, 13 de maio de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Jeová, meu maior exemplo de vida e que sempre me deu todo apoio possível, à minha mãe Luciana, por todo cuidado e carinho, ao meu irmão Gustavo pela amizade e companhia apesar dos desentendimentos, a minha noiva Rayne, por sempre estar ao meu lado me apoiando e por toda a compreensão pela falta de atenção devido as muitas atividades da faculdade. Dedico também ao meu orientador por todo apoio e atenção durante meu curso e aos demais professores e colegas que contribuíram para a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sua bondade e graça que me sustentaram durante todo o curso, ao meu pai Jeová, minha mãe Luciana, meu irmão Gustavo, minha noiva Rayne, minha sogra Kelly, meu sogro Edir e minha cunhada Gabriele, por todo amor, carinho e incentivo. Agradeço também aos meus amigos Anísio, Milena, Felipe, Alan, Celina e Gaspar, que apesar da minha falta de presença, sempre estiveram ao meu lado. Por fim, agradeço ao CNPq pela bolsa concedida durante a realização do experimento, aos meus amigos que fiz neste curso por toda ajuda e companhia e a todos os profissionais que de alguma forma participaram da minha formação profissional, em especial meu orientador Rafael Montanari, que estará sempre em meu coração.

“Mas aqueles que esperam no Senhor renovam suas forças.
Voam alto como águias; correm e não se fatigam,
caminham e não se cansam”. (Is 40, 31).

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

RESUMO

O aumento na produção de diversos resíduos é um dos problemas gerados pela urbanização, já que, por diversas vezes estes são depositados no meio ambiente, contribuindo para o aumento da poluição. O resultado do tratamento desses resíduos é o lodo de esgoto, sendo uma das maneiras de sua disposição final, a aplicação controlada no solo. Na safra de 2017/18 e 2018/19 foi conduzido experimento em Selvíria-MS, em LATOSSOLO VERMELHO distrófico, com arroz e feijão cultivados, respectivamente, na safra de verão e inverno. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e quatro doses de composto de lodo de esgoto (CLE), sendo elas de 5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 Mg. ha⁻¹, um modo de aplicação (em área total) e um tratamento controle (sem aplicação de CLE). Foram avaliados a microporosidade (Mi), a macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt) e a densidade do solo (Ds) nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, além da avaliação da produtividade de grãos das culturas de arroz (PRGa) e feijão (PRGf). Apesar das doses do composto de lodo de esgoto não terem modificado os atributos físicos do solo, notou-se uma grande contribuição do CLE para a produtividade das culturas, demonstrando assim, alto potencial para sua utilização como adubo orgânico, visto sua grande capacidade de suprir as exigências nutricionais das plantas, com a maior produtividade de grãos de arroz com sua menor dose de aplicação utilizada neste trabalho (5 Mg. ha⁻¹) e com as três maiores doses de CLE (7,5; 10,0 e 12,5 Mg. ha⁻¹) apresentando as maiores produtividades de feijão.

Palavras-chave: resíduo urbano; biossólido; *Oryza sativa*.

ABSTRACT

The increase in the production of various residues is one of the problems generated by urbanization, since, several times, these are deposited in the environment, contributing to the increase in pollution. The result of the treatment of these residues is the sewage sludge, being one of the ways of its final disposal, the controlled application in the soil. In the 2017/18 and 2018/19 harvest, an experiment was carried out in Selvíria-MS, in clayey Oxisol, with rice and beans grown, respectively, in the summer and winter harvest. A randomized block design was used, with four replications and four doses of sewage sludge compound (CLE), being 5.0; 7.5; 10.0 and 12.5 Mg. ha⁻¹, wet basis, an application mode (total area of the crop) and a control treatment (without application of CLE). Microporosity (Mi), macroporosity (Ma), total porosity (Tp) and bulk density (Bd) were evaluated at depths of 0.00-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, in addition to evaluating the grain yield of rice (GYr) and beans (GYb) crops. Although the doses of sewage sludge compost did not modify the physical attributes of the soil, a great contribution of CLE to the productivity of the crops was noted, thus demonstrating a high potential for its use as organic fertilizer, given its great capacity to supply the nutritional requirements of the plants, with the highest productivity of rice grains with their lowest application rate used in this work (5 Mg. ha⁻¹) and with the three highest doses of CLE (7.5; 10.0 and 12.5 Mg. ha⁻¹) showing the highest bean productivity.

Keywords: urban waste; biosolid; *Oryza sativa*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Produtividade do arroz (PRGa) BRS esmeralda em função das doses de composto de lodo de esgoto, Selvíria – MS.....	25
Figura 2	- Produtividade do feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto, Selvíria – MS.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Caracterização do composto de lodo de esgoto.....	17
Tabela 2	- Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,00-0,05 m (média das repetições).....	20
Tabela 3	- Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m (média das repetições).....	21
Tabela 4	- Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m (média das repetições).....	22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CLE	Composto de Lodo de Esgoto
Mi	Microporosidade
Ma	Macroporosidade
Pt	Porosidade Total
Ds	Densidade do Solo
PRGa	Produtividade de Grãos de Arroz
PRGf	Produtividade de Grãos de Feijão
pH	Potencial Hidrogeniônico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
MO	Matéria Orgânica
C	Carbono
As	Arsênio
Ba	Bário
B	Boro
Cd	Cádmio
Ca	Cálcio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
S	Enxofre

Se	Selênio
Zn	Zinco
DEFERS	Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
Ms	Massa de Solo
Vt	Volume do Anel
SP	São Paulo
MS	Mato Grosso do Sul

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1	Localização e informações da área.....	16
2.2	Instalação do experimento.....	17
2.3	Coleta de amostras e análises.....	19
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1	Atributos físicos do solo.....	20
3.2	Produtividade das culturas.....	24
4	CONCLUSÃO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27
	APÊNDICE A – Atributos químicos e físicos das amostras dos solos utilizados no experimento, antes da implantação da cultura (Média ± desvio-padrão; n = 3).....	32
	APÊNDICE B – Imagens da área de arroz (<i>Oryza sativa</i>), durante a semeadura (imagem A) e no início do estágio reprodutivo (imagem B), e do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) no início do estágio vegetativo (imagem C).....	33
	APÊNDICE C – Imagens da parcela com aplicação do composto de lodo de esgoto (imagem A) e do composto antes de ser aplicado (imagem B).....	35

1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas culturas importantes cultivadas no Brasil, destacam-se duas culturas que, além de terem grande importância econômica, constituem a base da alimentação dos brasileiros e são um dos elementos representantes de nossa cultura. São elas o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e o arroz (*Oryza sativa*).

Com grande importância em todo o mundo, o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) tem sua maior atuação em países em desenvolvimento como a principal fonte de proteínas, visto que, quando comparada com proteínas de origem animal, apresenta um menor valor econômico (MEZIADI et al., 2016). Dentre os maiores produtores desta leguminosa, o Brasil ocupa o 3º lugar (FAOSTAT, 2019), com uma produção total de 3,02 milhões de toneladas numa área de 3,0 milhões de hectares na safra de 2019/2020 segundo a Conab (2019).

A maior área cultivada de arroz de terras altas localiza-se no Brasil, concentrando a maior parte de seu cultivo no Cerrado brasileiro (FAGERIA et al., 2008). A cultura desempenha papel de grande importância no abastecimento interno do mesmo para a população e atua como regulador de preços (GODOY et al., 2015).

O bioma dos Cerrados possui solos ácidos, com alta saturação de alumínio, pouca disponibilidade de micro e macronutrientes e baixa fertilidade natural, mesmo estando numa região com aptidão para a produção agrícola, como é o Centro-Oeste brasileiro (LOPES & GUIMARÃES, 2016).

Uma das preocupações do setor agrícola mundial é o aumento, tanto nos custos, quanto no consumo de fertilizantes inorgânicos, o que tem fomentado a procura por fontes alternativas de micro e macrominerais, como é o caso do lodo de esgoto por exemplo, visando a diminuição na utilização de adubos inorgânicos (JAKUBUS & BAKINOWSK, 2018).

Mesquita et al. (2017) afirma ser uma opção adequada, quanto sua disposição final, o uso de lodo de esgoto como adubo orgânico para fins agrícolas. Este material é capaz de provocar melhorias na infiltração de água no solo, na retenção de água e na aeração, por meio da modificação dos atributos físicos do solo e também reduzir erosão e conferir melhoria na qualidade de solos degradados, como especifica Pedroza et al. (2010) e Almeida et al. (2017).

De Maria et. al. (2007) demonstram essas melhorias das qualidades físicas do solo, resultantes do incremento de matéria orgânica, em estudo visando a utilização de lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas devido ao manejo inadequado. Já Gadioli e Neto (2004)

ressaltam o potencial do uso do lodo de esgoto para o fornecimento de macronutrientes, principalmente o nitrogênio, trabalhando com as culturas de milho e feijão.

Visto então, sua grande capacidade de atuação como condicionador do solo e fertilizante, este tem sido alvo de vários estudos com diversas culturas, como por exemplo o milho e feijão (NOGUEIRA et al., 2007), cana-de-açúcar (ABREU JUNIOR et al., 2008) e eucalipto (FLORENTINO et al., 2019), deixando bem claro seu alto potencial para uso de fins agrícolas e florestais. Outra vantagem de sua aplicação no solo é a grande redução do custo de produção, pois diminui a necessidade de utilização de fertilizantes minerais solúveis.

Bettiol e Camargo (2006) destacam a abundância de literatura estrangeira sobre o assunto, em especial nos Estados Unidos e nos países da Europa Ocidental, diferentemente do Brasil, onde se encontram algumas contribuições importantes, porém, insuficientes para a criação de bases seguras para a normatização, o manejo, a fiscalização e o controle do uso deste resíduo na agricultura, ressaltando a necessidade de engajamento dos órgãos de pesquisa e ensino em estudos sobre os efeitos da utilização do lodo de esgoto nos solos tropicais, preferencialmente em trabalhos sob condições de campo e realizados por equipes multidisciplinares.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses do composto de lodo de esgoto (CLE) nos atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico e a produtividade de grãos de arroz e feijão cultivados em sucessão no período de duas safras agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense, sendo o arroz na safra de primavera/verão e o feijão na safra de outono/inverno.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e informações da área

O trabalho foi desenvolvido em área experimental com altitude média de 358 m e declividade homogênea de 0,04 m. m⁻¹, localizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, campus de Ilha Solteira, MS (20°22'S e 51°22'W). O clima da região é classificado como CldAa' pelo sistema de Thornthwaite, indicando região sub-úmida seca, com precipitação média anual de 1.370 mm, temperatura média anual de 24,5 °C, com chuvas mais concentradas no período de setembro a junho e invernos secos de junho a agosto. O solo é classificado como um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de acordo com Santos et al. (2013).

2.2 Instalação do experimento

Este experimento foi realizado utilizando-se as culturas de arroz (*Oryza sativa*), cultivar BRS Esmeralda e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L), cultivar BRS Estilo. O delineamento experimental usado foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 4 x 1 + 1, sendo 4 doses do composto de lodo de esgoto (CLE) (5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 Mg. ha⁻¹), 1 modo de aplicação (em área total) e 1 tratamento controle (sem aplicação do composto).

O composto foi obtido por meio da empresa Tera Ambiental Ltda, de Jundiaí, SP. Este, é um produto da compostagem termofílica de resíduos orgânicos urbanos diversos, que é a decomposição da MO por bactérias elevando a temperatura. Para sua caracterização, foram coletadas seis amostras simples em diferentes pontos do composto, sendo, após isto, homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta. A amostra foi caracterizada do ponto de vista químico (pH, CTC, MO, C - orgânico, umidade, As, Ba, B, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, N, Na, Ni, P, Pb, S, Se e Zn) e microbiológico (coliformes termotolerantes, salmonella e ovos viáveis de helmintos), mostrando-se apropriado para o uso neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização do composto de lodo de esgoto (continua).

Determinações	Unidade	Resultados	
		Base seca (65 °C)	Base úmida
pH (CaCl ₂ 0,01 M)		-	7,6
Densidade (Resíduo orgânico)	g.cm ⁻³	-	0,57
Umidade (Resíduo orgânico) 60 – 65 °C	%	-	46,94
Umidade (Resíduo orgânico) 110°C	%	-	1,86
Matéria Orgânica Total (Combustão)	%	45,93	24,37
Carbono Orgânico	%	22,71	12,05
Resíduo Mineral Total (R.M.T.)	%	50,55	26,82
Resíduo Mineral (R.M.)	%	26,06	13,83
Resíduo Mineral Insolúvel (R.M.I.)	%	24,48	12,99
Nitrogênio Total	%	2,39	1,27
Fósforo (P ₂ O ₅) Total	%	2,17	1,15
Potássio (K ₂ O) Total	%	1,04	0,55

Tabela 1. Caracterização do composto de lodo de esgoto (conclusão).

Determinações	Unidade	Resultados	
		Base seca (65 °C)	Base úmida
Cálcio (Ca) Total	%	4,60	2,44
Magnésio (Mg) Total	%	1,26	0,67
Enxofre (S) Total	%	0,96	0,51
Relação C/N		-	9
Cobre (Cu)	mg.kg ⁻¹	1,8±0,06	123
Manganês (Mn)	mg.kg ⁻¹	15±0,58	206
Zinco (Zn)	mg.kg ⁻¹	18,8±0,59	321
Ferro (Fe)	mg.kg ⁻¹	0,6±0,06	15833
Boro (B)	mg.kg ⁻¹	-	13
Sódio (Na)	mg.kg ⁻¹	-	978

Fonte: Próprio autor.

O presente trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2017/18 e 2018/19, com o arroz sendo cultivado na safra de primavera/verão e o feijão na safra de outono/inverno, em sucessão em ambos os anos. As culturas foram irrigadas com o uso de pivô central conforme sua necessidade. As parcelas da cultura de arroz foram compostas por 10 linhas com 10 metros de comprimento, espaçadas a 0,35 m entre si, totalizando 35 m² por parcela e 1.400 m² de área total para os 2 anos agrícolas. Para a cultura do feijão, as parcelas foram constituídas por 7 linhas de 10 metros de comprimento, espaçadas a 0,45 m entre si, totalizando 31,5 m² por parcela e 1.260 m² de área total para os 2 anos agrícolas. Sendo que, a área útil da parcela para as avaliações foi composta pelas 3 linhas centrais, eliminando assim, como bordadura, 0,5 m de cada extremidade.

Anteriormente ao preparo da área e aplicação do composto, foram realizadas amostragens do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, para caracterização física conforme Embrapa (2017) e química do solo de acordo com Raij et al. (2001), e concentrações de metais pesados em conformidade com método 3051A descrito pela United States Environmental Protection Agency. Foi então realizada a calagem com objetivo de elevar a saturação por bases a 70%, com base nos resultados da avaliação de fertilidade do solo.

O preparo inicial do solo foi realizado utilizando arado de aiveca, seguido de gradagem leve, para nivelamento do solo. Em seguida as parcelas receberam a aplicação a lanço do CLE

e nas entrelinhas do arroz. A aplicação a lanço foi realizada manualmente, um mês antes da semeadura do arroz, na safra 2017/18 e 2018/19. Todos os tratamentos com o composto de lodo de esgoto e receberam complementação mineral para o fornecimento de macronutrientes. A adubação foi realizada no momento de semeadura das culturas e em cobertura, sendo que no cultivo do feijão, apenas a adubação em cobertura para o fornecimento de nitrogênio (para os tratamentos com aplicação do composto), com base nas análises químicas do solo e as recomendações contidas no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

Foi realizada a semeadura mecanizada das culturas, sendo que, antes da semeadura, houve o tratamento das sementes com fungicida. Os tratos culturais realizados, foram de acordo com as recomendações técnicas para cada cultura. Após a colheita do arroz, na safra de 2017/18, a área experimental permaneceu em pousio, sendo efetuados controle químico e capinas, regularmente, até a semeadura do feijão.

2.3 Coleta de amostras e análises

Com o auxílio de um enxadão, foram abertas trincheiras em cada uma das parcelas, para a retirada de amostras indeformadas do solo, por meio de cilindros metálicos. Cada cilindro teve sua dimensão aferida por um paquímetro digital. Nas amostras retiradas, foram fixadas telas de náilon na parte inferior dos cilindros com um elástico. Coletou-se vinte e sete amostras por parcela, sendo nove amostras por camada (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). As amostras foram analisadas no laboratório de Física do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS) de Ilha Solteira (UNESP) para a determinação da densidade do solo (DS), da microporosidade (Mi), da macroporosidade (Ma) e da porosidade total (PT). Para a determinação da densidade do solo (DS) utilizou-se o método do anel volumétrico, por meio da equação: $DS = Ms/Vt$, em que, Ms é a massa de solo seco em estufa (kg); e o Vt, é o volume do anel (dm^3). Já a porosidade total foi obtida por meio da saturação do volume da amostra, para a determinação da macroporosidade submeteu-se as amostras à mesa de tensão com coluna de água de 0,60 m (à tensão de 6 kPa) e secas em estufa, numa temperatura de 105 °C por 24 horas, e a microporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total (PT) e a macroporosidade (Ma). Todas estas avaliações foram determinadas conforme estabelecido pela Embrapa (2017).

Para a determinação da produtividade (kg. ha^{-1}) de grãos de arroz e feijão foi obtida por meio de debulha em trilhadora elétrica, com a massa de grãos pesada em balança de precisão em escala de 100g e depois, expressa em kg. ha^{-1} .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atributos físicos do solo

De acordo com a análise de variância das amostras retiradas ao final do experimento, não houve interação entre as doses de CLE e o controle ($P > 0,05$). Também não houve diferença significativa para os atributos avaliados na camada de 0,00-0,05 m. Apresentando valores médios de densidade do solo entre 1,4955 e 1,6275 Mg. m^{-3} , valores de microporosidade variando de 0,36 e 0,38 $\text{m}^3. \text{m}^{-3}$ e porosidade total entre 0,3445 e 0,3857 $\text{m}^3. \text{m}^{-3}$, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,00-0,05 m (média das repetições).

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- $\text{m}^3. \text{m}^{-3}$ -----			- Mg. m^{-3} -
Controle	0,0413	0,3031	0,3445	1,6275
5,0 (Mg. ha^{-1})	0,0235	0,3321	0,3557	1,5602
7,5 (Mg. ha^{-1})	0,0309	0,3243	0,3552	1,6058
10,0 (Mg. ha^{-1})	0,0572	0,3284	0,3857	1,4955
12,5 (Mg. ha^{-1})	0,0446	0,3094	0,3540	1,6089
Valor de F	0,673	0,469	0,659	0,546
CV (%)	84,03	7,54	9,61	6,64
Efeito Linear	0,181	0,259	0,734	0,879

Fonte: Próprio autor.

Um dos fatores que podem explicar os baixos valores de macroporosidade é o preparo do solo, onde realizaram-se aração, gradagem e subsolagem, levando ao rearranjo da estrutura do solo. Em trabalho realizado por Nascimento et al. (2014) relata-se que geralmente os valores de Ma estão bem abaixo dos 10% de referência propostos por Reichert et al. (2009) como limite inferior para macroporosidade, visto que abaixo deste valor há prejuízos quanto a difusão de oxigênio, limitando o desenvolvimento das raízes e, possivelmente, contribuindo na compactação do solo, porém, sem comprometer a produtividade (ANDREOLLA et al., 2014).

Em um experimento realizado por Beutler et al. (2004), os autores notaram diminuição da produtividade do arroz devido ao aumento da microporosidade de 0,36 para 0,38 m³. m⁻³, diferentemente do presente trabalho, em que não houve influência na produtividade das culturas.

Já os valores de densidade do solo encontrados, na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 2), mostraram-se acima da densidade considerada crítica por Reichert et al. (2009) para solos argilosos, que varia de 1,30 a 1,40 Mg. m⁻³.

Jorge et al. (1991), em experimento também realizado em um LATOSSOLO VERMELHO argiloso, afirmam que o solo pode não sofrer mudanças significativas com a aplicação do composto de lodo de esgoto por causa de suas condições originais. Efeito este, notado neste trabalho em relação a porosidade total na camada de 0,00-0,05 m de profundidade (Tabela 2), pois não houveram diferenças significativas entre os tratamentos.

Também não houve nenhuma diferença significativa tanto para a microporosidade, quanto para a porosidade total e densidade do solo, avaliados na camada de 0,05-0,10 m de profundidade (Tabela 3).

Tabela 3. Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m (média das repetições).

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m ³ .m ⁻³ -----			-Mg.m ⁻³ -
Controle	0,0634	0,2846	0,3481	1,5350
5,0 (Mg.ha ⁻¹)	0,0493	0,3175	0,3669	1,5183
7,5 (Mg.ha ⁻¹)	0,0311	0,3133	0,3444	1,6385
10,0 (Mg.ha ⁻¹)	0,0695	0,3217	0,3912	1,4503
12,5 (Mg.ha ⁻¹)	0,0662	0,3113	0,3775	1,5457
Valor de F	0,593	0,462	0,300	0,288
CV (%)	86,17	9,43	8,89	7,13
Efeito Linear	0,340	0,873	0,278	0,661

Fonte: Próprio autor.

Segundo Bonini et al. (2015), a microporosidade é uma propriedade do solo pouco influenciada pelo seu manejo. Característica esta observada na Mi da camada de 0,05-0,10 m de profundidade do solo (Tabela 3) do presente trabalho, concordando com os resultados obtidos por Jorge et al. (1991), onde mesmo com aplicação de 20 Mg. ha⁻¹ de lodo de esgoto, não houve diferenças significativas na microporosidade do solo.

Para a porosidade total e densidade do solo na camada de 0,05-0,10 m de profundidade, Ricci et al. (2010) notaram, em estudo da aplicação de doses de até 80 Mg. ha⁻¹ de CLE, em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO argiloso, que não houveram diferença significativa para a densidade do solo, entre as dosagens de lodo, porém, para a macroporosidade foi observada diferença estatística apenas após dois anos de aplicação. Num estudo com aplicação de até 50 Mg. ha⁻¹ de lodo de esgoto, Melo et al. (2004) não observaram mudanças significativas quanto à microporosidade e porosidade total, o que levanta a hipótese das doses menores de aplicação de CLE no presente trabalho terem contribuído para a falta de alterações nos atributos físicos do solo.

Na camada de 0,10-0,20 m de profundidade, não notou-se alterações nos valores de microporosidade (Tabela 4), assim como não houve diferenças significativas da densidade do solo, quanto às doses de composto de lodo de esgoto, para as três profundidades estudadas.

Tabela 4. Teste F para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, na camada de 0,10-0,20 m (média das repetições).

Tratamento	Ma	Mi	Pt	Ds
	----- m ³ .m ⁻³ -----		-----	
				- Mg.m ⁻³ -
Controle	0,0493	0,3029	0,3522	1,5838
5,0 (Mg.ha ⁻¹)	0,0583	0,3045	0,3629	1,5769
7,5 (Mg.ha ⁻¹)	0,0482	0,2973	0,3456	1,5993
10,0 (Mg.ha ⁻¹)	0,0632	0,3014	0,3647	1,5603
12,5 (Mg.ha ⁻¹)	0,0647	0,3107	0,3754	1,5700
Valor de F	0,756	0,943	0,506	0,855
CV (%)	61,21	8,09	6,92	3,93
Efeito Linear	0,619	0,666	0,300	0,735

Fonte: Próprio autor.

Na camada de 0,10-0,20 m de profundidade do solo não foram observadas diferenças significativas para a microporosidade (Tabela 4). Foi realizada semeadura direta do feijão após a colheita do arroz, dessa forma, o tráfego de máquinas no local, exercendo pressão no solo, aliado a acomodação natural das partículas, geram um aumento no estado de compactação do solo, pois neste tipo de semeadura não há o revolvimento do solo.

Em concordância com este trabalho, onde não houve mudanças significativas para a densidade do solo nas três profundidade estudadas, Andrade et al. (2005) também notaram a ausência de diferenças significativas na densidade do solo, até a profundidade de 0,60 m, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico, após cinco anos de aplicações de

doses em cobertura de lodo de esgoto alcalino de até 40 Mg. ha⁻¹, com controle e adubação mineral, cultivado com eucalipto.

Camilotti et al. (2006) e Kitamura et al. (2008) são outros autores da literatura que, assim como o presente trabalho, relataram a falta de resposta das características físicas do solo frente a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto.

As pressões geradas contra o solo, pelo tráfego de maquinário e implementos na área, influenciam o aumento do grau de compactação deste, devido a desestruturação causada, reestruturando as partículas sólidas e assim, levando a diminuição da porosidade do solo. Neste processo, a propriedade mais facilmente afetada é a macroporosidade, pois agregados maiores se mostram menos resistentes, em relação aos agregados menores, como relata Barber et al. (1996). Relacionado a isso, percebe-se que, de acordo com as Tabelas 2, 3 e 4, a macroporosidade variou entre 0,0235 e 0,0695 m³. m⁻³, bem abaixo do limite de 0,10 m³. m⁻³ proposto por Reichert et al. (2009), indicando dificuldade do solo quanto a drenagem e a infiltração de água e problemas na circulação de ar no solo.

A microporosidade de um solo representa a capacidade de retenção de água e partículas sólidas no mesmo, enquanto a macroporosidade é responsável pela capacidade de infiltração e drenagem de água, além da aeração (HILLEL, 1998). Dessa forma, valores altos de microporosidade são indicativo de degradação do solo.

A porosidade total de um solo, representa o volume de espaços ocupados nele por fluidos (ARATANI, 2008), sendo que, no presente trabalho, ela variou entre 0,3444 e 0,3912 m³. m⁻³, abaixo do índice ideal para produção agrícola, proposto por Andrade & Stone (2009) de 0,50 m³. m⁻³, em que, $\frac{1}{3}$ deste volume é representada por macroporos e $\frac{2}{3}$ por microporos (KIEHL, 1979), porém, sem prejudicar a produtividade das culturas, provavelmente por conta da constante irrigação na área.

Embora neste trabalho, a adição de lodo de esgoto não tenha alterado a porosidade total do solo, supõe-se que isto tenha acontecido devido às baixas doses aplicadas, visto que em experimento com aplicação de 320 Mg. ha⁻¹ de CLE, Navas et al. (1998) obtiveram um incremento de 0,38 m³. m⁻³ para 0,49 m³. m⁻³ na porosidade total. Dessa forma, acredita-se na necessidade da aplicação de doses maiores do composto de lodo de esgoto para promoção de mudanças significativas na porosidade total do solo, atributo muito importante na avaliação física do solo.

Segundo Spera et al. (2004), a densidade do solo considerada crítica para solos argilosos, quando na capacidade de campo, é de 1,55 Mg. m⁻³, acima deste valor pode ocorrer limitações

quanto ao crescimento e desenvolvimento das raízes. Matias et al. (2009) afirmam que a densidade do solo é um bom indicador de compactação do solo, pois constitui um índice que apresenta relação com outros atributos que limitam o crescimento das raízes das plantas. concordando com os resultados obtidos neste trabalho, em que a densidade do solo variou de 3,93 a 7,13%, Warrick (1998) descreve este atributo como tendo baixa variabilidade, com um coeficiente de variação (CV) inferior a 15%. Ressalta-se que, os baixos valores de densidade do solo podem estar mais relacionados à forma de preparo do solo para a implantação das culturas do que com a aplicação das doses do composto de lodo de esgoto.

Com a formação de camadas compactadas, ocorre a redução da atividade biológica do solo e da microporosidade no perfil do mesmo, levando ao aumento da densidade (JIMENEZ et al., 2008). Cury et al. (2014) atrelam a causa de tal efeito ao tráfego de maquinário durante o preparo do solo, podendo gerar camadas compactadas em subsuperfície (0,10-0,20 m de profundidade).

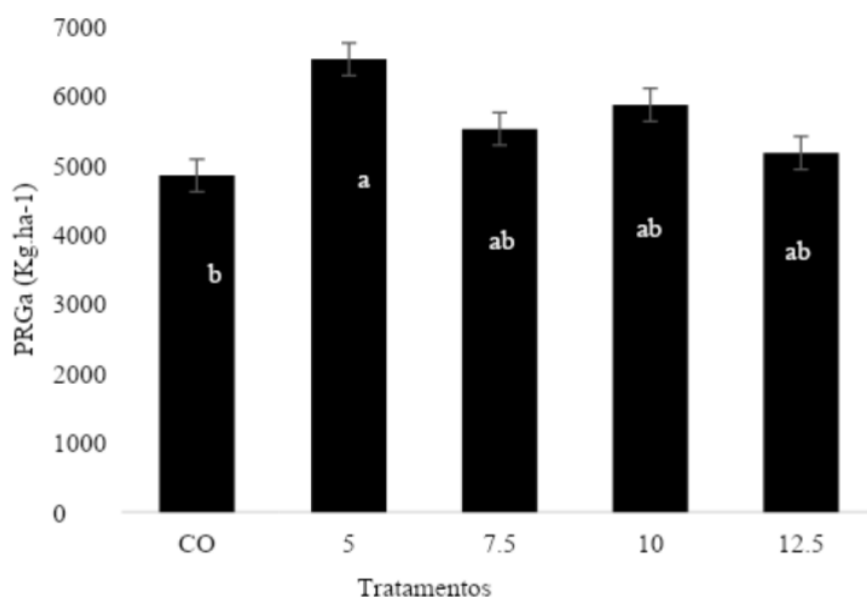
Observou-se que, nas três profundidades do solo analisadas, que a microporosidade variou de 0,2846 a 0,3321 m³. m⁻³, com uma macroporosidade abaixo de 0,10 m³. m⁻³, uma porosidade total de 0,3444 a 0,3912 m³. m⁻³ e densidade do solo variando entre 1,450 e 1,638 Mg. m⁻³.

3.2 Produtividade das culturas

As plantas onde houve a aplicação das doses do CLE, mostraram-se mais produtivas quando comparadas às plantas do tratamento controle, com maior produtividade de grãos apresentada no tratamento com aplicação de 5 Mg. ha⁻¹ de CLE para a cultura do arroz (Figura 1).

Notou-se maiores produtividades de grãos de arroz (Figura 1) nas plantas tratadas com aplicação de composto de lodo de esgoto, demonstrando sua viabilidade de uso como fonte alternativa de nutrientes para adubação de plantas de arroz de terras altas, cultivadas no Cerrado. Foi possível observar que, a menor dose do composto (5 Mg. ha⁻¹) obteve maior produtividade (6532 kg. ha⁻¹) em relação ao tratamento controle (4854 kg. ha⁻¹). Diferentemente a estes resultados, Bittencourt et al. (2012) não notaram a influência da aplicação de doses de lodo de esgoto no desenvolvimento vegetal da cultura do milho.

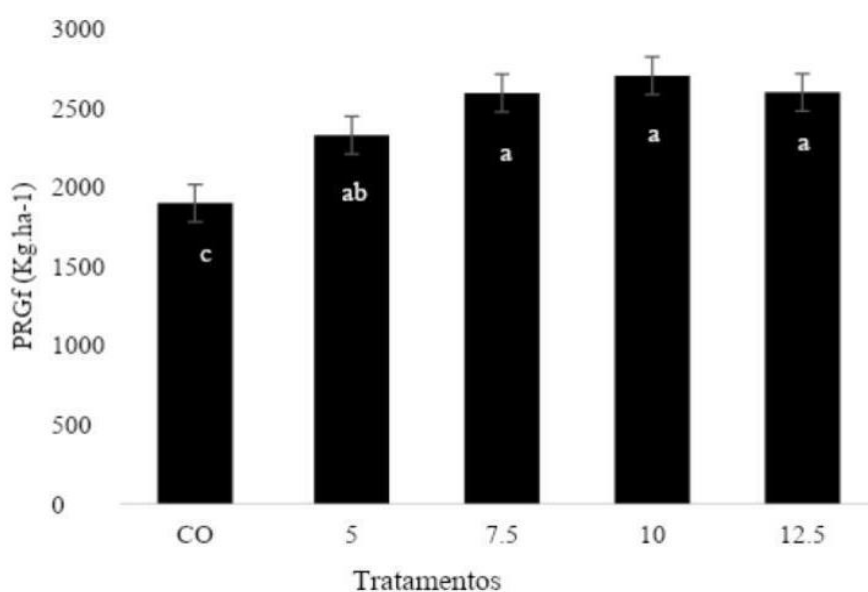
Figura 1: Produtividade do arroz (PRGa) BRS esmeralda em função das doses de composto de lodo de esgoto, Selvíria – MS.



Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tuckey em nível de 5% de probabilidade.

Para a cultura do feijão as melhores produtividades foram observadas nas plantas sob aplicação de 7,5, 10 e 12,5 Mg. ha⁻¹, com uma produtividade média destes de 2628 kg. ha⁻¹, bem acima do tratamento controle que teve produtividade de 1895 kg. ha⁻¹ (Figura 2).

Figura 2: Produtividade do feijão (PRGf) BRS estilo, em função das doses de composto de lodo de esgoto, Selvíria – MS.



Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tuckey em nível de 5% de probabilidade.

Um dos nutrientes mais limitantes à produção da cultura do feijoeiro é o nitrogênio, notando-se assim, a alta contribuição do lodo de esgoto no fornecimento deste nutriente para a cultura. Em estudo realizado também com feijão, Prado e Cunha (2011) observaram aumento de 5% na quantidade de nitrogênio presente na planta, com aplicação de 42 Mg. ha⁻¹ do composto.

4 CONCLUSÃO

As quantidades do CLE aplicadas foram insuficientes para alteração dos atributos físicos do solo, possivelmente influenciado pelas baixas doses aplicadas e também pelo tráfego de máquinas no local para a realização dos tratos culturais, semeadura e colheita.

As doses do CLE aplicadas levaram as duas culturas a apresentarem produtividades significativamente maiores, nas plantas tratadas com o composto em relação ao tratamento sem sua aplicação. As maiores doses do CLE (7,5; 10,0 e 12,5 Mg. ha⁻¹) apresentaram maior produtividade de grãos da cultura do feijão e a menor dose (5,0 Mg. ha⁻¹) levou a maior produtividade de grãos de arroz.

Dessa forma, destaca-se a grande importância do estudo com doses maiores do CLE e o potencial do composto de lodo de esgoto como fonte de nutrientes para adubação das culturas, proporcionando ao produtor que optar por fazer uso desta tecnologia, ganhos na produtividade, economia com insumos inorgânicos e dará um destino sustentável aos resíduos gerados nas áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C. H.; NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, F. C.; PIRES, A. M. M.; FRANCO, A. Aproveitamento agrícola de resíduos no canavial. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. (Org.). **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: Funep, p.183-210, 2008.

ALMEIDA, V. F. R.; ALMEIDA, R. R.; GOMES, N. R.; CAETANO, L. R.; CHOZE, R. **Caracterização química como alternativa de destinação ao uso agrícola do lodo da estação de tratamento de esgoto do Município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.4, p.87-98, 2017.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. D.; CERRI, C. C. **Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.803-816, 2005.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. **Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.4, p.411-418, 2009.

ANDREOLLA, V. R. M.; DE MORAES, A.; BONINI, A. K.; DEISS, L.; SANDINI, I. E. **Soil physical attributes in integrated bean and sheep system under nitrogen levels**. Revista Ciência Agronômica, v.45, n.5, p.922-930, 2014.

ARATANI, R. G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008. 112p. Tese Doutorado.

BARBER, R.G.; ORELLNAN, M.; NAVARRO, F.; DIAZ, O; SORUCO, M.A. **Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia**. Soil and Tillage Research, v.38, p.133-152, 1996.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. **Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em latossolos**. Ciência Rural, v.34, p.365-371, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000200005>>.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Cap. 2, p. 25-35.

BÍBLIA. Português. **Bíblia sagrada**. Tradução King James Atualizada. 1. ed. Rio de Janeiro: Abba Press, 2012.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.17, n.3, p.315-324, jul./set. 2012.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. **Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.4, p.388-393, mar. 2015.

CAMILOTTI, F.; ANDREOLI, I.; MARQUES, M. O. **Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça**. Engenharia Agrícola, v.3, p.738-747, 2006.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. SAFRA 2019/20- Terceiro levantamento- dezembro de 2019, v.7, n.3, 2019.

CURY, T. N.; DE MARIA, I. C.; BOLONHEZI, D. **Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, p.1929-1938, 2014.

DE MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. **Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto**. Solo e Nutrição de Plantas. Campinas: v.66, 2007. n.2, p. 291-298.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2017.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; SOARES, D. M. Diagnose foliar em arroz. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. **Nutrição de plantas diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Capes/Fundunesp, p. 193-210, 2008.

FAOSTAT. Crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em novembro de 2020.

FLORENTINO, A. L.; FERRAZ, A. V.; GONCALVES, J. L. M.; ASENSIO, V.; MURAOKA, T.; DIAS, C. T. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPRA, G. F.; ABREU-JUNIOR, C. H. **Long-term effects of residual sewage sludge application in tropical soils under Eucalyptus plantations**. Journal of Cleaner Production, v.220, p.177-187, 2019.

GADIOLI, L. J.; NETO, P. F. **Rendimento de milho e de feijão preto cultivado em solo acrescido de lodo de esgoto.** Curitiba: Sanare, Revista Técnica da Sanepar, 2004. v.21, n.21, p. 53-58.

GODOY, S. G.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B; COBUCCI, T.; LACERDA, M. **Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.19, n.2, p.119-125, 2015.

HILLEL, D. **Environmental soil physics.** New York: Academic Press, 1998.

JAKUBUS, M.; BAKINOWSK, E. **Visualization of long-term quantitative changes of microelements in soils amended with sewage sludge compost evaluated with two extraction solutions.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.49, p.1355-1369, 2018.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. **Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.116-121, 2008.

JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p.237-240, 1991.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia:** relações solo – planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 264 p. 1979.

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; GUSTAVO, L.; GONZALEZ, A.S. **Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.405-416, 2008.

LOPES, A. S; GUIMARÃES, L. R. G. **A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil.** Advances in Agronomy, v.137, p.1-72, 2016.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. **Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos.** Revista Ciência Agronômica, v.40, n.3, p.331-338, 2009.

MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. **Atributos físicos de Latossolos adubados com biossólido.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.67-72, 2004.

MESQUITA, G. R. A; VON RANDOW, J. R; OLIVEIRA, R. L; GONÇALVES, M. V. V. A. **Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura.** Perspectiva Online: exatas & engenharia, v.17, p.80-87, 2017.

MEZIADI, C., RICHARD, M. M. S.; DERQUENNES, A.; THAREAU, V.; BLANCHET, S.; GRATIAS, A.; PFLIEGER, S.; GEFFROY, V. **Development of molecular markers linked**

to disease resistance genes in common bean based on whole genome sequence, *Plant Science*, v.242, p.351-357, 2016.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; FERNANDES, L. A.; CRUZ, S. F.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N. **Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol.** *Bioscience Journal*, v.30, p.146-153, 2014.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. **Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols.** *Geoderma*, v.87, n.1-2, p.123-135, 1998.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FONSECA, I. M.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S. E.; FERREIRA, L. C.; GOMES, E.; FERNANDES, L. A. **Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.331-338, 2007.

PRADO, A. K.; CUNHA, M. E. T. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto e curtume nas características físico-químicas do solo e na absorção de nitrogênio por feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).** *Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*, v.10, n.1, p. 37-41, 2011.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MIHOMEN, C. C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto.** *Revista Liberato*, v.11, p. 89-188, 2010.

RAIJ, B. van; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** 1.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p. 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 56-59.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** *Soil and Tillage Research*, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JUNIOR, D. R. **Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - atributos químicos e revegetação.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.2, p.543-551, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200028>>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro, p. 353, 2013.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. **Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.533-542, 2004.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. (Ed.) **Environmental soil physics**, Academic Press, p. 655-675, 1998.

APÊNDICE A – Atributos químicos e físicos das amostras dos solos utilizados no experimento, antes da implantação da cultura (Média ± desvio-padrão; n = 3).

Atributo	Unidade	Profundidade (m)	
		0-0,2	0,2-0,4
pH _(CaCl2)	-	4,5 ± 0,06	4,7 ± 0,06
Matéria orgânica	g.dm ⁻³	19 ± 1,16	14 ± 0,58
Fósforo	mg.dm ⁻³	16 ± 0,58	9 ± 0,00
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	1,7 ± 0,17	0,7 ± 0,15
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	13 ± 0,58	11 ± 0,58
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	12 ± 1,00	10 ± 0,00
Alumínio	mmol _c .dm ⁻³	4 ± 0,00	2 ± 0,58
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	37 ± 2,31	32 ± 1,73
SB	mmol _c .dm ⁻³	27,0 ± 1,69	22,1 ± 0,72
S-SO ₄	mg.dm ⁻³	15 ± 0,58	8 ± 0,58
CTC	mmol _c .dm ⁻³	63,7 ± 0,86	54,1 ± 2,45
V	%	42 ± 3,21	41 ± 0,58
<i>m</i>	%	13 ± 1,00	9 ± 2,31
Boro	mg.dm ⁻³	0,22 ± 0,04	1,40 ± 0,02
Cobre (DTPA)	mg.dm ⁻³	1,8 ± 0,05	7,7 ± 0,10
Ferro (DTPA)	mg.dm ⁻³	15 ± 0,58	8 ± 0,58
Manganês (DTPA)	mg.dm ⁻³	18,8 ± 0,59	7,3 ± 0,72
Zinco (DTPA)	mg.dm ⁻³	0,6 ± 0,06	0,2 ± 0,00
Distribuição granulométrica		0-0,40 m	
Areia (> 0,05 mm)	g.kg ⁻¹	553 ± 12,86	
Silte (> 0,002 e < 0,05 mm)	g.kg ⁻¹	81 ± 3,21	
Argila (< 0,002 mm)	g.kg ⁻¹	372 ± 19,05	
Textura	-	Argilosa	

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE B – Imagens da área de arroz (*Oryza sativa*), durante a semeadura (imagem A) e no início do estágio reprodutivo (imagem B), e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no início do estágio vegetativo (imagem C).



Fonte: próprio autor.



Fonte: próprio autor.



Fonte: próprio autor.

APÊNDICE C – Imagens da parcela com aplicação do composto de lodo de esgoto (imagem A) e do composto antes de ser aplicado (imagem B).



Fonte: próprio autor.



Fonte: próprio autor.